



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**  
**DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR**

Jl. Pattimura 20/7 Kebayoran Baru, Jakarta Selatan 12110 Telp. 7396616, Fac. 7208285

Yth,

1. Para Direktur di Direktorat Jenderal Sumber Daya Air; dan
2. Para Kepala Balai Besar/Balai Wilayah Sungai di Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.

di

Tempat

**SURAT EDARAN**  
**NOMOR 07/SE/D/2021**  
**TENTANG**  
**TATA CARA PEMBANGUNAN EMBUNG**

**A. Umum**

Bahwa dalam rangka pelaksanaan konservasi sumber daya air guna mengatasi kekurangan air pada musim kemarau perlu di bangun embung pada daerah yang mengalami kekeringan, mengingat embung merupakan salah satu tampungan air yang berguna bagi masyarakat dalam pemenuhan kebutuhan air baku dan irigasi.

Bahwa pembangunan embung sebagaimana dimaksud diatas perlu di lengkapi dengan proses perencanaan, penyusunan manual operasi dan pemeliharaan, perhitungan volume dan biaya dan pelaksanaan konstruksi, maka perlu ditetapkan Tata Cara Pembangunan Embung dengan ketentuan sebagai berikut:

**B. Dasar Pembentukan**

1. Undang –Undang Nomor 17 Tahun 2019 Tentang Sumber Daya Air (Lembaran Negara Republik Indonesia 2019 Nomor 190, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6405);
2. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2020 tentang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 40);
3. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 04/PRT/M/2015 tentang Kriteria dan Penetapan Wilayah Sungai (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 429);
4. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 13 Tahun 2020 tentang tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 473);

*Mewujudkan kemanfaatan sumber daya air yang berkelanjutan*

5. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 16 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis di Lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 554) sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 26 Tahun 2020 Tentang Perubahan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 16 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis di Lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 1144);

#### C. Maksud dan Tujuan

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai acuan dalam perencanaan, penghitungan volume dan biaya, perencanaan manual operasi dan pemeliharaan dan pelaksanaan konstruksi pembangunan embung.

Surat Edaran ini bertujuan agar pelaksanaan pembangunan embung dilakukan sesuai dengan tahapan perencanaan, penghitungan volume dan biaya, perencanaan manual operasi dan pemeliharaan dan pelaksanaan konstruksi.

#### D. Ruang Lingkup

Ruang Lingkup Surat Edaran ini meliputi:

1. Kriteria dan Jenis Embung; dan
2. Tahapan Pembangunan Embung.

#### E. Kriteria dan Jenis Embung

1. Jenis Embung yang diatur di dalam surat edaran ini meliputi:
  - 1) Embung di dalam alur sungai;
  - 2) Embung diluar alur sungai; dan
  - 3) Embung dengan bentuk kolam.
2. Kriteria untuk embung dalam surat edaran ini meliputi:
  - 1) Embung dengan tinggi tanggul paling tinggi 15 (lima belas) meter dengan tampungan air kurang dari 500.000 m<sup>3</sup> (lima ratus ribu meter kubik); dan
  - 2) Embung dengan bentuk kolam dengan tinggi paling tinggi 10 (sepuluh) meter dan volume tampungan diatas 3000 m<sup>3</sup> (tiga ribu meter kubik).

#### F. Tahapan Pembangunan Embung meliputi:

1. Perencanaan Pembangunan Embung meliputi:
  - a. Pelaksanaan Survei dan pengumpulan data:
    - 1) Hidrologi;
    - 2) Topografi; dan
    - 3) Geologi Teknik.
  - b. Setelah pelaksanaan survei dan pengumpulan data Hidrologi, dilakukan analisis hidrologi untuk mendapatkan data hasil analisis hidrologi.

- c. Data hasil analisis hidrologi, hasil survei dan data topografi dan hasil survei dan data geologi teknik digunakan untuk penentuan desain embung dan dimensi bangunan.
  - d. Dalam hal desain embung dan dimensi bangunan telah ditentukan, selanjutnya dilakukan analisis stabilitas.
  - e. Dalam hal berdasarkan analisis stabilitas dinilai stabil, proses dilanjutkan ke tahap Penyusunan Perencanaan Manual Operasi dan Pemeliharaan dan Perhitungan Volume Dan Biaya.
  - f. Dalam hal berdasarkan analisis stabilitas dinilai tidak stabil, proses kembali ke tahap penentuan desain embung.
2. Penyusunan Perencanaan Manual Operasi dan Pemeliharaan dilakukan berdasarkan desain dan dimensi embung yang telah dilakukan analisis stabilitas.
  3. Perhitungan Volume dan Biaya yang meliputi:
    - a. Volume Pekerjaan;
    - b. Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP); dan
    - c. Rencana Anggaran Biaya (RAB).
  4. Pelaksanaan Konstruksi meliputi pekerjaan:
    - a. Persiapan;
    - b. Utama; dan
    - c. Pelengkap.
  5. Rincian detail dan bagan alir mengenai tahapan pembangunan embung berdasarkan jenis embung sebagaimana tercantum dalam lampiran yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Surat Edaran ini.

G. Penutup

Surat Edaran ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan

Demikian disampaikan untuk dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Jakarta  
pada tanggal 5 Agustus 2021  
DIREKTUR JENDERAL SUMBER DAYA AIR,



Ir. JAROT WIDYOKO Sp-1  
NIP. 19630224 198810 1001 8

Tembusan:

1. Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
2. Inspektur Jenderal Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;

LAMPIRAN  
SURAT EDARAN DIREKTUR JENDERAL  
SUMBER DAYA AIR  
NOMOR : 07/SE/D/2021  
TENTANG :  
TATA CARA PEMBANGUNAN EMBUNG

**LAMPIRAN**

**TATA CARA PEMBANGUNAN EMBUNG**

← 12

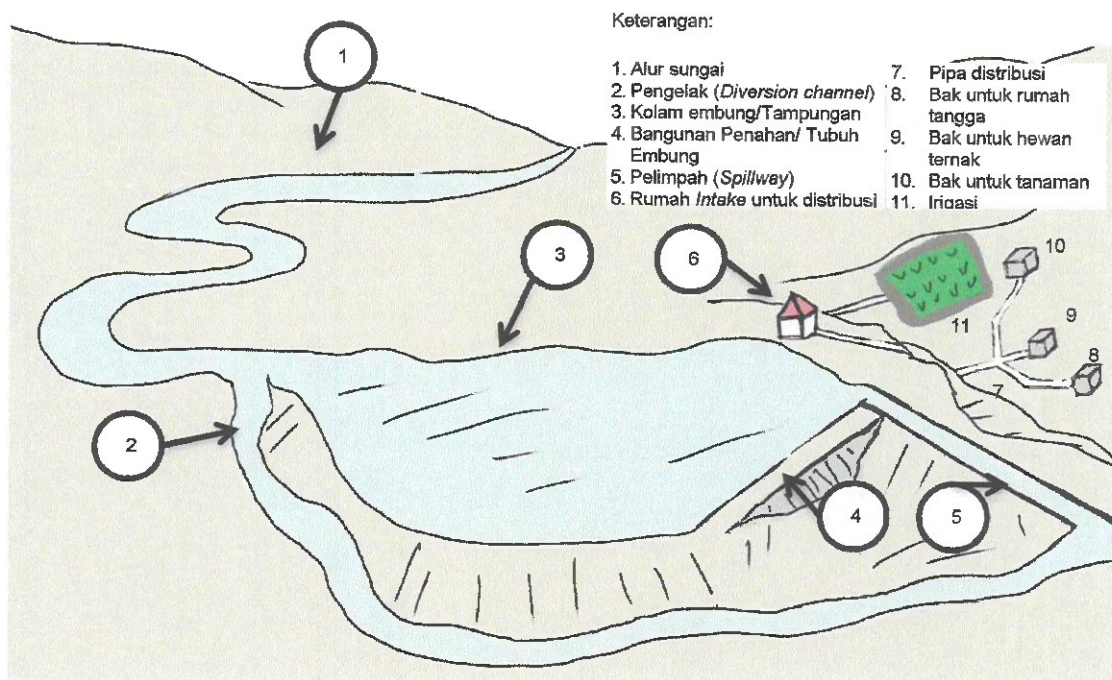
## BAB I

### Embung di dalam Alur Sungai

#### 1 Umum

Embung di dalam alur sungai dibangun dengan membangun bangunan penahan aliran sungai. Bangunan penahan ini dibangun untuk menahan aliran sungai yang berada diantara dua tebing dan membentuk huruf V sehingga aliran sungai tertahan dan dapat menghasilkan tampungan sehingga sumber air utama pada embung ini adalah berasal dari aliran sungai. Pada embung jenis ini, diperlukan adanya bangunan pengelak (*diversion channel*) untuk mengalihkan aliran pada masa konstruksi.

Embung di dalam alur sungai dengan bangunan penahan terdiri atas berbagai komponen seperti yang tertera pada gambar komponen embung di dalam alur sungai berikut ini.

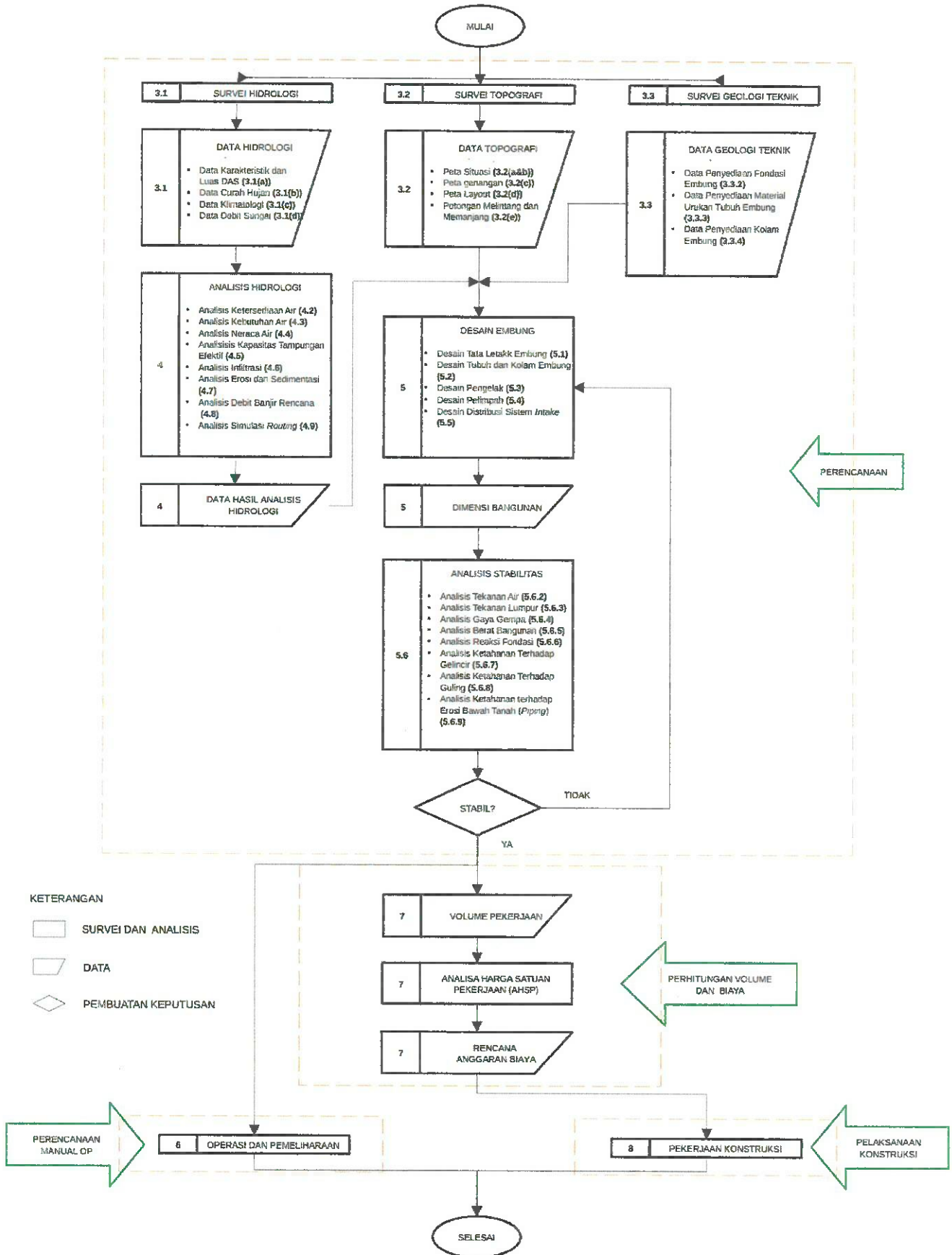


**Gambar 1** Komponen Embung di Dalam Alur Sungai dengan Bangunan Penahan

Bangunan utama dari embung di dalam alur sungai adalah tubuh embung dan kolam embung. Tubuh embung adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi tampungan air. Kolam embung adalah cekungan yang digunakan untuk menampung suplai aliran air dan air hujan serta digunakan untuk menjaga kualitas air tanah, mencegah banjir, estetika, dan pengairan. Sedangkan komponen lainnya seperti pengelak, pelimpah, *intake*, pipa distribusi, dan bak distribusi adalah bangunan pelengkap.

## Proses Desain Embung di Dalam Alur Sungai

erikut ini adalah skema proses dalam mendesain embung di dalam alur sungai:



Gambar 2 Skema Proses Desain Embung di Dalam Alur Sungai

### 3 Survei dan Pengumpulan Data

#### 3.1 Survei Hidrologi

Data yang dibutuhkan dalam analisa hidrologi ini adalah data sekunder dan data primer hasil pengukuran berupa :

- a) Data karakteristik dan luas DAS yang diperoleh dari peta topografi (Rupabumi skala 1:25.000), peta jenis tanah, peta tutupan lahan (yang dihasilkan dari interpretasi citra dengan umur data 3-5 tahun)
- b) Data Curah Hujan diperoleh dari satu atau lebih pos curah hujan terdekat dan atau data satelit dengan periode minimal harian.
- c) Data Klimatologi diperoleh dari pos klimatologi terdekat dan atau data satelit.
- d) Data Debit Sungai dapat diperoleh dari sungai terdekat dengan lokasi embung (jika ada).

Ketersediaan data hidrologi dalam suatu DAS sangat mempengaruhi pemilihan metode/pendekatan analisis debit banjir rencana yang akan digunakan untuk perencanaan maupun *review study* embung. Data hidrologi yang dimaksud meliputi:

- a) Data hujan jam-jam-an dan atau harian
- b) Data debit jam-jam-an dan atau harian
- c) Data tinggi muka air jam-jam-an dan atau harian
- d) Data evaporasi
- e) Data evapotranspirasi

Disamping data hidrologi, diperlukan juga data penunjang lainnya seperti:

- a) Peta DEM (*Digital Elevation Model*)
- b) Peta tata guna lahan, tanah, topografi/ RBI (Rupa Bumi Indonesia)
- c) Data hubungan elevasi – tampungan, elevasi dan lebar pelimpah, dimensi *outlet*, dan sistem pengoperasian (jika menggunakan pintu air)

#### 3.2 Survei Topografi

Pemetaan situasi (peta skala besar) dan penyelidikan geoteknik dilakukan setelah penentuan lokasi embung. Hal yang harus diperhatikan pada waktu pemetaan adalah sebagai berikut:

- a) Pemetaan situasi dilakukan meliputi seluruh daerah tadah hujan dan lokasi embung. Pemetaan situasi masuk dalam Kategori Peta RBI skala besar adalah skala 1:5.000, 1:2.500 dan 1:1000. Peta RBI skala besar ini bisa dibuat dengan menggunakan teknologi citra satelit resolusi sangat tinggi, foto-udara konvensional, pesawat nir awak (*Unmanned Aircraft System / UAS* atau drone), *Light Imaging Detecting and Ranging (Lidar)* dan survey

terestris (BIG,2017). Untuk panduan dapat digunakan spesifikasi teknis peta rupabumi skala 1 : 10.000 (sampai spesifikasi teknis peta skala besar diterbitkan).

- b) Peta situasi minimal dibuat dengan skala 1 : 1 000 dengan perbedaan kontur ketinggian maksimum 1 meter. Ketinggian hendaknya mengacu pada bidang permukaan laut rata-rata (Mean Sea Level / MSL) atau di atas permukaan laut (dpl)
- c) Peta genangan minimal dibuat dengan skala 1 : 2 000. Metode yang digunakan adalah
  - Area genangan dapat menggunakan hasil pemotretan udara
  - Untuk kedalaman dapat dilakukan survey batimetri sesuai dengan SNI 82832016 (Metode pengukuran kedalaman menggunakan alat perum gema untuk menghasilkan peta batimetri) atau sejenisnya.
- d) Peta *layout* minimal dibuat dengan skala 1 : 1 000, sesuai dengan kaidah kartografi dan mengacu kepada SNI 6502.2-2010 (Spesifikasi penyajian peta rupa bumi 25.000) dan disesuaikan dengan skala peta.
- e) Potongan melintang dan memanjang minimal dibuat dengan skala 1 : 100. Ketelitian vertikal mengacu ke Perka BIG no 15 tahun 2004 tentang pedoman ketelitian peta dasar

### 3.3 Survei Geologi Teknik

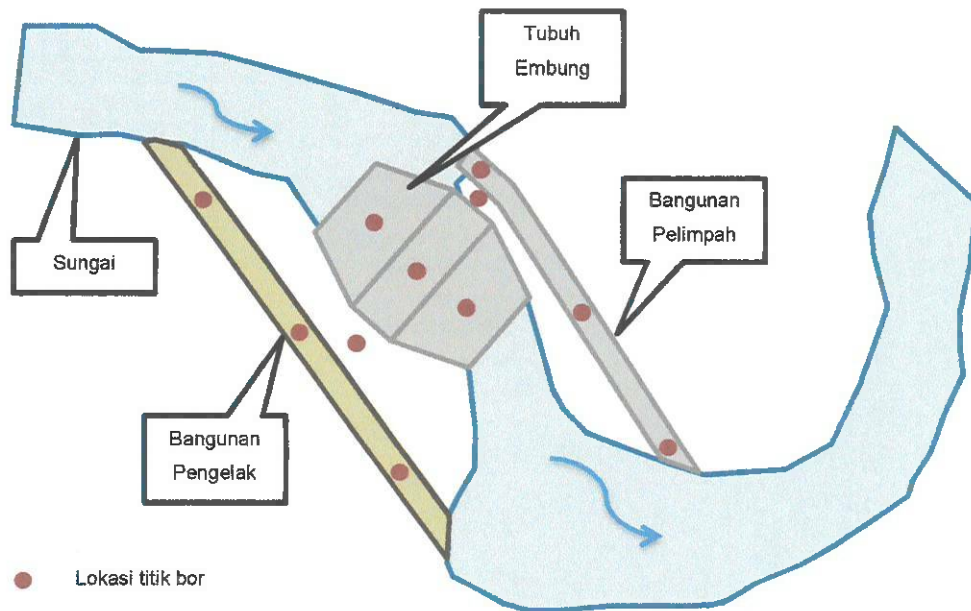
#### 3.3.1 Umum

Penyelidikan geoteknik bertujuan untuk menilai karakteristik fondasi dan bahan urukan (*borrow area*) dan kedua tumpuan urukan yang dapat dilakukan merupakan penyelidikan tanah sederhana dengan memilih salah satu metode sesuai kebutuhan dan kemampuan alat. Penyelidikan geoteknik dilakukan dengan survei di lapangan dan pengujian di laboratorium. Penyelidikan geoteknik dengan survei lapangan dapat dilakukan menggunakan dengan salah satu metode berikut ini:

- a) Pemboran tangan;
- b) Sondir tangan yang mengacu pada SNI 4153:2008;
- c) Pembuatan sumur uji atau parit uji sesuai SNI 03-6376-2000.

Jumlah minimal titik bor yang harus dilakukan dalam pembangunan embung adalah 11 titik bor (atau disesuaikan dengan kondisi lapangan) dengan kedalaman pemboran adalah hingga mencapai tanah keras yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Lokasi titik bor yang perlu dilakukan dalam pembangunan embung adalah sebagai berikut :

1. Pada lokasi rencana tubuh embung, jumlah minimal titik bor yang diperlukan adalah 5 buah, yaitu di lokasi puncak tubuh embung, bagian hulu tubuh embung, bagian hilir tubuh embung, tumpuan kanan, dan tumpuan kiri tubuh embung.
2. Pada lokasi rencana bangunan pengelak, jumlah minimal titik bor yang diperlukan adalah 3 buah, yaitu di bagian hulu, hilir dan tengah rencana bangunan pengelak.
3. Pada lokasi rencana bangunan pelimpah, jumlah minimal titik bor yang diperlukan adalah 3 buah, yaitu di bagian hulu, hilir dan tengah rencana bangunan pelimpah.



Gambar 3 Lokasi Pemboran

Jika daerah embung berupa tanah maka harus dilakukan pengambilan contoh tanah dan diuji di laboratorium yang meliputi:

a) Sifat fisik sebagai berikut:

- 1) Kadar air asli sesuai SNI 1965:2008;
- 2) Berat jenis sesuai tanah sesuai SNI 1964:2008;
- 3) Distribusi butir sesuai SNI 3962:1995;
- 4) Atterberg sesuai dengan SNI 1966:2008;

b) Sifat teknik:

- 1) Standar proctor sesuai dengan SNI 2832:1992 dengan batas  $-2\% \leq OMC \leq +2\%$ ;
- 2) Kuat geser sesuai dengan SNI 2813:2008;
- 3) Konsolidasi sesuai dengan SNI 2455:2015;

- 4) Permeabilitas sesuai dengan SNI 1965:2008.

Jika daerah embung berupa batu maka perlu pengamatan struktur batuan untuk menilai sifat lulus air dan stabilitasnya.

Hasil survei dan pengujian tersebut dapat dikorelasikan dengan hasil pengukuran geolistrik yang dilakukan berdasarkan SNI 2528:2012 atau SNI 2818:2012 sehingga dihasilkan formasi batuan pada lokasi tubuh embung, pelimpah dan bahan urukan.

### **3.3.2 Data Penyelidikan Fondasi Embung**

Kondisi fondasi harus berupa tanah keras (nilai SPT > 15 kali/30cm, nilai sondir > 45 kg/cm<sup>2</sup>).

Fondasi embung dibagi menjadi dua kelompok besar (batu dan tanah) yaitu:

#### **a) Batu**

Jenis batu dapat berupa batuan beku, batuan sedimen atau batuan malihan. Batu yang digunakan untuk fondasi umumnya merupakan batuan yang stabil, kecuali bila terdapat struktur yang rentan terhadap pergerakan. Struktur adalah bidang diskontinuitas atau batuan hancur yang arah dan kemiringannya tidak menguntungkan. Fondasi jenis ini dapat mendukung bangunan dari urukan tanah, maupun pasangan atau beton.

#### **b) Tanah**

##### **(a) Tanah berkohesi**

Tanah berkohesi merupakan tanah berbutir halus misalnya lempung

##### **(b) Tanah tak berkohesi**

Tanah tak berkohesi atau berbutir kasar misalnya pasir.

Jika tanah fondasi embung memiliki permeabilitas tinggi seperti gambut atau bertanah lunak, maka tanah harus diberi perkuatan terlebih dahulu misalnya dengan cerucuk, kemudian bagian kolam embung juga dilapisi dengan geotekstil. Selain itu untuk fondasi dengan jenis kapur atau karang juga perlu diberikan perkuatan sesuai dengan kondisi lapangan.

Pemilihan jenis fondasi harus memperhatikan sifat umum tanah tak berkohesi yaitu pada saat mendapat beban maka akan mengalami konsolidasi, tetapi jika proses konsolidasi tidak seragam maka akan menimbulkan retak pada bangunan di atasnya.

Tanah juga mempunyai kekuatan geser rendah, sehingga bangunan yang menumpang di atasnya berpotensi rusak karena longsor. Bangunan yang cocok untuk fondasi tanah ini

adalah tipe urukan. Jika lapisan tanah tidak terlalu tebal, sebaiknya lapisan tersebut digali habis sampai dengan lapisan batu.

Tanah berbutir kasar (alluvial)

Tanah ini bersiat mudah lulus air tetapi kuat geser relatif lebih tinggi dibandingkan tanah kohesif.

### 3.3.3 Data Penyelidikan Material Urukan Tubuh Embung

Tubuh embung bisa berupa urukan, pasangan batu atau beton, tergantung bahan bangunan yang tersedia di tempat seperti terlihat pada tabel klasifikasi material urukan. Material urukan untuk tubuh embung bisa dibagi dalam tiga jenis sebagai berikut:

a) Tanah berkohesi (lempung)

Material ini bisa dipadatkan sedemikian rupa agar permeabilitasnya menjadi cukup rendah. Lempung merupakan hasil pelapukan batuan yang ada di permukaan tanah.

Ketebalannya bervariasi dari beberapa sentimeter sampai beberapa meter. Lempung dapat digali dari kolam tanpa menimbulkan efek negatif, tetapi jika lapisan tersebut terlalu tipis maka penggalian akan menyebabkan batuan dasar tersingkap dan bisa meningkatkan infiltrasi (kehilangan) air. Lempung sangat cocok untuk urukan homogen tubuh embung, inti kedap air, dan selimut (*blanket*) kedap air di dasar dan dinding kolam.

b) Tanah tak berkohesi (lanau, pasir halus hingga kasar)

Tanah jenis ini mudah dipadatkan tetapi bersifat sangat lulus air dan mudah tererosi, sehingga disarankan untuk digunakan sebagai urukan "*filter*" dan "*backfill*".

c) Pecahan batu

Pecahan batu adalah batu keras yang terpecah-pecah akibat proses alami atau perbuatan manusia sehingga mudah dipakai sebagai material bangunan.

Pecahan batu bisa digunakan sebagai bahan urukan, pasangan batu, dan beton untuk tubuh embung. Pecahan batu bisa dipakai sebagai material urukan asal dilengkapi dengan tirai atau zona kedap air. Bongkah yang diameternya melebihi 50 cm biasanya harus dipecah agar mudah dikerjakan.

Pecahan batu buatan diambil dari singkapan-singkapan batuan. Pengambilan dan pemecahan bisa dilakukan dengan tenaga manusia bila batuan banyak mengandung retakan. Jika batuan masif perlu digunakan alat berat atau bahan peledak.

Tabel 1 Klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS

Pembagian utama			Simbol kelompok	Nama tipe
Tanah berbutir kasar lebih dari 50% tidak lolos/tertahan pada saringan no.200	Kerikil 50% atau lebih fraksi kasar tidak lolos saringan no.4	Kerikil bersih	GW	Kerikil bergradasi baik, campuran kerikil-pasir dengan sedikit atau tanpa bahan halus
			GP	Kerikil bergradasi jelek, campuran kerikil-pasir, dengan sedikit/tanpa material halus
			GM	Kerikil lanauan, campuran kerikil-pasir-lanau yang agak kasar
			GC	Kerikil lempungan, campuran kerikil-pasir-lempung yang agak kasar
	Pasir lebih 50% dari fraksi kasar lolos saringan no.4		SW	Pasir bergradasi baik, pasir kerikilan, dengan sedikit/tanpa material halus
			SP	Pasir bergradasi jelek, pasir kerikilan, dengan sedikit/tanpa material halus
			SM	Pasir lanauan, campuran pasir-lanauan
			SC	Kerikil lempungan, campuran pasir-lempung yang agak kasar
			ML	Lanau inorganik dan pasir, batu berdebu yang amat halus/kerikil lumpuran halus, plastisitas rendah
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan No. 200	Batas cair 50% atau kurang		CL	Lempung inorganik dengan plastisitas rendah-sedang, lempung lanauan, pasiran, kerikilan dan lempung kurus
			OL	Lanau organik dan lempung lanauan organik dengan plastisitas rendah
	HH		Lanau inorganik, pasir halus atau lanau bermika/diatomae, lanau elastis	
	CH		Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk	
	OH		Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Batas cair lebih dari 50%				
Tanah organik tinggi			Pt	Tanah gambut, rawang ( <i>muck</i> ) dan jenis tanah organik tinggi yang lain.

Arti simbol :

G = kerikil	S = pasir
C = lempung	M = lanau
O = organik	Pt = Gambut
W = bergradasi baik	P = bergradasi jelek
H = batas cair tinggi	L = batas cair rendah

Tabel 2 Klasifikasi sifat material urukan

No. Kelompok	Jenis tanah	Kisaran sifat tanah				Tingkat ketahanan terhadap erosi buluh (1) tertinggi (6) terendah	Tingkat ketahanan terhadap peretakan (1) tertinggi (6) terendah	Tingkat pentingnya kontrol kadar air untuk pematatan	
		Ukuran butir median D50 (mm)	Indek plastisitas %	Batas cair	Persentase lempung (0,005 mm)			Tingkat pentingnya kontrol	Konsekuensi kontrol kadar air yang tidak memadai
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
I	Pasir dan kerikil dengan tanah berbutir halus yang plastis	0.15-5.0	8-15	20-50	5-30	(3) Ketahanan sedang. Pematatan yang lebih berat dan indek plastisitas.	(3) Ketahanan sedang. Retak hanya timbul pada kombinasi kondisi luar biasa	(5)	Keruntuhan akibat peretakan atau erosi buluh hanya bisa terjadi akibat kombinasi kondisi jelek yang luar biasa.
II	Pasir dan kerikil dengan tanah berbutir halus yang tidak plastis	0.15-5.0	0-8	10-30	0-15	(5) Ketahanan rendah sampai sedang. Pematatan yang lebih berat dan indek plastisitas yg lebih tinggi akan menambah ketahanan.	(4) Ketahanan sedang	(3)	Sangat mungkin runtuh akibat erosi buluh. Bisa runtuh akibat peretakan.

III	Lanau inorganik berkompresibilitas rendah dan pasir halus lanauan	0.03-0.15	0-10	10-45	0-25	(6)	Pasir berukuran butir seragam dengan IP < 6 ketahanannya rendah. Material bergradasi baik dengan IP > 6 ketahanannya sedang.	(2)	kerentanan tinggi. Makin halus & makin seragam dengan IP < 6 ketahanannya rendah. Material bergradiasi baik dengan IP > 6 ketahanannya sedang.	(2)	Besar kemungkinan runtuh akibat erosi buluh dan peretakan
-----	---	-----------	------	-------	------	-----	--	-----	--	-----	---

Tabel 3 Klasifikasi sifat material urukan (lanjutan)

No. Kelompok	Jenis tanah	Kisaran sifat tanah				Tingkat ketahanan terhadap erosi buluh (1) tertinggi (6) terendah	Tingkat ketahanan terhadap peretakan (1) tertinggi (6) terendah	Tingkat pentingnya kontrol kadar air untuk pemadatan	
		Ukuran butir median D50 (mm)	Indek plasti sitas %	Batas cair	Persentase lempung (0,005 mm)			Tingkat penting ya kontrol	Konsekuensi kontrol kadar air yang tidak memadai
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(9)
IV	Lanau inorganik dan lempung berplastisitas rendah sampai sedang	0.10	10-25	20-50	10-40	(2) IP > 15 ketahanan tinggi	(5) Material dengan D50 > 0.02 mm dan IP < 15 kerentanannya paling tinggi	(4) Mungkin runtuh akibat peretakan atau erosi buluh hanya bila ada kombinasi kondisi luar biasa.	(2) Sangat mudah runtuh akibat peretakan. Mungkin runtuh akibat erosi buluh
V	Lempung inorganik	0.02	25-40	40	30	(1) Tahan erosi buluh. Ketahanan tidak banyak	(6) Tipis kemungkinan retak. Penurunan purna - konstruksi	(6) Kemungkinan retak oleh erosi buluh maupun peretakan paling kecil.	(6)

	berplastisi- tas tinggi					menurun oleh pemandatan yang kurang memadai		tinggi tetapi kemam- puan berubah bentuknya		
--	----------------------------	--	--	--	--	---	--	---	--	--

### 3.3.4 Data Penyelidikan Kolam Embung

Aspek geoteknik kolam embung yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

#### a) Infiltrasi air

Infiltrasi air bisa terjadi melalui rongga antar butir atau melalui retakan. Penanganan dari kemungkinan terjadinya infiltrasi air tersebut dapat didiskusikan dengan ahli geoteknik/geologi.

- 1) Infiltrasi melalui rongga antar butir terjadi pada tanah tak berkohesi, misalnya pasir, lanau, tanah berkohesi yang permeabilitasnya tinggi atau batu pasir.
- 2) Infiltrasi melalui retakan terjadi pada batu yang mengandung banyak retakan yang bersifat terbuka dan saling berhubungan. Rongga-rongga dalam batu gamping yang terbentuk karena pelarutan kimia dan meninggalkan rongga-rongga yang saling berhubungan dalam batu gamping juga dapat menyebabkan infiltrasi.

Infiltrasi melalui fondasi tubuh embung dapat menyebabkan stabilitas tubuh embung terganggu karena rembesan. Rembesan melalui fondasi lanau atau pasir dapat menyebabkan terjadinya proses erosi buluh.

Sedangkan infiltrasi yang terjadi pada dinding kolam menyebabkan kehilangan air kolam. Besarnya kehilangan air tergantung pada sifat lulus air material dasar dan dinding kolam. Untuk kebutuhan praktis, sifat lulus air dalam hubungannya dengan kehilangan air tersebut, dibagi menjadi tiga kelas yaitu: kedap air, semi lulus air dan lulus air.

#### b) Stabilitas dinding embung

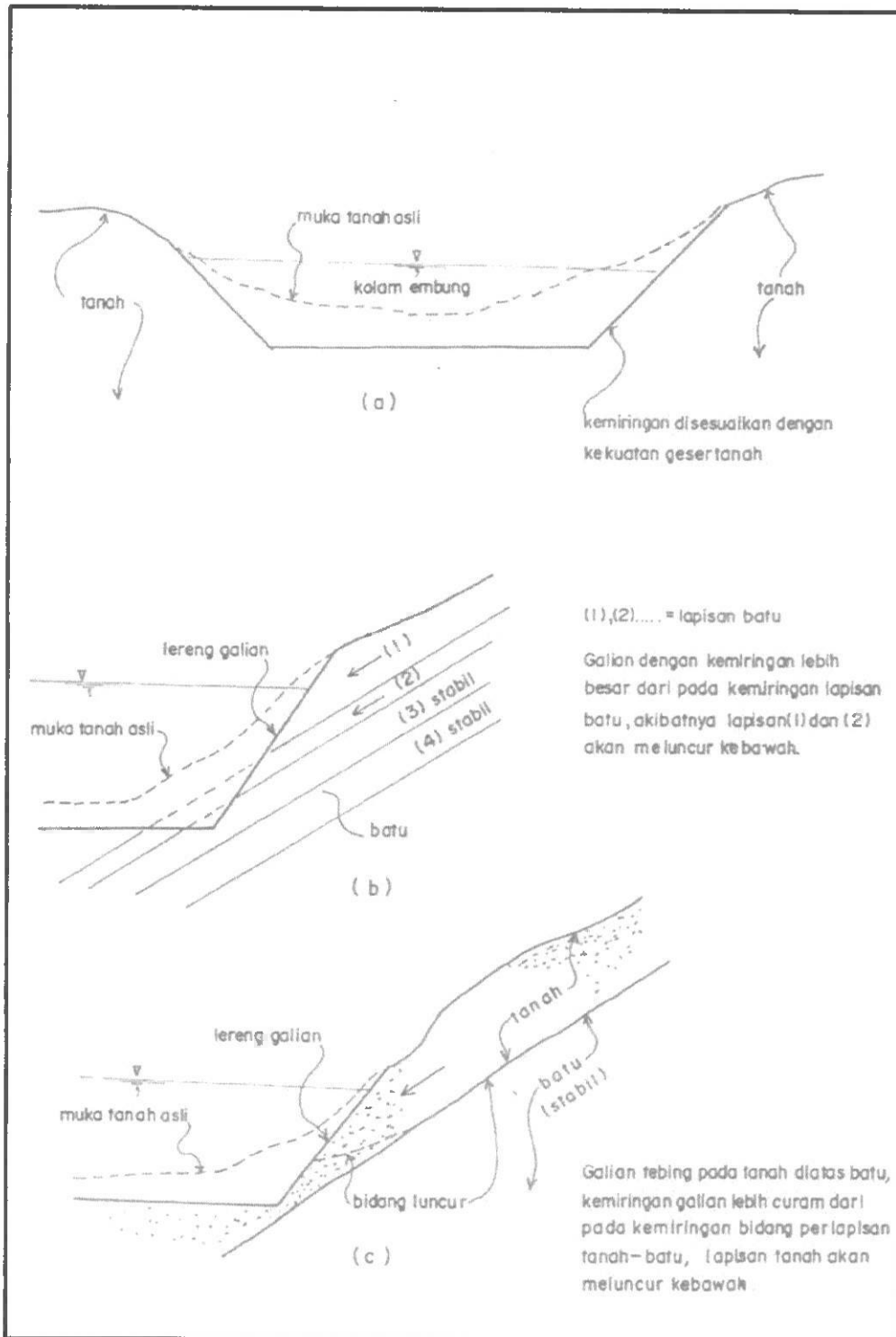
Pada umumnya, material urukan di daerah depresi (cekungan) terdapat di dalam lembah calon kolam embung. Penggalan material dari dasar embung akan menambah kapasitas tampung embung. Kemiringan galian harus dibuat dengan mempertimbangkan kondisi geotekniknya. Dinding embung bisa terdiri atas tanah atau batu, atau keduanya.

- 1) Bila dinding embung terdiri atas tanah, maka lereng kolam harus disesuaikan dengan sudut lereng alam dalam kondisi jenuh (lihat bagian a pada gambar galian dan stabilitas dinding embung).
- 2) Bila dinding embung terdiri atas batu, maka perlu diperhatikan kemiringan bidang diskontinuitasnya. Yang dimaksud dengan bidang diskontinuitas adalah semua struktur yang menyebabkan masa batuan terpisah atau bahkan terpecah-pecah. Bidang itu bisa berupa pelapisan atau kekar.

Apabila bidang diskontinuitas miring ke arah embung dengan sudut kemiringan berkisar antara  $20^\circ$  sampai dengan  $80^\circ$  maka lereng cenderung tidak stabil dan berpotensi longsor ke dalam embung. Galian pada batu seperti itu harus dibuat dengan kelandaian minimal sebesar kemiringan bidang diskontinuitasnya (lihat bagian b pada gambar galian dan stabilitas dinding embung).

- 3) Bila dinding embung terdiri atas lapisan tanah yang menumpang di atas batu, maka galian pada lapisan tanah akan potensial longsor. Longsoran ini terjadi akibat lereng kehilangan tumpuannya sehingga lapisan tanah bergerak meluncur di atas batu (longsoran planar). Kejadian semacam ini hanya dapat dicegah dengan cara menempatkan bangunan penahan, atau menggali lapisan tanah sesuai kemiringan batuan dasarnya (lihat bagian c pada gambar galian dan stabilitas dinding embung).
- 4) Kedalaman penggalian di calon lokasi embung yang akan digunakan sebagai material urukan supaya memperlihatkan lapisan tanah atau batuan. Penggalian yang terlalu dalam dapat mengakibatkan bocoran dasar embung.

Ketiga hal tersebut di atas harus pula dipertimbangkan dalam mendesain kemiringan galian dinding saluran pelimpah dan galian lainnya.



Gambar 4 Galian Dan Stabilitas Dinding Embung

## 4 Analisis Hidrologi

### 4.1 Umum

Secara umum analisis hidrologi merupakan bagian dari analisis awal dalam perencanaan bangunan-bangunan pengairan. Dari analisis hidrologi, diperoleh informasi penting antara lain ketersediaan air, kebutuhan air, debit banjir rencana, elevasi muka air normal dan elevasi muka air banjir. Analisis hidrologi untuk perencanaan embung, meliputi tiga hal, yaitu:

- a) aliran masuk (*inflow*) yang mengisi embung,
- b) tampungan embung, dan
- c) banjir desain untuk menentukan kapasitas dan dimensi bangunan pelimpah (*spillway*).

Untuk menghitung semua besaran ini, lokasi dari rencana embung harus ditentukan dan digambarkan pada peta. Hal ini dilakukan supaya penetapan dari hujan rata-rata dan evapotranspirasi yang tergantung dari lokasi dapat ditentukan. Luas daerah tadah hujan atau cekungan harus sudah dihitung. Luas genangan embung harus diperkirakan dan elevasi dasar alur di tempat embung serta elevasi tertinggi di daerah cekungan juga harus ditentukan.

### 4.2 Analisis Ketersediaan Air

Dihitung berdasarkan analisis curah hujan, evapotranspirasi, hujan limpasan, dan ketersediaan air rata-rata bulanan

#### 4.2.1 Umum

Analisis hujan limpasan harus dilakukan dengan memperhatikan hal - hal sebagai berikut :

- a) Jika tersedia data debit pada sungai yang mempunyai karakteristik DAS yang sejenis dengan DAS embung yang akan dihitung, maka perhitungan mengacu pada SNI 6738:2015, Perhitungan debit andalan sungai dengan kurva durasi debit.
- b) Jika hanya tersedia data hujan dengan data debit terbatas, gunakan analisis hujan-debit limpasan misalnya menggunakan metode NRECA yang terkalibrasi. Jika tidak ada sama sekali kalibrasi, maka diperlukan asumsi penyesuaian parameter agar mewakili kondisi sesungguhnya.
- c) Jika tidak ada data hujan, maka mengacu pada Peta Ketebalan Aliran bulanan yang dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial atau mengacu pada "*Petunjuk Teknis Balai*

*Bendungan* menggunakan data satelit pada lokasi bersangkutan dengan kalibrasi pada pos hujan terdekat yang diperkirakan memiliki karakteristik yang sama.

Setelah itu bandingkan antara besar tampungan, kebutuhan air, dan ketersediaan air. Dari ketiga hal tersebut dipilih yang paling kecil sebagai kapasitas tampung efektif (KTE).

#### 4.2.2 Analisis Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah jumlah kehilangan air dari suatu daerah yang meliputi evaporasi dan transpirasi melalui permukaan tanah, permukaan vegetasi, permukaan air bebas dan lainnya. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam menghitung evapotranspirasi adalah metode Penmann (modifikasi).

$$ET = C[W.R_n + (1 - W)f(u)(e_a - e_d)]$$

Keterangan :

*ET* adalah evapotranspirasi dalam (mm/hari)

*C* adalah faktor koreksi akibat keadaan iklim siang/malam

*W* adalah faktor bobot tergantung dari temperature udara dan ketinggian tempat

*R<sub>n</sub>* adalah radiasi neto ekivalen dengan evaporasi (mm/hari)

*f(u)* adalah fungsi kecepatan angin

*(e<sub>a</sub>-e<sub>d</sub>)* adalah selisih tekanan uap jenuh dan aktual pada temperatur rata-rata udara

Perhitungan Evapotranspirasi ini mengacu kepada "SNI 7745:2012 : Tata Cara Perhitungan Evapotranspirasi dengan Metode Penman Monteith".

#### 4.2.3 Potensi Ketersediaan Air

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam menghitung potensi ketersediaan air yaitu metode NRECA.

Dalam metode NRECA terdapat dua tampungan yaitu tampungan kelengasan (*moisture storage*) dan tampungan air tanah (*groundwater storage*). Tampungan kelengasan ditentukan oleh hujan dan evapotranspirasi aktual. Tampungan air tanah ditentukan oleh kelebihan kelengasan (*excess moisture*).

Data masukan yang diperlukan dari metode hujan-limpasan NRECA adalah sebagai berikut.

- a) Hujan Rata-rata dari suatu DAS (P)
- b) Evapotranspirasi Potensial dari DAS (PET)  
Jika data yang ada adalah evapotranspirasi standar (ET<sub>o</sub>) maka  $PET = C_f \times ET_o$ , dimana  $C_f$  adalah faktor tanaman.
- c) Kapasitas Tampung Kelengasan (NOM)  
Diperkirakan nilai  $NOM = 100 + (0.2 \times \text{hujan rata-rata tahunan (mm)})$ , dimana nilai  $C = 0.2$  untuk DAS yang hujannya terjadi terus-menerus sepanjang tahun, dan  $C < 0.2$  untuk DAS yang mempunyai tipe hujan musiman.
- d) Persentase limpasan yang keluar dari DAS di sub *surface* atau infiltrasi (PSUB). Parameter PSUB adalah parameter model yang menggambarkan bagian dari kelebihan hujan dan menjadi imbuan. Sisanya mengalir sebagai aliran langsung yang terdiri dari aliran permukaan dan bawah permukaan. Tampung air tanah menampung air imbuan tersebut yang dikeluarkan menjadi aliran dasar di sungai. Besarnya aliran dasar yang dikeluarkan adalah GWF kali jumlah tampung, dengan sendirinya GWF nilainya lebih kecil dari satu. Makin besar GWF makin banyak air yang dikeluarkan dari tampung sehingga air tampung akan cepat habis, begitu pula sebaliknya. Kombinasi parameter PSUB dan GWF memegang peranan penting dalam menentukan hidrograf aliran di sungai yang merupakan penjumlahan antara debit aliran langsung dan aliran dasar.  
Nilai PSUB berkisar antara 0.1 – 0.5  
Nilai median berkisar antara 0.6
- e) Persentase limpasan tampung air tanah menuju ke sungai (GWF)  
Nilai GWF berkisar antara 0.5 – 0.9
- f) Nilai awal dari tampung kelengasan tanah (*Soil Moisture Storage*)
- g) Nilai awal dari tampung air tanah (*Ground Water Storage*)

Pemilihan parameter NRECA yang paling optimum didasarkan pada parameter dari DAS masing-masing. Data masukan yang diperlukan dari model hujan-limpasan NRECA adalah sebagai berikut :

- a) Hujan rata-rata bulanan dari suatu DAS.
- b) Evapotranspirasi potensial bulanan dari DAS (PET).
- c) Kapasitas tampung kelengasan (NOM) dapat diperkirakan sebagai berikut :  
 $NOM = 100 + c \times \text{hujan rata-rata tahunan (mm)}$ .  
dengan :  
 $c \geq 0,20$  bila cekungan mengalami hujan terus-menerus sepanjang tahun.

$c < 0,20$  bila cekungan mengalami hujan musiman.

Harga nominal dapat dikurangi hingga 25 % untuk daerah dengan tetumbuhan dan penutup tanah yang tipis.

- d) Persentasi limpasan yang keluar dari DAS di sub surface (PSUB). Nilai PSUB sebagai parameter yang menggambarkan karakteristik tanah permukaan berkisar antara 0.3 sampai dengan 0.9 tergantung pada sifat lulus air lahan.
- PSUB = 0,50 untuk daerah dengan hujan sepanjang tahun.
  - $0,50 < PSUB \leq 0,90$  untuk daerah dengan akuifer permeable yang besar.
  - $0,30 < PSUB \leq 0,50$  untuk daerah dengan akuifer terbatas dan lapisan tanah yang tipis
- e) Persentasi limpasan tampungan air tanah menuju ke sungai (GWF) yang berkisar 0.2 sampai dengan 0.8.
- GWF = 0,50 untuk daerah tangkapan hujan yang normal/biasa
  - $0,50 < GWF \leq 0,80$  untuk daerah yang memiliki aliran menerus yang kecil
  - $0,20 < PSUB \leq 0,50$  untuk daerah yang memiliki aliran menerus yang dapat diandalkan.
- f) Nilai awal dari tampungan kelengasan tanah (SMSTOR) dan air tanah (GWSTOR).
- g) Faktor tanaman (CROPF).

Urutan langkah perhitungan untuk limpasan bulanan adalah sebagai berikut :

- a) Perhitungan hujan wilayah dan evapotranspirasi potensial standar di daerah pengaliran (P dan Eto).
- b) Menentukan parameter model : NOM, PSUB, GWF dan nilai awal tampungan kelengasan tanah (SMSTOR) dan tampungan air tanah (GWSTOR) yang akan digunakan dalam proses kalibrasi atau penyelarasan.
- c) Perhitungan Angka tampungan tiap bulan (*storage ratio*) :  $Sr = SMSTOR/NOM$ , dimana untuk bulan ke 1 SMSTOR = angka awal tampungan dan untuk bulan selanjutnya adalah  $SMSTOR (n) = SMSTOR (n-1) + S(n-1)$ ,  $S(n-1)$  adalah perubahan tampungan pada bulan sebelumnya.
- d) Perhitungan angka perbandingan antara hujan dan evapotranspirasi potensial :  $R = P/PET$
- e) Perhitungan evapotranspirasi actual (AET), dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ini :  $AET = k1 \times PET$ .

$k1$  adalah koefisien evapotranspirasi yang tergantung pada nilai R dan  $Sr$ , dengan persamaan regresi sebagai berikut :  $k1 = P/PET ( 1 - 0,5 \times Sr) + 0,5 \times Sr$ , bila  $R < 1$  dan  $Sr < 2$   $k1 = 1$  bila  $P/PET \geq 1$  atau  $Sr \geq 2$ .

- f) Menghitung ratio kelebihan kelengasan (*extrat*) :  
Untuk  $Sr \leq 0$ , maka  $extrat = 0$   
Untuk  $Sr > 0$ , maka  $extrat = 0,5 \times (1 + \tanh(x))$   
 $x = (Sr - 1)/0,52$   
 $\tanh = \{\exp(x) - \exp(-x)\} / \{\exp(x) + \exp(-x)\}$
- g) Perhitungan kelebihan kelengasan (*excm*), perubahan tampungan (S) dan perkolasi (*rech*) dengan rumus sebagai berikut :  
 $excm = extrat (P - AET)$   
 $S = P - AET - excm$   
 $rech = PSUB \times excm$
- h) Perhitungan angka awal dan akhir tampungan air tanah (*Begin and End Storage Groundwater*) :  
Untuk bulan ke 1,  $BSG = GWSTOR.$   
Untuk bulan berikutnya  $BSG(n) = ESG(n-1) - GF(n-1).$   
 $ESG = rech + BSG$   
 $GF = \text{limpasan air tanah}$
- i) Perhitungan limpasan, Limpasan dibagi menjadi 2 bagian, yaitu limpasan langsung (*DRF*) dan limpasan air tanah (*GF*).  
 $DRF = excm - rech$   
 $GF = GWF \times ESG$   
Total limpasan tiap bulan adalah sebagai berikut :  $Q = GF + DRF \text{ (mm)}$

Model NRECA dibangun sesuai dengan karakteristik DAS kajian. Oleh karena itu, diperlukan kalibrasi parameter agar hasil debit sintetis yang dihasilkan memiliki tingkat keandalan yang baik. Parameter yang dikalibrasi ialah PSUB, GWF, GWS, Storage dan Croft.

Perhitungan limpasan metode NRECA dibagi menjadi dua bagian yaitu perhitungan limpasan langsung (*Direct runoff*) dan air tanah yang menuju ke sungai (*Groundwater*).

Urutan prosedur perhitungan untuk metode NRECA adalah sebagai berikut.

- Perhitungan hujan rata-rata dan evapotranspirasi potensial standar di daerah pengaliran (P dan ETo).
- Menentukan parameter metode: NOM, PSUB, GWF, dan nilai awal tampungan kelengasan tanah (*soil moisture storage*) dan tampungan air tanah (*ground water storage*) yang akan digunakan dalam proses kalibrasi atau penyelarasan.
- Perhitungan angka tampungan tiap bulan (*storage ratio*)

$$\text{Storage Ratio} = \frac{\text{Soil moisture storage}}{NOM}$$

Untuk bulan pertama *soil moisture storage* = angka awal tampungan dan untuk bulan selanjutnya adalah  $soil\ moisture\ storage_{(n)} = Soil\ moisture\ storage_{(n-1)} + S_{(n-1)}$ .  
 $S_{(n-1)}$  adalah perubahan tampungan pada bulan sebelumnya.

- d) Perhitungan angka perbandingan antara hujan dan evapotranspirasi potensial.

$$R = P/PET$$

- e) Perhitungan evapotranspirasi aktual (AET), dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ini.

$$AET = kl \times PET$$

kl adalah koefisien evapotranspirasi yang tergantung pada nilai R dan Sr, dengan persamaan regresi sebagai berikut.

$$kl = \frac{P}{PET}(1 - 0.5 \times Sr) + 0.5 \times Sr \quad \text{jika } R < 1 \text{ dan } Sr < 2$$

$$kl = 1 \quad \text{jika } R > 1 \text{ atau } Sr > 2$$

- f) Menghitung rasio kelebihan lengasan (*excess ratio*)

$$excess\ ratio = 0 \quad \text{jika } Sr < 0$$

$$excess\ ratio = 0.5 \times (1 + \tanh((Sr - 1)/0.52)) \quad \text{jika } Sr > 0$$

- g) Perhitungan kelebihan kelengasan (*excess moist*), perubahan tampungan (S) dan perkolasi dengan rumus sebagai berikut.

$$excess\ moisture = excess\ ratio \times (P - AET)$$

$$S = P - AET - excess\ moist$$

$$Perkolasi = PSUB \times excess\ moist$$

- h) Perhitungan angka awal dan akhir tampungan air tanah (BSG dan ESG)

$$BSG = Ground\ Water\ Storage \quad \text{untuk bulan pertama}$$

$$BSG_n = ESG_{n-1} - GF_{n-1} \quad \text{untuk bulan berikutnya}$$

$$ESG = Perkolasi + BSG$$

$$GF = limpasan\ air\ tanah$$

- i) Perhitungan Limpasan

$$Direct\ Runoff = excess\ moist - perkolasi$$

$$Limpasan\ air\ tanah = GWF \times ESG$$

- j) Total Limpasan tiap bulan adalah

$$Q = GF + Direct\ Runoff\ (mm)$$

#### 4.2.4 Pemodelan Hidrologi dan Penentuan CN

Prosedur perhitungan hujan limpasan, debit puncak, dan volume tampungan dapat dihitung menggunakan perangkat lunak pemodelan hidrologi seperti Win TR55 ([www.nrcs.usda.gov](http://www.nrcs.usda.gov)) atau perangkat lunak sejenis yang biasa digunakan untuk Daerah Aliran Sungai (DAS) kecil dan terdapat keterbatasan data untuk menentukan CN. Perhitungan dalam Win TR55

menggunakan metode hidrograf sintetik SCS. Perhitungan debit puncak menggunakan Win TR55 membutuhkan input data seperti luas DAS, Curve Number, data hujan maksimum tahunan, dan hujan jam – jam-an. Output yang dihasilkan pada perangkat lunak pemodelan hidrologi adalah nilai debit puncak, waktu konsentrasi, dan Hidrograf banjir. Selain itu, analisa ini diperlukan juga untuk perhitungan ketersediaan air dengan menggunakan *software* HEC-HMS.

Penentuan CN dimaksudkan untuk mengestimasi limpasan yang terjadi berdasarkan kondisi tanah pada lokasi DAS dan faktor penutup lahan. Untuk daerah yang tidak tersedia peta topografi dan peta hidrogeologi dapat mengacu pada tabel berikut ini.

**Tabel 4 Nilai CN Untuk Urban Area**

Cover description	Average percent impervious area <sup>2/</sup>	Curve numbers for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
<i>Fully developed urban areas (vegetation established)</i>					
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.) <sup>2/</sup> :					
Poor condition (grass cover < 50%) .....		68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50% to 75%) .....		49	69	79	84
Good condition (grass cover > 75%) .....		39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way) .....		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way) .....		98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of-way) .....		83	89	92	93
Gravel (including right-of-way) .....		76	85	89	91
Dirt (including right-of-way) .....		72	82	87	89
Western desert urban areas:					
Natural desert landscaping (pervious areas only) <sup>2/</sup> .....		63	77	85	88
Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders) .....		96	96	96	96
Urban districts:					
Commercial and business .....	85	89	92	94	95
Industrial .....	72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size:					
1/8 acre or less (town houses) .....	65	77	85	90	92
1/4 acre .....	38	61	75	83	87
1/3 acre .....	30	57	72	81	86
1/2 acre .....	25	54	70	80	85
1 acre .....	20	51	68	79	84
2 acres .....	12	46	65	77	82
<i>Developing urban areas</i>					

**Tabel 5 CN Untuk Daerah Agrikultur (1)**

Cover description		Hydrologic condition <sup>2</sup>	hydrologic soil group			
Cover type	Treatment <sup>2</sup>		A	B	C	D
Fallow	Bare soil	—	77	86	91	94
	Crop residue cover (CR)	Poor	76	85	90	93
		Good	74	83	88	90
Row crops	Straight row (SR)	Poor	72	81	88	91
		Good	67	78	85	89
	SR + CR	Poor	71	80	87	90
		Good	64	75	82	85
	Contoured (C)	Poor	70	79	84	88
		Good	65	75	82	86
	C + CR	Poor	69	78	83	87
		Good	64	74	81	85
	Contoured & terraced (C&T)	Poor	66	74	80	82
		Good	62	71	78	81
C&T+ CR	Poor	65	73	79	81	
	Good	61	70	77	80	
Small grain	SR	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	SR + CR	Poor	64	75	83	86
		Good	60	72	80	84
	C	Poor	63	74	82	85
		Good	61	73	81	84
	C + CR	Poor	62	73	81	84
		Good	60	72	80	83
	C&T	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
	C&T+ CR	Poor	60	71	78	81
		Good	58	69	77	80
Close-seeded or broadcast legumes or rotation meadow	SR	Poor	66	77	85	89
		Good	58	72	81	85
	C	Poor	64	75	83	85
		Good	55	69	78	83
	C&T	Poor	63	73	80	83
		Good	51	67	76	80

<sup>1</sup> Average runoff condition, and  $I_p=0.2S$

<sup>2</sup> Crop residue cover applies only if residue is on at least 5% of the surface throughout the year.

<sup>3</sup> Hydraulic condition is based on combination factors that affect infiltration and runoff, including (a) density and canopy of vegetative areas, (b) amount of year-round cover, (c) amount of grass or close-seeded legumes, (d) percent of residue cover on the land surface (good > 20%), and (e) degree of surface roughness.

**Tabel 6 CN Untuk Daerah Agrikultur (2)**

Cover description	Hydrologic condition	Curve numbers for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing. <sup>2</sup>	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	60	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow—continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.	—	30	58	71	78
Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element. <sup>3</sup>	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30 <sup>4</sup>	48	65	73
Woods—grass combination (orchard or tree farm). <sup>5</sup>	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods. <sup>6</sup>	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30 <sup>4</sup>	55	70	77
Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.	—	59	74	82	86

<sup>1</sup> Average runoff condition, and  $I_a = 0.2S$ .

<sup>2</sup> *Poor*: <50% ground cover or heavily grazed with no mulch.

*Fair*: 50 to 75% ground cover and not heavily grazed.

*Good*: > 75% ground cover and lightly or only occasionally grazed.

<sup>3</sup> *Poor*: <50% ground cover.

*Fair*: 50 to 75% ground cover.

*Good*: >75% ground cover.

<sup>4</sup> Actual curve number is less than 30, use CN = 30 for runoff computations.

<sup>5</sup> CN's shown were computed for areas with 50% woods and 50% grass (pasture) cover. Other combinations of conditions may be computed from the CN's for woods and pasture.

<sup>6</sup> *Poor*: Forest litter, small trees, and brush are destroyed by heavy grazing or regular burning.

*Fair*: Woods are grazed but not burned, and some forest litter covers the soil.

*Good*: Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil.

**Tabel 7 CN Untuk Daerah Kering**

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition <sup>2</sup>	A <sup>3</sup>	B	C	D
Herbaceous—mixture of grass, weeds, and low-growing brush, with brush the minor element.	Poor		80	87	93
	Fair		71	81	89
	Good		62	74	85
Oak-aspen—mountain brush mixture of oak brush, aspen, mountain mahogany, bitter brush, maple, and other brush.	Poor		66	74	79
	Fair		48	57	63
	Good		30	41	48
Pinyon-juniper—pinyon, juniper, or both; grass understory.	Poor		75	85	89
	Fair		58	73	80
	Good		41	61	71
Sagebrush with grass understory.	Poor		67	80	85
	Fair		51	63	70
	Good		35	47	55
Desert shrub—major plants include saltbush, greasewood, creosotebush, blackbrush, bursage, palo verde, mesquite, and cactus.	Poor	63	77	85	88
	Fair	55	72	81	86
	Good	49	68	79	84

<sup>1</sup> Average runoff condition, and  $I_a = 0.2S$ . For range in humid regions, use table 2-2c.

<sup>2</sup> Poor: <30% ground cover (litter, grass, and brush overstory).

Fair: 30 to 70% ground cover.

Good: > 70% ground cover.

<sup>3</sup> Curve numbers for group A have been developed only for desert shrub.

Dengan mengacu pada “*Buku Petunjuk Teknis Perhitungan Debit Banjir Pada Bendungan*”, Karakteristik DAS secara umum yang mempengaruhi parameter SCS-CN adalah jenis tanah, jenis tutupan vegetasi, penggunaan lahan, kondisi hidrologi, kondisi kelengasan tanah sebelumnya (AMC), dan iklim pada DAS. Metode SCS ini sendiri mengestimasi kelebihan hujan sebagai fungsi dari hujan kumulatif, tutupan lahan, tata guna lahan, kelembapan tanah. Persamaannya dapat ditulis menjadi:

$$P_e = \left\{ \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \right\}$$

$$I_a = \lambda . S$$

$$S = \left\{ \frac{25400 - 254 CN}{CN} \right\}$$

Keterangan :

$P_e$  : kelebihan hujan kumulatif (mm)

$P$  : hujan kumulatif (mm)

$I_a$  : kehilangan awal air (mm)

$S$  : potensi tampungan di dalam DAS (mm)

$\lambda$  : koefisien

CN : Curve Number

Hubungan  $I_a$  dan  $S$  diturunkan secara empiris dimana nilai  $\lambda$  diambil sebesar 0,2. Sehingga pada DAS yang berbeda nilai  $\lambda$  dapat berbeda-beda. Untuk DAS dengan sub-DAS yang memiliki jenis tanah dan tutupan lahan yang berbeda, maka nilai komposit CN ditentukan berdasarkan :

$$CN_c = \frac{CN_1A_1 + CN_2A_2 + \dots + CN_iA_i \dots + CN_nA_n}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Keterangan :

$CN_i$  : nilai CN pada sub-DAS  $i$ ,

$A_i$  : luas pada sub-DAS  $i$ , dan

$n$  : jumlah sub-DAS.

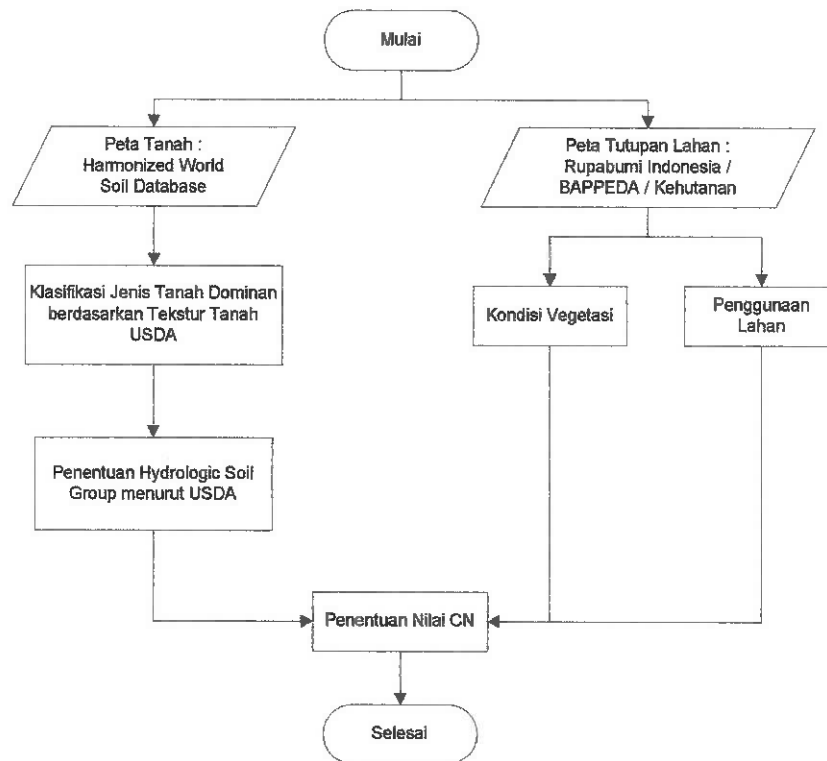
Penentuan nilai CN dimulai dengan pengumpulan data. Untuk menentukan jenis tanah, peta yang diperlukan adalah peta tanah. Peta tanah yang digunakan adalah Peta *Harmonized World Soil Database* (HWSD).

Jenis tanah hidrologi sendiri lebih dikenal sebagai Hydrologic Soil Grup (HSG) yang terbagi menjadi 4 kelompok mulai dari jenis tanah A (sangat berpotensi menyerap air), B (potensi menyerap air termasuk moderat), C (potensi menyerap air kurang) dan D (potensi menyerap air sangat kurang).

Nilai dari HSG ini ditentukan dengan menggunakan peta HWSD (*Harmonized World Soil Database*). Peta ini dapat diakses dari <http://webarchive.iiasa.ac.at>. Peta HWSD merupakan database raster 30 arc-second dengan lebih dari 1600

pemetaan tanah yang berbeda yang menggabungkan pembaruan informasi regional dan nasional yang ada di seluruh dunia (SOTER, ESD, *Soil Map of China*, WISE) dengan informasi yang terdapat dalam 1: 5000.000 skala FAO-UNESCO Tanah Peta Dunia (FAO, 19711981).

Peta HWSD sudah memiliki informasi mengenai tekstur tanah dominan menurut USDA (*United States Department of Agriculture*). Informasi tersebut di transformasikan sebagai kelompok kelas HSG berdasarkan kelas tekstur dari USDA.



**Gambar 5 Diagram Alir Penentuan HSG Menggunakan Peta HWSD**

*Sumber: Buku Petunjuk Teknis Perhitungan Debit Banjir Pada Bendungan*

*Hydrologic Soil Group (HSG) menurut NRCS dibagi menjadi empat kelas, yaitu A, B, C, dan D. Kriteria pengelompokan HSG menurut USDA adalah sebagai berikut :*

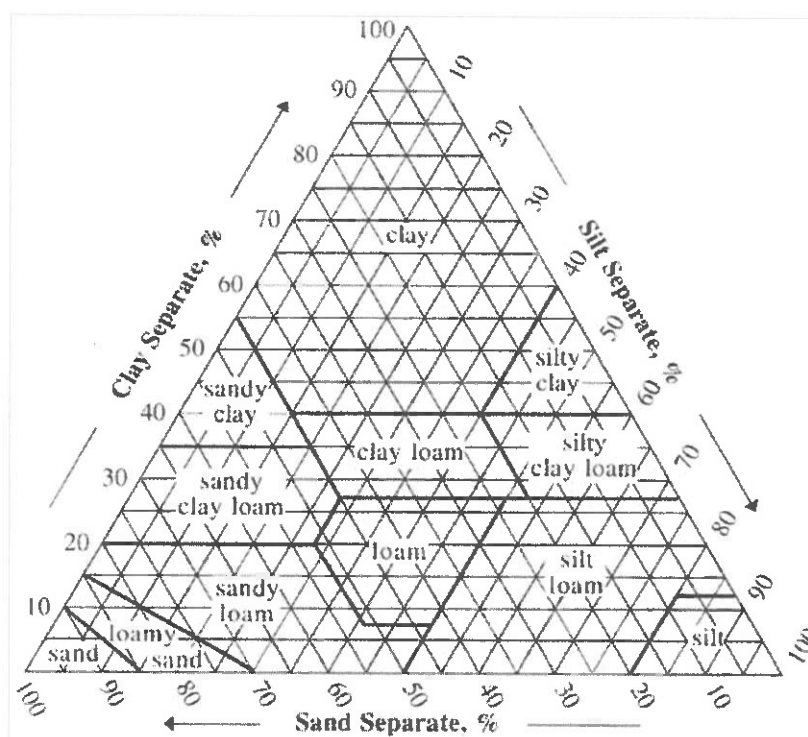
**Tabel 8 Nilai HSG Berdasarkan Klasifikasi Tanah USDA**

HSG	Tekstur Tanah
-----	---------------

A	Sand, loamy sand or sandy loam
B	Silt or loam
C	Sandy clay loam
D	Clay loam, silt clay loam, sandy clay or clay

(Sumber: SCS-USDA, 1986)

Tanah secara luas diklasifikasikan sebagai *sand* (pasir), *silt* (lanau), *clay* (lempung) berdasarkan ukuran butir yang menurun sesuai urutannya seperti yang ditunjukkan dalam gambar di bawah ini. Nilai CN diambil dari tabel Klasifikasi Nilai CN Berdasarkan HSG. Dengan mengacu pada tabel di atas, dimana diketahui kondisi vegetasi (*Hydrologic Conditions/% impervious area*), jenis penggunaan lahan yang diambil dari peta tutupan lahan yang tersedia, lalu sesuaikan dengan HSG yang telah ditentukan.



Gambar 6 Klasifikasi Tekstur Tanah

**Tabel 9 Klasifikasi Nilai CN Berdasarkan HSG**

No	Land Use Description/Treatment	Hydrologic Conditions/% impervious area	Hydrologic Soil Groups			
			A	B	C	D
<b>Urban</b>						
1	Residential:					
	Average lot size 1/8 acre or less	65	77	85	90	92
	1/4 acre	38	61	75	83	87
	1/3 acre	30	57	72	81	86
	1/2 acre	25	54	70	80	85
	1 acre	20	51	68	79	84
	2 acre	12	46	65	77	8
2	Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)		98	98	98	98
3	Streets and roads:					
	Paved with curbs and storm sewers (excluding right-of-way)		98	98	98	98
	Paved, open ditch (including right-of-way)		82	89	92	93
	Gravel (including right-of-way)		76	85	89	91
	Dirt (including right-of-way)		72	82	87	89
4	Western desert areas:					
	Natural desert landscaping (pervious areas only)		63	77	85	88
	Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1-2 inch sand or gravel mulch and basin borders)		96	96	96	96

No	Land Use Description/Treatment	Hydrologic Conditions/% impervious area	Hydrologic Soil Groups			
			A	B	C	D
5	Urban districts:					
	Commercial and business areas	85	89	92	94	95
	Industrial districts	72	81	88	91	93
6	Developing areas:					
	Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation)		77	86	91	94
	Idle lands					
7	Open spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.					
	Grass cover on 75% or more of the area	Good	36	61	74	80
	Grass cover on 50% to 75% of the area	Fair	49	69	79	84
	Agricultural					
	Cultivated lands:					
8	Fallow:					
	Bare soil Straight row		77	86	91	94
	Crop residue cover	Poor	76	85	90	93
9	Row crops					
	Straight row	Poor	72	81	88	91
	Straight row	Good	67	78	85	89
	Crop residue cover Straight row	Poor	71	80	87	90
	Crop residue cover Straight row	Good	64	75	82	85

No	Land Use Description/Treatment	Hydrologic Conditions/% impervious area	Hydrologic Soil Groups			
			A	B	C	D
	Contoured	Poor	70	79	84	88
	Contoured	Good	65	75	82	86
	Crop residue cover Contoured	Poor	69	78	83	87
	Crop residue cover Contoured	Good	64	74	81	85
	Contoured & terraced	Poor	66	74	80	82
	Contoured & terraced	Good	62	71	78	81
	Crop residue cover Contoured & terraced	Poor	65	73	79	81
	Crop residue cover Contoured & terraced	Good	61	70	77	80
10	Small grain:					
	Straight row	Poor	65	76	84	88
	Straight row	Good	63	75	83	87
	Crop residue cover Straight row	Poor	64	75	83	86
	Crop residue cover Straight row	Good	60	72	80	84
	Contoured	Poor	63	74	82	85
	Contoured	Good	61	73	81	84
	Crop residue cover Contoured	Poor	62	73	81	84
	Crop residue cover Contoured	Good	60	72	80	83
	Contoured & terraced	Poor	61	72	79	82
	Contoured & terraced	Good	59	70	78	81
	Crop residue cover Contoured & terraced	Poor	60	71	78	81

No	Land Use Description/Treatment	Hydrologic Conditions/% impervious area	Hydrologic Soil Groups			
			A	B	C	D
	Crop residue cover Contoured & terraced	Good	58	69	77	80
11	Close-seeded legumes or rotation meadow					
	Straight row	Poor	66	77	85	89
	Straight row	Good	58	72	81	85
	Contoured	Poor	64	75	83	85
	Contoured	Good	55	69	78	83
	Contoured & terraced	Poor	63	73	80	83
	Contoured & terraced	Good	51	67	76	80
	Uncultivated lands:					
12	Pasture or range:	Poor	68	79	86	89
		Fair	49	69	79	84
		Good	39	61	74	80
	Contoured	Poor	47	67	81	88
	Contoured	Fair	25	59	75	83
	Contoured	Good	6	35	70	79
13	Meadow-continuous grass, protected from grazing, and generally mowed for hay	Good	30	58	71	78
	Brush-brush weed grass mixture with brush being the major element	Poor	48	67	77	83
		Fair	35	56	70	77
		Good	30	48	65	73

No	Land Use Description/Treatment	Hydrologic Conditions/% impervious area	Hydrologic Soil Groups			
			A	B	C	D
14	Farmsteads-buildings, lanes, driveways, and surrounding lots		59	74	82	86
<b>Woods and Forest</b>						
15	Woods or forest land	Poor	45	66	77	83
		Fair	36	60	73	79
		Good	25	55	70	77
16	Woods-grass combination (orchard or tree farm)	Poor	57	73	82	86
		Fair	43	65	76	82
		Good	32	58	72	79
<b>Arid and Semiarid rangelands :</b>						
17	Herbaceous	Poor		80	87	93
		Fair		71	81	89
		Good		62	74	85
18	Oak-aspen	Poor		66	74	79
		Fair		48	57	63
		Good		30	41	48
19	Pinyon-juniper	Poor		75	85	89
		Fair		58	73	80
		Good		41	61	71
20	Sagebrush with grass understory	Poor		67	80	85
		Fair		51	63	70
		Good		35	47	55

No	Land Use Description/Treatment	Hydrologic Conditions/% impervious area	Hydrologic Soil Groups			
			A	B	C	D
21	Desert shrub	Poor	63	77	85	88
		Fair	55	72	81	86
		Good	49	68	79	84

#### 4.2.5 Ketersediaan Air Rata-Rata Bulanan

Berdasarkan hasil perhitungan ketersediaan air bulanan menggunakan N-RECA atau FJ Mock maka didapat tabel ketersediaan air bulanan.

Selain itu, debit andalan dan debit rata-rata bulanan juga perlu dihitung mengacu kepada *SN/ Debit Andal dan Teknik Generating Data Debit dari Metode Hujan Limpasan*.

### 4.3 Analisis Kebutuhan Air

#### 4.3.1 Kebutuhan Air Rumah Tangga

Kebutuhan air rumah tangga dihitung berdasarkan kategori seperti yang dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 10 Kebutuhan air rumah tangga**

No	Kategori Kota	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Kebutuhan Air Bersih (L/O/H)
1	Semi Urban (Ibu Kota Kecamatan/ Desa)	3000 – 20.000	60 - 90
2	Kota Kecil	20.000 – 100.000	90 – 110
3	Kota Sedang	100.000 – 500.000	100 – 125
4	Kota Besar	500.000 – 1.000.000	120 – 150
5	Kota Metropolitan	> 1.000.000	150 – 200

#### 4.3.2 Kebutuhan Air Peternakan

Besar kebutuhan air peternakan dapat dihitung berdasarkan jenis hewan seperti terlihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 11 Kebutuhan air peternakan**

No	Jenis Hewan	Kebutuhan Air (Lt/Ekor/Hari)
1	Sapi/ Kerbau	40
2	Domba/ Kambing	5
3	Babi	6
4	Unggas	0.6

Sumber: Jurnal Teknosains, 2015.

Khusus untuk peternakan sapi perah dapat dihitung juga menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$DWI = 15,99 + (1,58 \times DMI) + (0,9 \times HS) + (0,05 \times 10^{-5} \times NaI) + (1,20 \times T)$$

Keterangan :

DWI = *Dry Water Intake* (kg/hari)

DMI = *Dry Matter Intake* (kg/hari)

HS = Hasil Susu (kg/hari)

NaI = *Sodium Intake* (kg/hari)

T = Suhu (°C)

Sedangkan untuk sapi kering kandang dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$FWI = -10,34 + (0,2296 \times DMD) + (0,2212 \times DMI) + (0,03944 \times CPD^2)$$

Keterangan :

FWI = *Free Water Intake* (kg/hari)

DMD = *Dry Matter percent of Diet* (kg/hari)

CPD = *Crude Protein percent of Diet* (kg/hari)

#### **4.3.3 Kebutuhan Air Perkebunan/Pertanian**

Kebutuhan air untuk pertanian dan perkebunan diatur berdasarkan KP-01:2013 Jaringan Irigasi.

#### **4.3.4 Kebutuhan Air Lainnya**

Kebutuhan air lainnya yang dimaksud adalah kebutuhan air untuk fasilitas umum seperti sekolah, sarana ibadah, taman, tempat rekreasi, dan lain-lain sesuai layanan setempat yang diperlukan. Kebutuhan air dihitung sesuai NSPK yang berlaku.

### **4.4 Analisis Neraca Air**

Kebutuhan pembangunan embung disesuaikan dengan kebutuhan permasalahan air yang terjadi dilapangan. Pembangunan embung untuk memenuhi kebutuhan air harus mempertimbangkan neraca air di lokasi tersebut. Neraca air atau keseimbangan air mempertimbangkan ketersediaan air dan kebutuhan air yang ada.

Ketersediaan air diperkirakan berdasarkan besarnya potensi air atau curah hujan yang akan mengisi embung. Besarnya curah hujan harus cukup untuk memenuhi kebutuhan minimal daerah layanan. Kebutuhan air diperkirakan berdasarkan klasifikasi daerah dan kebutuhan air perkapita.

Apabila embung yang dibangun ditujukan juga untuk menyelesaikan permasalahan banjir, maka harus mempertimbangkan beban banjir atau limpasan yang terjadi dan seberapa besar beban banjir yang akan dikurangi.

### **4.5 Analisis Kapasitas Tampungan Efektif (KTE)**

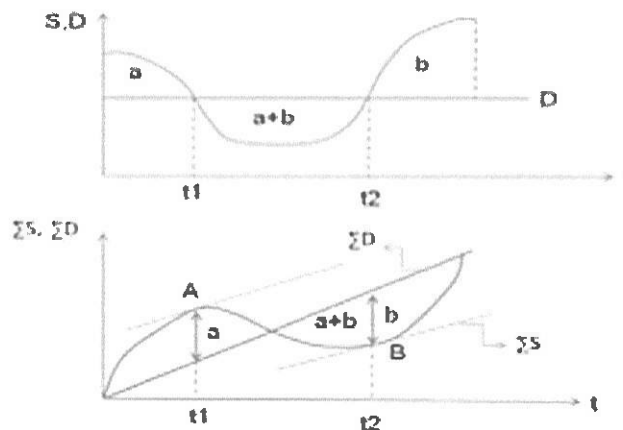
Kapasitas tampung harus dapat memenuhi kebutuhan air utama suatu desa yang ditentukan berdasarkan jumlah kepala keluarga (KK), luas irigasi/kebun yang harus diairi, jumlah hewan/peternakan yang membutuhkan air, dll. Selain kebutuhan air utama, harus

diperhitungkan juga kebutuhan tampung diantaranya cadangan untuk mengantisipasi kehilangan air karena penguapan dan resapan (infiltrasi), serta perlu disediakan ruangan untuk sedimen (tampungan mati - *dead storage*) yang kemudian diproyeksikan 20 tahun kedepan.

Pendekatan dan metoda yang dapat digunakan dalam memperkirakan kapasitas tampung suatu embung dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metoda salah satunya dengan metoda Grafis (*Ripple Method*). Dengan diketahuinya ketersediaan air (*inflow*) dan kebutuhan air (*outflow*), maka volume kapasitas tampung yang dibutuhkan pada kondisi dimana kebutuhan melebihi ketersediaan dapat diketahui dengan memplot kumulatif besarnya *inflow* dan *outflow*. Selisih terbesar, antara kedua kurva tersebut merupakan kapasitas yang dibutuhkan. Berikut tahapan dalam pembuatan diagram kurva massa:

- Membuat kurva kumulatif dari inflow yang masuk ke embung.
- Kemiringan dari kurva masa memberikan nilai dari inflow ( $S$ ) pada suatu waktu.
- Kemiringan dari kurva kebutuhan memberikan besaran laju kebutuhan ( $D$ ).
- Perbedaan antara garis tangen ( $a+b$ ) ke garis kebutuhan ( $\Sigma D$ ) pada titik puncak (A) dan titik terendah (B) dari kurva masa ( $\Sigma S$ ) memberikan laju yang harus dikeluarkan dari embung selama perioda kritis (Lihat gambar Diagram Kurva Massa (Rippl, 1883)).

Maksimum kumulatif antara kurva ketersediaan dan kurva kebutuhan merupakan tampungan/*storage* aktif yang diperlukan.



Gambar 7 Diagram Kurva Massa (Rippl, 1883)

#### 4.6 Analisis Infiltrasi

Parameter yang digunakan pada analisis infiltrasi didapat dari pengukuran laju infiltrasi air kedalam tanah yang salah satunya menggunakan infiltrometer cincin ganda sesuai dengan SNI 7752:2012.

#### 4.7 Analisis Erosi dan Sedimentasi (Tampungan Mati)

Kapasitas tampungan efektif (*life storage*) dapat ditentukan dengan menghitung terlebih dahulu besarnya sedimentasi (*dead storage*). Hal ini dikarenakan besarnya *life storage* merupakan selisih antara kapasitas tampungan total dengan *dead storage*. Besarnya *dead storage* ditentukan oleh total laju erosi yang terjadi selama kapasitas layanan embung yang direncanakan. Terjadinya erosi dan sedimentasi tergantung dari beberapa faktor yaitu karakteristik hujan, kemiringan lereng, tanaman penutup dan kemampuan tanah untuk menyerap dan melepas air ke dalam lapisan tanah dangkal, dampak dari erosi tanah dapat menyebabkan sedimentasi di sungai sehingga dapat mengurangi daya tampung sungai. Sejumlah material erosi yang dapat mengalami secara penuh dari sumbernya hingga mencapai titik kontrol dinamakan hasil sedimen (*sediment yield*). Hasil sedimen tersebut dinyatakan dalam satuan berat (ton) atau satuan volume (m<sup>3</sup>) dan juga merupakan fungsi luas daerah pengaliran. Dapat juga dikatakan hasil sedimen adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu.

Analisis erosi dan sedimentasi dapat menggunakan metode USLE, MUSLE, dan RUSLE, sedangkan untuk data yang terbatas biasanya digunakan metode USLE. Untuk menghitung perkiraan besarnya erosi yang terjadi di suatu DAS dapat digunakan metode USLE, dengan formulasi :

$$E = R \times K \times LS \times C \times P$$

Keterangan :

- E* adalah perkiraan besarnya erosi jumlah (ton/ha/tahun)
- R* adalah faktor erosivitas hujan
- K* adalah faktor erodibilitas lahan
- LS* adalah faktor panjang – kemiringan lereng
- C* adalah faktor tanaman penutup lahan atau pengelolaan tanaman
- P* adalah faktor tindakan konservasi lahan

Adapun faktor-faktor yang memengaruhi besarnya erosi memiliki penjelasan sebagai berikut:

a) Erosivitas Hujan (R)

Erosivitas hujan adalah kemampuan air hujan sebagai penyebab terjadinya erosi yang bersumber dari laju dan distribusi tetesan air hujan, dimana keduanya mempengaruhi besarnya energi kinetik air hujan. Berdasarkan data curah hujan bulanan, faktor erosivitas hujan (R) dapat dihitung dengan :

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_{30}$$
$$EI_{30} = 6.119 \times P^{1.21} \times D^{-0.47} M^{0.55}$$

Keterangan :

R adalah indeks erosivitas

P adalah curah hujan bulanan (cm)

D adalah jumlah hari hujan

M adalah curah hujan maksimum dalam satu bulan (cm)

b) Erodibilitas Tanah (K)

Nilai erodibilitas tanah ditentukan oleh tekstur, struktur, permeabilitas tanah dan kandungan material organik dalam tanah. Penentuan nilai K dapat menggunakan persamaan berikut :

$$K = \frac{1.292\{(2.1M^{1.14}10^{-4}(12-a))+(3.25(b-2))+(2.5(c-3))\}}{100}$$

Keterangan :

K adalah faktor erodibilitas tanah

M adalah parameter ukuran butir

a adalah persentase material organik = % C × 1.724

b adalah kelas struktur tanah

c adalah kelas kecepatan permeabilitas tanah

Untuk menyelesaikan persamaan tersebut, digunakan beberapa rumus.

Tabel 12 Kelas struktur tanah (b)

Struktur Tanah	Nilai b
Granuler sangat halus	1
Granuler halus	2
Granuler sedang sampai kasar	3
Masif kubus, lempeng	4

Tabel 13 Kelas kecepatan permeabilitas tanah (c)

Tingkat permeabilitas tanah	Kecepatan permeabilitas (cm/jam)	Nilai c
Sangat lambat	< 0.5	1
Lambat	0.5 – 2	2
Lambat sampai sedang	2 – 6.3	3
Sedang	6.3 – 12.7	4
Sedang sampai cepat	12.7 – 25.4	5
Cepat	> 25.4	6

Berdasarkan nilainya, tingkat erodibilitas (K) juga memiliki klasifikasi seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 14 Kelas tingkat erodibilitas

Kelas	Nilai K	Tingkat Erodibilitas
1	0.00 - 0.10	Sangat rendah
2	0.11 - 0.21	Rendah
3	0.22 - 0.32	Sedang
4	0.33 - 0.44	Agak tinggi
5	0.45 - 0.55	Tinggi
6	0.56 - 0.64	Sangat tinggi

c) Panjang – Kemiringan Lereng (LS)

$$LS = L + \left(\frac{S}{9}\right)^{1.4}$$

$$L = \left(\frac{X}{22.1}\right)^m$$

$$S = \frac{(0.43 + 0.30 S + 0.0435) S^2}{6.613}$$

Keterangan :

LS adalah faktor panjang – kemiringan lereng

L adalah panjang lereng erosi (m)

X adalah panjang lereng erosi di lapangan (m)

m adalah nilainya berkisar antara 0.2 sampai 0.5

m = 0.5 jika kelerengan ≥ 5 %

m = 0.4 jika kelerengan < 5 % dan > 30 %

m = 0.3 jika kelerengan ≤ 3 % dan ≥ 1 %

m = 0.2 jika kelerengan < 1 %

S adalah kemiringan lereng

s adalah nilai kecuraman/kemiringan lereng di halaman (%)

Nilai s merupakan kelas lereng dan diperoleh dari tabel berikut ini.

**Tabel 15 Kelas lereng (s)**

Kelas	Lereng	Kemiringan (%)
1	Datar	0 - 3
2	Landai	3 - 8
3	Miring	8 - 15
4	Agak curam	15 - 30
5	Curam	30 - 45
6	Sangat curam	≥ 45

d) Tanaman Penutup Lahan atau Pengelolaan Tanaman (C)

Dalam penentuan indeks pengelolaan tanaman ini ditentukan dari peta tata guna lahan dan keterangan tata guna lahan pada peta topografi ataupun data yang langsung diperoleh dari lapangan. Penentuan nilai faktor C ini dapat menggunakan tabel berikut ini.

**Tabel 16 Indeks pengelolaan tanaman**

No.	Macam penggunaan	Nilai C	No.	Macam penggunaan	Nilai C
1	Tanah terbuka tanpa tanaman	1,0		-serasah banyak	0,001
2	Sawah	0,01		-serasah kurang	0,005
3	Tegalan tidak dispesifikasi	0,7	20	Hutan produksi	
4	Ubi kayu	0,8		-tebang habis	0,5
5	Jagung	0,7		-tebang pilih	0,2
6	Kedelai	0,399	21	Semak belukar/ padang rumput	0,3
7	Kentang	0,4	22	Ubi kayu + kedelai	0,181
8	Kacang tanah	0,2	23	Ubi kayu + kacang tanah	0,95
9	Padi	0,561	24	Padi + sorghum	0,35
10	Tebu	0,2	25	Padi + kedelai	0,417
11	Pisang	0,6	26	Kacang tanah + gude	0,495
12	Akar wangi (sereh wangi)	0,4	27	Kacang tanah + kacang tunggak	0,571
13	Rumput bede (tahun pertama)	0,287	28	Kacang tanah + mulsa jerami 4 ton/ha	0,049
14	Rumput bede (tahun kedua)	0,002	29	Padi + mulsa jerami 4 ton/ha	0,096
15	Kopi dengan penutup tanah buruk	0,2	30	Kacang tanah + mulsa jagung 4 ton/ha	0,128
16	Talas	0,85	31	Kacang tanah + mulsa crotalaria 3 ton/ha	0,136
	Kebun campuran	0,1	32	Kacang tanah + mulsa kacang tunggak	0,259
	-kerapatan tinggi	0,2	33	Kacang tanah + mulsa jerami 2 ton/ha	0,377
17	-kerapatan sedang	0,5	34	Padi + mulsa crotalaria 3 ton/ha	0,387
	-kerapatan rendah		35	Polta tanam tumpang gilir **) +mulsa jerami	0,079
18	Perladangan	0,4	36	Polta tanam berurutan ***) + mulsa sisa	0,357
19	Hutan alam		37	Alang-alang murni subur	0,001

e) Konservasi Tanah (P)

Penentuan indeks konservasi tanah ditentukan dari interpretasi jenis tanaman dari tata guna lahan dievaluasi dengan kemiringan lereng serta pengecekan di lapangan. Penentuan nilai faktor P ini dapat menggunakan tabel berikut ini.

Tabel 17 Indeks konservasi tanah

No	Tindakan Khusus Konservasi Tanah	Nilai P
1	Teras bangku	
	a. Konstruksi baik	0.04
	b. Konstruksi sedang	0.15
	c. Konstruksi kurang baik	0.35
	d. Teras tradisional	0.4
2	Stip tanaman rumput bahia	0.4
3	Pengelolaan tanah dan penampakan	
	a. Kemiringan 0-8%	0.5
	b. Kemiringan 9-20%	0.7
	c. Kemiringan lebih dari 20%	0.9
4	Tanpa tindakan konservasi	1

*Sediment Delivery Ratio* (SDR) adalah perbandingan antara sedimen yang terukur di outlet dan erosi di lahan, biasanya besar SDR cenderung berbanding terbalik terhadap luas DAS-nya. Berikut ini adalah persamaan SDR yang dapat digunakan.

1. The USDA SCS (1979), Blackhand Prairie

$$SDR = 0,51A^{-0,11}$$

Keterangan :

A = Luas DAS

2. Vanoni (1975), menggunakan data 300 DAS di dunia

$$SDR = 0,421A^{-0,125}$$

Keterangan :

A = Luas DAS

3. Auerswald (1992) dalam Arsyad (2006)

$$SDR = -0,02 + 0,385 A^{-0,2}$$

Keterangan :

A = Luas DAS

Besarnya hasil sedimen ditentukan berdasarkan rumus DPMA (1984) dalam Asdak (2004):

$$Y = E(SDR)W_s$$

Keterangan:

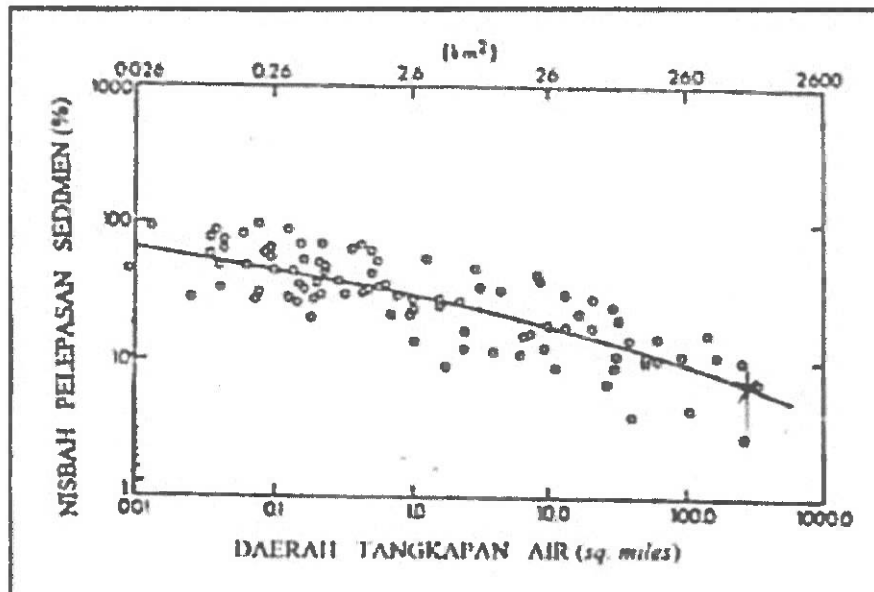
Y = Besarnya laju sedimen

E = Erosi total

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

$W_s$  = Luas daerah tangkapan air

4. Besarnya SDR juga dapat ditentukan berdasarkan grafik hubungan antara luas DAS dan besarnya SDR sebagaimana yang dikemukakan oleh Roehli (1962) dalam Asdak (2004). Grafik hubungan luas DAS dan nilai SDR ini dikembangkan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dalam kurun waktu yang sangat panjang dan melibatkan sejumlah karakteristik DAS diseluruh sunia.



Gambar 8 Besarnya angka SDR berdasarkan luas DAS

Setelah menentukan besarnya sedimen SDR, selanjutnya adalah menghitung *Sediment Yield* (SY) yang merupakan jumlah sedimen yang terakumulasi pada outlet sebuah *catchment*. Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan besar SY.

$$SY = SDR \times A \times E$$

Keterangan :

SY = *Sediment Yield*

E = Laju erosi (ton/ha/tahun)

A = Luas DAS (ha)

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

Volume dari *Dead Storage* dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$V_{DS} = SY \times U$$

Keterangan:

$V_{DS}$  = Volume *Dead Storage* (ton)

$SY$  = *Sediment Yield*

$U$  = Umur layanan embung (tahun)

## 4.8 Analisis Debit Banjir Rencana

### 4.8.1 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi dilakukan untuk mencari distribusi dengan data yang tersedia dari pospos hujan yang ada. Analisis frekuensi dapat dilakukan dengan seri data hujan maupun data debit. Jenis distribusi frekuensi yang banyak digunakan dalam hidrologi adalah: - Distribusi Gumbel - Distribusi Log Pearson tipe III - Distribusi log Normal - Distribusi Normal. Untuk analisis frekuensi ini mengacu pada "*Petunjuk Teknis Perhitungan Debit Banjir Pada Bendungan*"<sup>1</sup>. Dalam analisis curah hujan, dilakukan validasi data hujan. Validasi data adalah langkah pemeriksaan untuk memastikan bahwa data tersebut telah sesuai kriteria yang ditetapkan dengan tujuan untuk memastikan bahwa data yang akan dimasukkan ke dalam basis data telah diketahui dan dapat dijelaskan sumber dan kebenaran datanya.

Dalam melakukan validasi data yang menjadi rujukan adalah Prosedur dan Instruksi Validasi Data yang tertuang dalam Permen PU Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 04/PRT/M/2009 tentang Sistem Manajemen Mutu Departemen Pekerjaan Umum.

Tahapan dalam validasi data hidrologi meliputi 2 (dua) uji yaitu uji konsistensi dan uji keseragaman.

#### a) Uji konsistensi

Uji konsistensi adalah proses pengujian data pada suatu pos pengamatan hidrologi guna mengetahui bahwa dalam kurun rentang waktu tertentu tidak mengalami perubahan secara signifikan yang antara lain diakibatkan adanya perpindahan pos, naturalisasi sistem air, dampak perubahan *land use*, kesalahan pencatatan oleh penjaga pos, perubahan titik referensi (kontrol), alat/gelas ukur dan lain-lain.

---

b) Uji keseragaman

Uji keseragaman adalah proses pengujian data secara keseluruhan/sebagian, untuk mengetahui data tersebut berasal dari satu populasi data yang sama atau tidak.

c) Uji Outlier

Uji outlier adalah proses pengujian data untuk mengetahui data ekstrim menggunakan uji regresi linear.

#### 4.8.2 Debit Banjir

Besarnya debit banjir rencana ditentukan oleh intensitas hujan, yaitu tinggi air persatuan waktu (mm/jam). Analisis debit banjir rencana dapat menggunakan berbagai metode seperti Snyder, SCS, dan lain lain. Prosedur perhitungannya mengacu pada "SNI 2415:2016 Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana" dan "*Petunjuk Teknis Perhitungan Debit Banjir Pada Bendungan*"

### 4.9 Analisis Simulasi *Routing*

Analisis simulasi *routing* dilakukan berdasarkan analisis keseimbangan air yang masuk ke dalam embung (*inflow*), tampungan dan air yang keluar dari embung (*outflow*). Dengan dilakukannya *routing* untuk ketersediaan air, maka akan dapat diketahui tinggi muka air dari embung dan dapat digunakan sebagai pola operasi embung, sedangkan jika embung diperuntukkan sebagai pengendali banjir juga, maka perlu dilakukan *routing* terhadap banjir. Tahapan *routing* dalam perhitungan neraca air adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi sumber air (*inflow*) berupa: curah hujan, aliran sungai, air tanah atau CAT

Sumber air pada embung dapat bervariasi tergantung karakteristik embung tersebut. Analisis sumber air (*inflow*) atau analisis ketersediaan air di DAS (Daerah Aliran Sungai) embung dilakukan untuk mengetahui potensi air permukaan di DAS embung. Data terkait hidrologi dikumpulkan selama minimal 10 (sepuluh) tahun terakhir. Tentukan besarnya *inflow* pada berbagai kondisi sebagai batas, yaitu:

- a. Kondisi basah atau normal atas dengan tingkat keandalan *inflow* 35%
- b. Kondisi normal dengan tingkat keandalan *inflow* sebesar 50%
- c. Dan kondisi kering atau normal bawah dengan tingkat keandalan 65%

Metode yang dapat digunakan dalam perhitungan ketersediaan air diantaranya adalah Metode Mock yang dimodifikasi, Metode Sacramento, Metode NRECA, dan metode lainnya. Perhitungan ini perlu dilakukan kalibrasi dengan data pengukuran atau yang tersedia pada data AWLR.

2. Identifikasi aliran keluar (*outflow*): aliran sungai, evaporasi, infrastruktur air

Perhitungan aliran keluar disesuaikan dengan karakteristik embung. Jika pada embung terdapat infrastruktur air yang mengatur air keluar sesuai dengan kebutuhan air maka perlu dilakukan perhitungan kebutuhan air berdasarkan data kebutuhan RKI (Rumah Tangga, Perkotaan, dan Industri), data kebutuhan non-domestik, data pertanian, data peternakan dan data lainnya (misalnya PLTA). Periode prediksi data adalah minimal 20 tahun ke depan atau sesuai dengan RTRW di mana embung berada.

Neraca air embung merupakan perbandingan antara ketersediaan air embung dan kebutuhan air di suatu wilayah yang terjangkau dari embung.

3. Simulasi neraca air dengan pola operasi

Persamaan dasar simulasi neraca air di embung merupakan fungsi dari masukan, keluaran dan tampungan embung yang dapat disajikan dalam persamaan sebagai berikut:

$$I - O = \frac{ds}{dt}$$

dengan:

I : debit masuk (m<sup>3</sup>/det)

O : debit keluar (m<sup>3</sup>/det)

ds/dt : ΔS adalah perubahan tampungan (m<sup>3</sup>/det)

atau secara rinci dapat ditampilkan sebagai berikut:

$$S_{t+1} = S_t + R_t - E_t - L_t - O_t - O_s$$

dengan:

S<sub>t</sub> : tampungan embung pada periode t

S<sub>t+1</sub>: tampungan embung pada periode t+1

I<sub>t</sub> : masukan embung pada periode t

R<sub>t</sub> : hujan yang jatuh diatas permukaan embung pada periode t

E<sub>t</sub> : kehilangan air akibat evaporasi pada periode t

L<sub>t</sub> : kehilangan air akibat rembesan dan bocoran

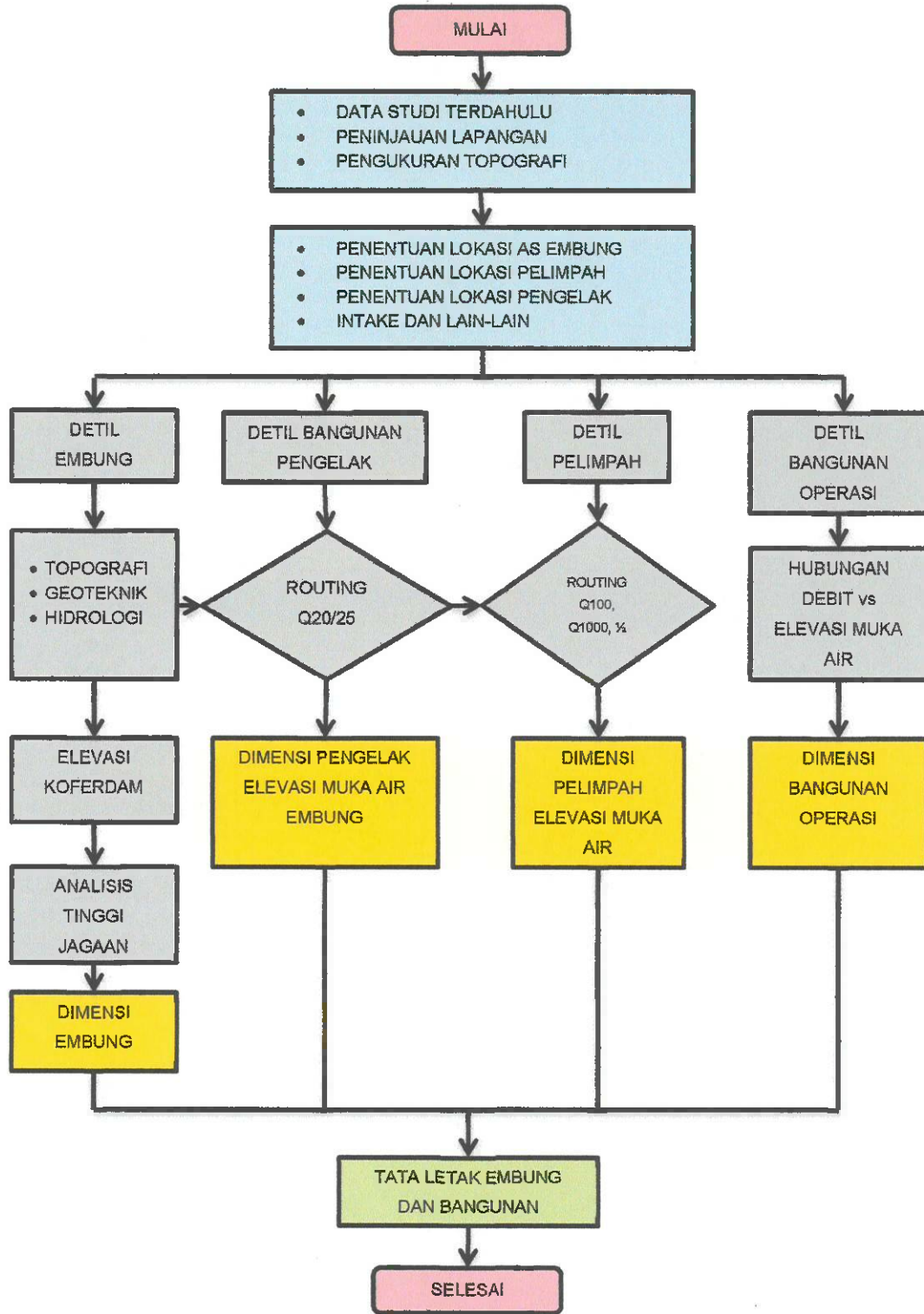
O<sub>t</sub> : total kebutuhan air

O<sub>s</sub> : keluaran dari pelimpah/pompa/bangunan air lainnya

Simulasi dilakukan pada periode 1 (satu) tahun penuh untuk dapat mensimulasikan kondisi embung pada kondisi yang berbeda yaitu kondisi basah, normal dan kering. Simulasi dilakukan berdasarkan debit *inflow* (ketersediaan air) dan debit *outflow* yang sudah diperhitungkan sebelumnya.

## 5 Desain Embung

### 5.1 Desain Tata Letak Embung



Gambar 9 Skema Desain Tata Letak Embung di Dalam Alur Sungai

### 5.1.1 Kriteria Penentuan Lokasi Pembangunan Embung

Lokasi embung ditentukan melalui survei lapangan dengan memperhatikan hal sebagai berikut:

- a) Berupa cekungan dan memiliki curah hujan yang cukup untuk memenuhi kebutuhan minimal daerah layanan.
- b) Daerah tangkapan hujan tidak lebih dari 500 ha.
- c) Untuk mengurangi kemungkinan kehilangan air akibat rembesan, pilih kondisi tanah yang tidak lulus air.
- d) Lokasi embung berada dekat dengan desa yang memerlukan air sehingga jaringan distribusi lebih pendek dan tidak banyak kehilangan energi.
- e) Terdapat akses transportasi menuju lokasi embung.

### 5.1.2 Penempatan Komponen Embung

Hasil penyelidikan geoteknik digunakan untuk menentukan tata letak embung secara tentatif yang kemudian diatur kembali dengan memperhatikan ketentuan sebagai berikut:

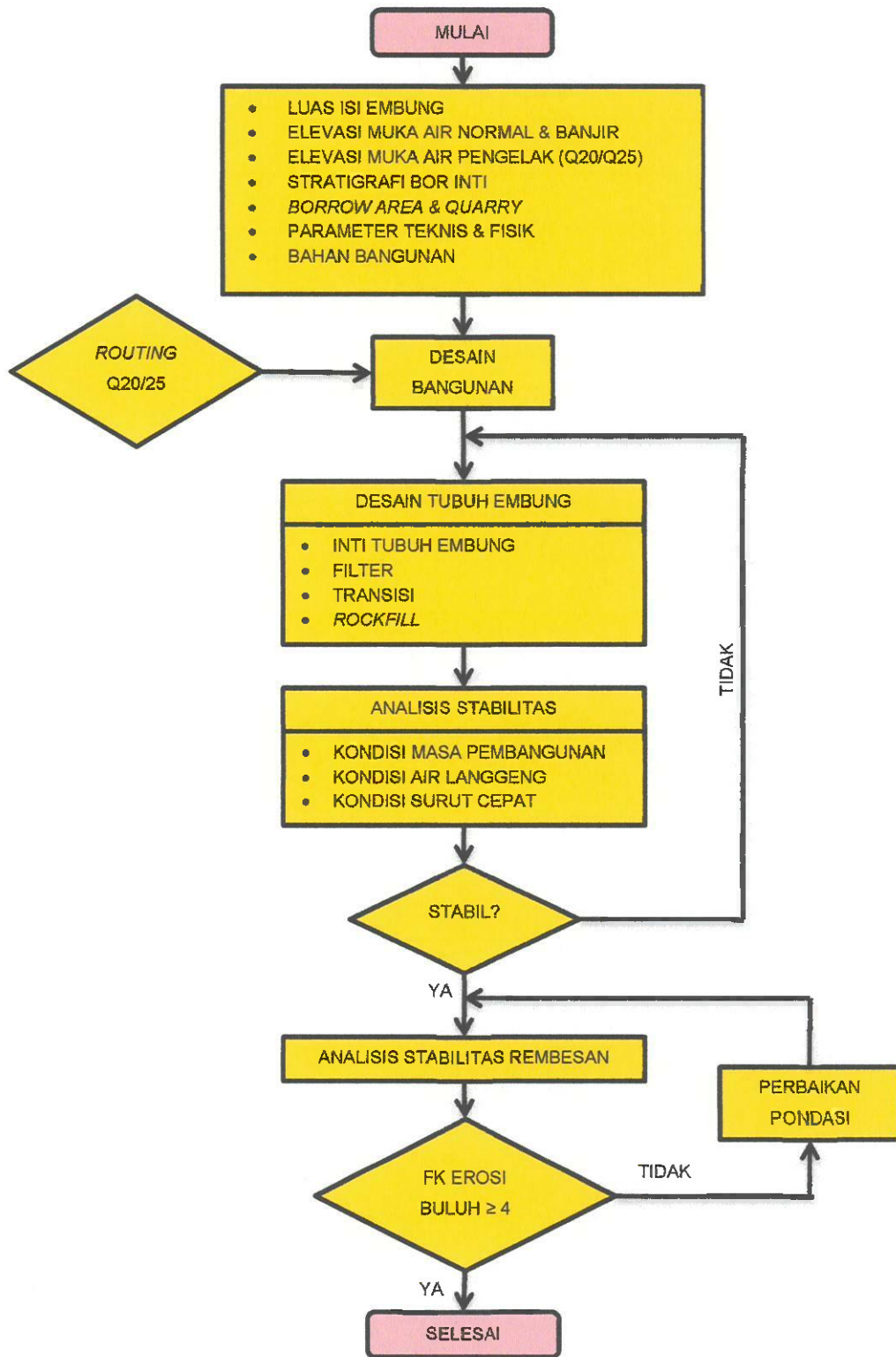
- a) Tubuh embung ditempatkan pada lembah yang paling sempit dengan arah sumbu sedemikian agar panjang tubuh embung lebih pendek.
- b) Fondasi embung diutamakan berupa batu dibandingkan tanah.
- c) Pelimpah ditempatkan terpisah dengan tubuh embung dan dipilih celah bukit (*saddle*) pada dinding embung agar galian tidak banyak. Topografi diutamakan yang agak landai dan fondasi berupa batu untuk mengurangi resiko kerusakan akibat erosi.
- d) Pipa sadap ditempatkan pada fondasi batu di bukit tumpu yang ada di sisi kiri atau kanan lembah tergantung pada lokasi desa yang akan memanfaatkan air.
- e) Tentukan besar tampungan dan tinggi tubuh embung berdasarkan topografi yang ada, kebutuhan air, serta ketersediaan air.

Penentuan tata letak embung ditentukan berdasarkan studi terdahulu, peninjauan lapangan, dan pengukuran topografi. Penentuan tata letak embung terdiri dari penentuan lokasi as dam, lokasi pelimpah, lokasi pengelak, *intake* dan lain-lain. Detail penentuan tata letak embung dan bangunan pelengkap adalah sebagai berikut :

- a. Detail embung: Berdasarkan kondisi topografi, geoteknik, dan hidrologi ditentukan elevasi koferdam dan tinggi jagaan sehingga didapatkan dimensi embung.

- b. Detail bangunan pengelak: Berdasarkan kondisi topografi, geoteknik, dan hidrologi dilakukan routing debit banjir dengan periode ulang 20 atau 25 tahun sehingga didapatkan dimensi pengelak elevasi muka air embung.
- c. Detail pelimpah: Berdasarkan kondisi topografi, geoteknik, dan hidrologi dilakukan routing debit banjir dengan periode ulang  $Q_{100}$ ,  $Q_{1000}$ , atau  $\frac{1}{2}$  PMF sehingga didapatkan dimensi pelimpah elevasi muka air embung.
- d. Detil bangunan operasi: Berdasarkan kebutuhan air yang diperlukan, kemudian ditentukan hubungan antara debit dan elevasi muka air sehingga didapatkan dimensi bangunan operasi.

## 5.2 Desain Tubuh dan Kolam Embung



Gambar 10 Skema Perencanaan Dimensi Embung di Dalam Alur Sungai

### 5.2.1 Tipe Tubuh Embung

Pemilihan tipe embung dilakukan berdasarkan pada kriteria sebagai berikut :

1. Kondisi lapangan
2. Jenis fondasi
3. Jenis tanah
4. Panjang/bentuk lembah
5. Material bangunan yang tersedia di tempat
6. Ketersediaan *disposal area*
7. Stabilitas bangunan
8. Pertimbangan Biaya

Tubuh embung bertipe urukan (homogen dan majemuk) dapat dibangun pada fondasi tanah atau batu, sedangkan tipe pasangan batu atau beton hanya dapat dibangun pada fondasi batu. Selain itu, tipe pasangan batu atau beton karena mahal hanya disarankan bila lembah sempit (bentuk V) dimana kedua tebingnya curam dan terdiri dari material batu. Jika lembah panjang/lebar dan terdiri dari material batu maka tubuh embung akan lebih murah apabila dipilih tipe komposit. Penentuan tubuh embung berdasarkan kajian ketersediaan material di sekitar lokasi rencana embung yang kemudian dilakukan analisis stabilitas tubuh embung sesuai dengan tinggi rencana desain.

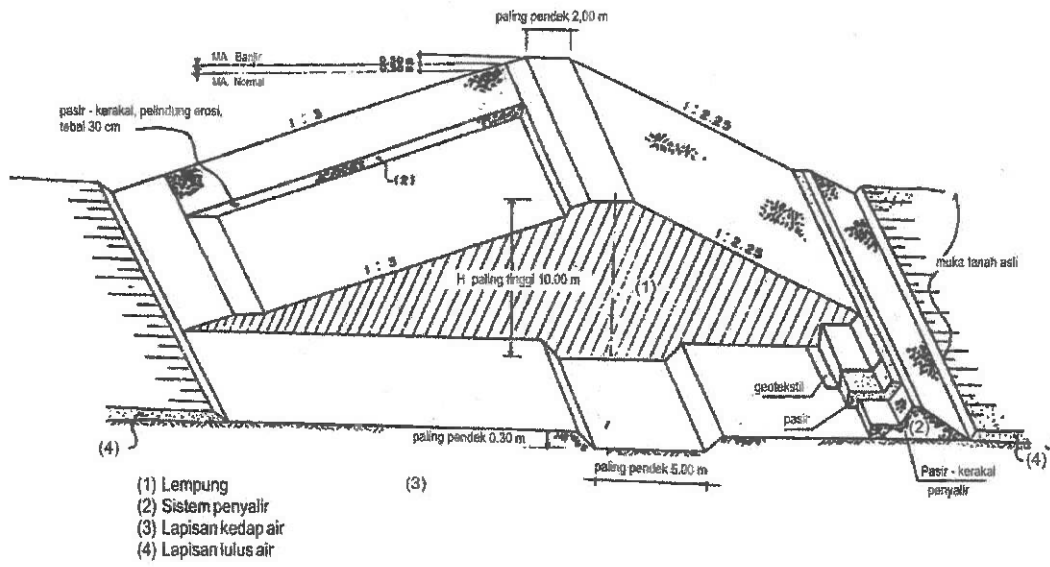
Tubuh embung dapat didesain menurut beberapa tipe sebagai berikut:

a) Urukan tanah homogen

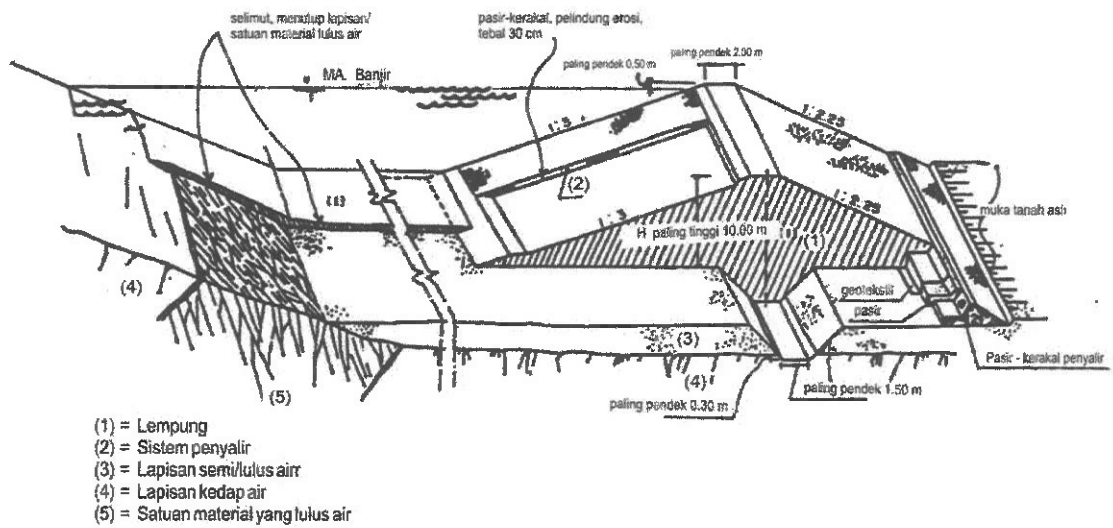
Tubuh embung dapat didesain sebagai urukan homogen, dimana material urukan seluruhnya atau sebagian besar hanya menggunakan satu macam material saja yaitu lempung atau tanah berlempung.

b) Urukan majemuk

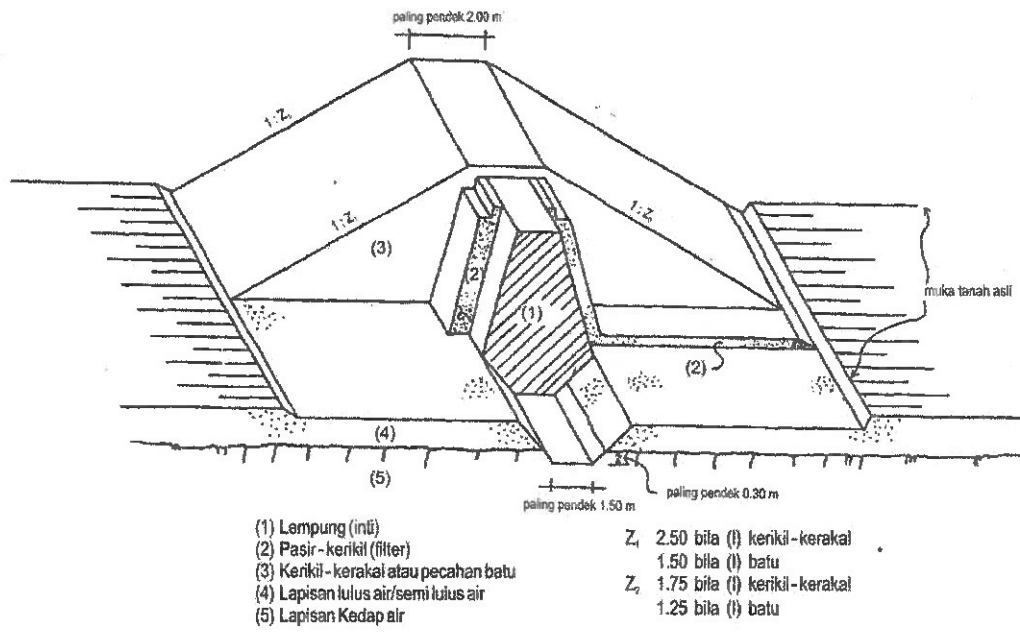
Tubuh embung dapat didesain sebagai urukan majemuk apabila tersedia material urukan lebih dari satu macam. Urukan terdiri dari urukan kedap air terutama untuk bagian inti embung, urukan semi kedap air (transisi) dan urukan lulus air.



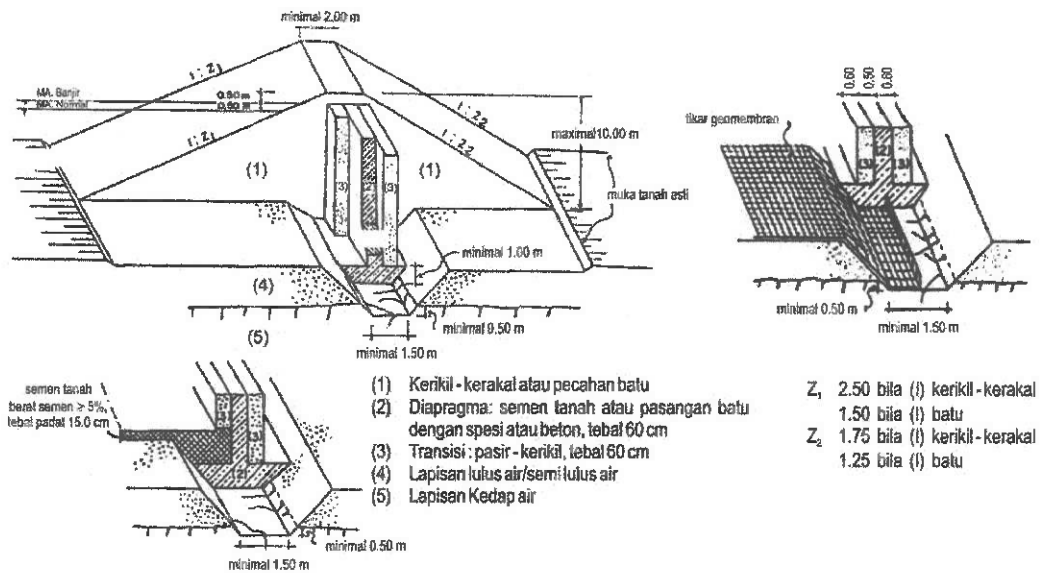
Gambar 11 Urukan homogen, material utama lempung di atas fondasi kedap air



Gambar 12 Tubuh embung tipe urukan homogen dengan dinding halang dan selimut di kolam embung



Gambar 13 Urukan majemuk dengan inti lempung



Gambar 14 Urukan batu dengan inti diafragma (tanpa dan dengan selimut)

c) Pasangan Batu/Beton

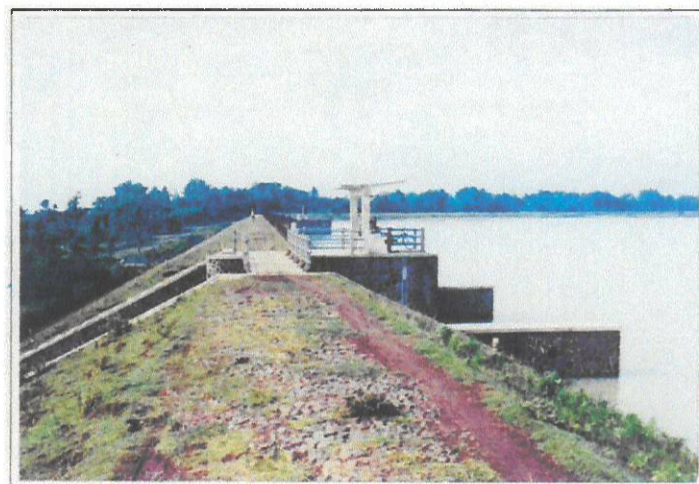
Apabila fondasi tubuh embung terdiri dari satuan batu, maka tubuh embung dapat dibuat dari pasangan batu atau beton atau pasangan batu dengan selimut beton. Kriteria pemilihan bahan tubuh embung ini adalah berdasarkan ketersediaan bahan didekat lokasi calon embung. Jika didekat lokasi calon embung terdapat material untuk pasangan batu, maka tubuh embung dapat dibuat dari pasangan batu, namun jika tidak, maka dapat menggunakan tubuh embung dengan material beton yang secara biaya akan lebih tinggi.

Pada lembah yang sempit dan curam, berbentuk V, tubuh embung tipe ini umumnya didesain menjadi satu dengan bangunan pelimpah yang terbuat dari material yang sama.

Agar keamanan terhadap stabilitas dapat terpenuhi maka tubuh embung didesain berbentuk "graviti" sehingga stabilitasnya dapat diperoleh dari berat strukturnya sendiri. Tubuh embung bagian hilir didesain dengan kemiringan tidak lebih curam dari 1H : 1V, sedangkan tingginya maksimum diambil tujuh meter dari galian fondasi. Bangunan pelimpah yang menjadi satu dengan tubuh embung dapat berbentuk ogee dan peredam energi USBR tipe I.

d) Komposit

Tipe komposit dibangun pada fondasi yang berupa dari satuan batuan keras, dengan lembah yang cukup panjang. Bangunan pelimpah dibangun menjadi satu dengan tubuh embung. Bangunan pelimpah didesain sebagai pelimpah dari pasangan batu atau beton, sedang tubuh embung dibangun dari kiri kanan pelimpah yang dapat didesain sebagai urukan homogen atau urukan majemuk.



**Gambar 15 Contoh Bendungan Komposit (Bendungan Ketro, Jawa Tengah)**

Pada tubuh embung, sebagai upaya pengendalian rembesan air dapat dilakukan dengan cara pengendalian drainase. Drainase yang biasanya digunakan pada tubuh embung adalah

drainase hilir atau sering pula disebut drainase cerobong (*chimmey drain*) harus dilengkapi dengan subzona campuran pasir dan kerikil yang porus, yang memenuhi persyaratan. Zona drainase hilir harus mempunyai kapasitas yang cukup dan puncaknya harus cukup tinggi untuk mengatasi kondisi aliran abnormal yang mungkin terjadi lewat retakan pada zona inti yang kemudian disaat muka air embung tinggi berkembang menjadi paritan-paritan aliran.

Selimut drainase (*drainage blanket*), biasanya merupakan perpanjangan dari drainase hilir dalam arah horisontal, yang dihubungkan dengan drainase kaki (*toe drain*). Drainase tersebut harus dilengkapi dengan lapisan filter, bila terjadi perpindahan partikel halus di atas dan di bawah drainase yang masuk ke dalam material drainase. Selimut drainase harus didesain agar dapat menampung debit air dari zona drainase hilir, fondasi, dan rembesan air hujan yang mungkin mengalir lewat lereng hilir zona inti.

Koefisien permeabilitas material selimut drainase dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

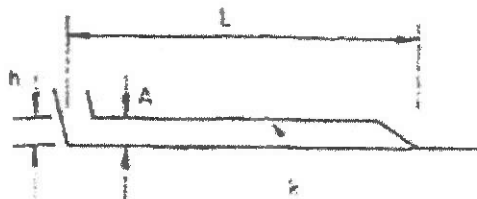
$$k = C \times D_{10}^2$$

Dengan :

k = koefisien permeabilitas (cm/s)

C = konstanta = 1, berlaku untuk pasir dan kerikil bergradasi seragam, tanpa sementasi dan bersih (lanau dan lempung < 5%)

D<sub>10</sub> = ukuran butiran tanah (dalam mm) pada 10% yang lewat saringan



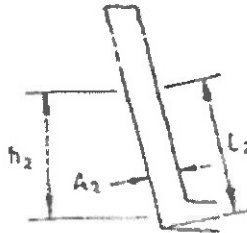
**Gambar 16 Drainase Horisontal**

Estimasi kapasitas drainase horisontal tanpa adanya tekanan dapat menggunakan rumus *Cedergren* (1972) :

$$q = \frac{kh^2}{2L}$$

Dengan :

- k = permeabilitas dari material drain
- L = panjang drain
- q = debit rembesan per meter lebar drain (diukur melintang sungai)



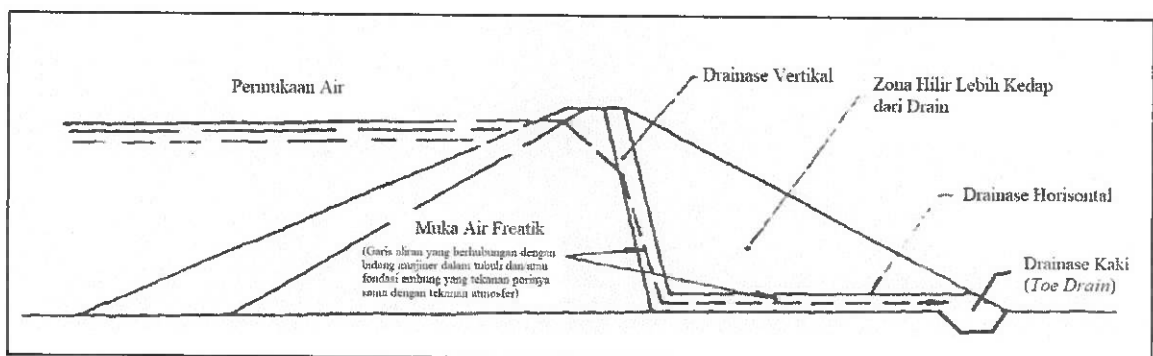
Gambar 17 Drainase Vertikal

Kapasitas dari drainase vertikal biasanya merupakan suatu hal yang kritis, karena debit rembesan melalui urugan tanah adalah kecil dan tebal drainase vertikal dipengaruhi oleh masalah metode pelaksanaan konstruksi. Namun, kapasitas drainase vertikal harus diperiksa dengan rumus berikut ini :

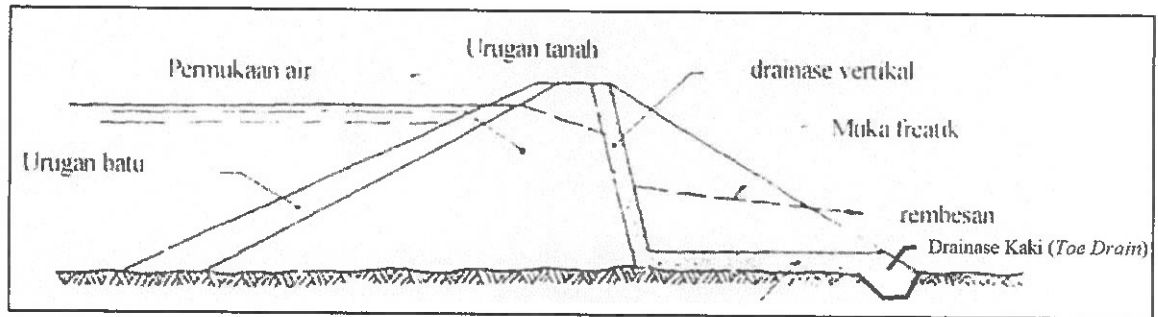
$$Q_2 = \frac{k_2 h_2 w}{L_2}$$

Dengan :

- $k_2$  = permeabilitas vertikal drain pada tinggi  $h_2$
- $L_2$  = panjang horisontal drain
- $w$  = lebar drainase



Gambar 18 Kapasitas Debit Rembesan Cukup



**Gambar 19 Kapasitas Debit Rembesan Kurang**

Hal-hal berikut harus diperhatikan dalam menyiapkan desain drainase horisontal :

- Air dari tumpuan akan mengalir menuju bagian drainase terendah, sebelum mengalir keluar melalui drainase kaki. Kapasitas aliran per satuan lebar pada bagian tersebut harus lebih besar dari aliran rata-rata per satuan lebar embung.
- Bila menggunakan 3 lapisan drainase, yaitu : lapisan pertama dan ketiga berupa filter, lapisan kedua berupa gravel, maka lapisan kedua akan mendominasi kapasitas pengaliran.
- Pemeabilitas lapisan fondasi yang digunakan untuk mendesain drainase horisontal harus diestimasi secara konservatif, karena kegagalan disini akan menyebabkan kegagalan embung secara keseluruhan.
- Hal yang sama harus dilakukan untuk permeabilitas material drainase horisontal dan harus diperhatikan, bahwa material drainase tidak boleh terkontaminasi oleh material halus (lempung) saat konstruksi.
- Drainase kaki di hilirnya juga harus didesain dengan benar dan tidak boleh tersumbat oleh material hasil erosi permukaan dari urugan dan tumpuan. Untuk mengatasi hal tersebut, sebaiknya dibuat berm (semacam tanggul) di atas kaki drainase untuk menampung material yang tererosi.

### 5.2.2 Dinding Halang (*Cut-Off*)

Apabila fondasi tubuh embung terdiri dari material tanah yang lulus air di bagian atas, sedangkan material yang kedap air terletak cukup dalam di bawahnya, maka rembesan harus dikurangi agar tidak terjadi proses erosi buluh maupun kehilangan air yang cukup besar. Umumnya diperlukan dinding halang untuk menghubungkan lapisan kedap air di fondasi dengan zona kedap air dari urugan tubuh embung.

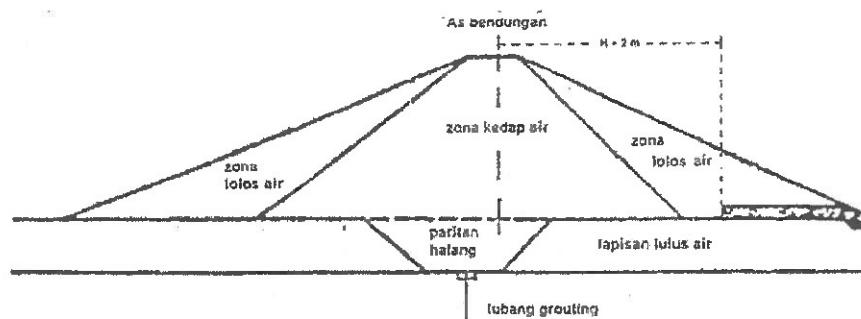
Embung yang harus memiliki dinding halang adalah embung jenis urugan yang memiliki resiko rembesan tinggi. Tubuh embung dibangun di atas tanah yang memiliki daya dukung yang memadai (setelah digali hingga mencapai tanah keras), tetapi tidak hanya itu karena tumpungannya tidak boleh rembes, maka koefisien permeabilitas dari tanah tersebut harus

lebih kecil dari  $10^{-6}$  cm/s. Jika daya dukung tanah memenuhi syarat namun nilai koefisien permeabilitasnya lebih besar dari  $10^{-6}$  cm/s, maka perlu dibangun dinding halang (*cut off*) sehingga dapat memperpanjang waktu rembes dan mengakibatkan debit yang mengalir juga kecil sehingga tubuh embung akan lebih aman dari kemungkinan terjadinya *piping*. Dimensi *cut off* ini disesuaikan dengan hasil analisis stabilitas erosi bawah tanah (*piping*) yang dijelaskan pada subbab 5.6.9. Terdapat beberapa jenis dinding halang atau parit halang (*cut-off*) sebagai berikut.

a) Paritan halang (*cut-off trenches*)

Parit halang dengan sisi miring atau tegak digali di bawah pondasi, ditimbunan dengan material kedap air dan dipadatkan dengan derajat kepadatan tertentu. Parit halang ini dibuat sedikit di hulu dari as embung namun masih di bawah zona inti kedap air, hal ini untuk menjaga agar rembesan dari atas masih dapat dihambat paling kurang sampai batas parit halang itu sendiri. As parit halang dibuat sejajar dengan as embung dan kedalamannya harus mencapai tanah keras atau lapisan kedap air. Lebar dasarnya dibuat sedemikian rupa sehingga cukup untuk pengoperasian alat dan pelaksanaan pekerjaan perbaikan pondasi, biasanya lebar dasar diambil minimum 5 m.

Apabila pondasi tanah keras terletak jauh di kedalaman, dibandingkan dengan parit halang penggunaan tipe lain mungkin lebih ekonomis. Dengan demikian kedalaman maksimum parit halang harus mempertimbangkan faktor ekonomis. Untuk pondasi lapisan kedap airnya cukup dalam, dapat digunakan penghalang sekat pancang.

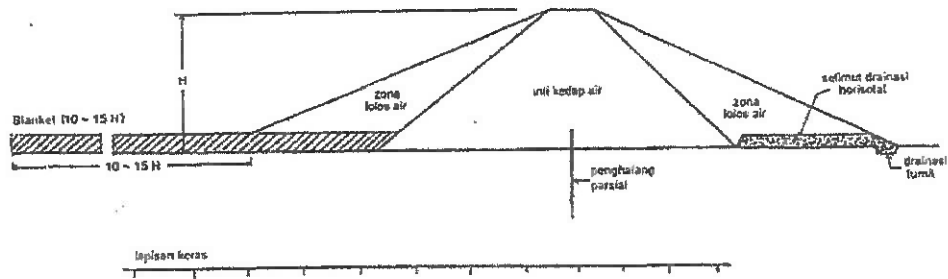


Gambar 20 Paritan halang untuk pondasi kedap air yang dangkal

b) Parit halang sepenggal (*partial cut-off*)

Parit halang parsial cocok digunakan pada pondasi dan memperpanjang garis lintasan rembesan dalam arah vertikal. Namun untuk lapisan porous yang uniform, efek dari parit halang sepenggal sebagai sarana untuk mengurangi rembesan dirasakan sangat terbatas. Sebagai pebandingan, parit halang sedalam 80% dari total kedalaman hanya mengurangi rembesan sebesar 50%. Sehingga kegunaan parit halang semata-mata hanya untuk memperpanjang garis lintasan rembesan. Oleh karena itu, untuk pondasi yang

lapisan kedap airnya terletak jauh di kedalaman dan pembuatan parit halang tidak ekonomis, maka kombinasi parit halang sepenggal dan selimut di bagian hulu bendungan, dapat mengurangi debit dan tekanan dari rembesan.

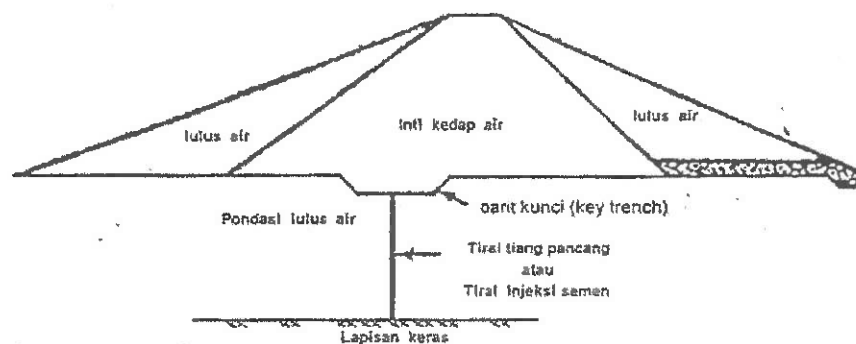


Gambar 21 Perbaikan pondasi untuk lapisan kedap air

c) Sekat pancang penghalang (*sheet piling cut-off*)

Sekat panjang penghalang dari baja digunakan untuk lokasi yang mempunyai pondasi tanah lunak dan pasir halus. Tetapi bila lapisan pondasinya terdapat bongkahan batu, maka tidak mudah untuk dipancang, sehingga sulit untuk memperoleh sekat penghalang rembesan air yang tidak tembus air. Pada kenyataan akan selalu ada kemungkinan rembesan air melalui sambungan dan pada tempat pertemuan antara sekat pancang dengan batuan pondasi.

Kelemahan dan keterbatasan dari sistem sekat pancang penghalang dapat diatasi dengan menggunakan jenis yang berbentuk lingkaran dan setelah pemancangan dicor dengan beton. Cara lain untuk merekatkan hubungan sekat pancang adalah dengan membuat jalur pengeboran dan mengisinya dengan bentonite sebelum dilakukan pemancangan, memotong lobang-lobang tersebut.



Gambar 22 Perbaikan pondasi untuk pondasi kedap air yang agak dalam

d) Parit halang dengan perkuatan semen (*cement bound curtain cut-off*)

Tipe ini biasanya digunakan pada pondasi yang lolos air dimana tidak mengandung batuan kecil (*cables*) dan batu besar (*boulders*) material grouting dipompa melalui lobang pada

pipa bor. Material grouting ditekan ke bawah dengan hasil akhir berupa formasi silinder-silinder semen. Tirai menerus terbentuk dari silinder-silinder yang overlap.

### 5.2.3 Lebar Puncak

Lebar puncak tubuh embung dapat ditentukan seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 18 Lebar puncak tubuh embung

Tipe	Tinggi (m)	Lebar puncak (m)
1 Urukan	-1 ≤ 5,00	2,00
	-2 5,00 – 15,00	3,00
2 Pasangan batu/beton	Sampai maksimal 7,00	1,00

Apabila puncak urukan akan digunakan untuk lalu lintas umum, maka di kiri dan kanan badan jalan diberi bahu jalan masing-masing selebar 1,00 m.

Sedangkan puncak tubuh embung tipe pasangan/beton tidak disarankan untuk lalu lintas karena biaya konstruksi akan menjadi terlalu mahal.

### 5.2.4 Kemiringan Lereng Urukan

Kemiringan lereng urukan harus ditentukan sedemikian rupa agar stabil terhadap longsor. Hal ini sangat tergantung pada jenis material urukan yang hendak dipakai. Kestabilan urukan harus diperhitungkan terhadap surut cepat muka air kolam, dan rembesan langgeng serta harus tahan terhadap gempa. Dengan mempertimbangkan hal di atas dan mengambil koefisien gempa sebesar 0,18 g dapat diperoleh kemiringan urukan. Stabilitasnya dihitung dengan menggunakan metode Bishop, Morgenstem, Jambu atau Spencer sedangkan parameter urukannya diperoleh dengan pengujian di laboratorium.

Di bawah ini adalah tabel-tabel rekomendasi untuk kemiringan lereng urukan, namun kemiringan lereng ini tetap harus mengikuti hasil perhitungan stabilitas hingga memenuhi *safety factor* yang ditentukan.

Tabel 19 Kemiringan lereng urukan untuk tinggi maksimum 10 m

Klasifikasi	N <sub>SPT</sub> (pukulan/30 cm)	Klasifikasi tanah fondasi	Tinggi Bendungan				
			50 ft (15,3 m)	40 ft (12,2 m)	30 ft (9,2 m)	20 FT (6,1 m)	10 ft (3,0 m)
Lunak (soft)	< 4	Perlu pengujian dan analisis tersendiri (khusus)					
Sedang (medium)	4 – 10	SM	1 : 4,5	01:04	1 : 3,0	01:03	1 : 3,0
		SC	1 : 6,0	01:05	1 : 4,0	01:03	1 : 3,0
		ML	1 : 6,0	01:05	1 : 4,0	01:03	1 : 3,0
		CL	1 : 6,5	01:05	1 : 4,0	01:03	1 : 3,0
		MH	1 : 7,0	1 : 5,5	1 : 4,5	1 : 3,5	1 : 3,0
		CH	1 : 13,0	1 : 10,0	1 : 7,0	1 : 4,0	1 : 3,0

Sumber : Peta Gempa 2017

Tabel 20 Rekomendasi kemiringan lereng urukan diatas tanah lunak

Material Urukan	Material Utama	Kemiringan Lereng Vertikal : Horizontal	
		Hulu	Hilir
1. Urukan homogen	CH = Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi CL = Lempung organik dengan plastisitas rendah-sedang SC = kerikil lempungan GC = kerikil lempungan GM = kerikil lanauan SM = pasir lanauan	01:03	01:03
2. Urukan zonal			
2.1. Urukan batu dengan dinding diapragma	Pecahan batu	01:01.8	01:01.5
2.2. Urukan batu dengan inti lempung	Pecahan batu	01:02	01:01.8
2.3. Campuran material dengan inti lempung	Campuran material	01:02.5	01:02.2

Sumber: ICOLD

SM : Pasir lanauan, campuran pasir dengan lanau bergradasi buruk;

SC : Pasir lempungan, campuran pasir dengan lempung bergradasi buruk;

- ML : Lanau inorganik dan pasir sangat halus, pasir halus lanauan atau lempungan dengan plastisitas rendah;
- CL : Lempung inorganik dengan plastisitas rendah hingga sedang, lempung kerikilan, lempung pasiran, lempung lanauan atau lempung kurus (lean clags);
- MH : Lanau inorganik, tanah lanauan atau pasiran halus campur mika atau diatomaceous, lanau elastis;
- CH : Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (fat clags).

Kolam embung diusahakan bersifat kedap air. Apabila dasar atau dinding kolam bersifat lulus air, maka diperlukan selimut yang menutupinya untuk mengurangi kehilangan air. Selimut dapat dibuat dari material lempung, semen-tanah, atau geomembran.

### 5.2.5 Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan adalah jarak vertikal antara muka air kolam pada waktu banjir desain (50 tahunan) dan puncak tubuh embung. Tinggi jagaan pada tubuh embung dimaksudkan untuk memberikan keamanan tubuh embung terhadap banjir. Bila hal itu terjadi maka akan terjadi erosi kuat pada tubuh embung tipe urukan. Besarnya tinggi jagaan analisis hidran tergantung dari tipe tubuh embung dan diambil seperti terlihat pada tabel berikut ini.

Tabel 21 Tinggi jagaan ambang

Tipe tubuh embung	Tinggi jagaan (m)	Sketsa penjelasan
1. Urugan homogen dan majemuk	0,50	
2. Pasangan batu/ beton	0,00	
3. Komposit	0,50	

### 5.2.6 Tinggi Tubuh Embung

Tinggi tubuh embung harus ditentukan dengan mempertimbangkan kebutuhan tampungan air, dan keamanan tubuh embung terhadap peluapan oleh banjir. Dengan demikian tinggi tubuh embung sebesar tinggi muka air kolam pada kondisi penuh (= kapasitas tampung desain) ditambah tinggi tampungan banjir dan tinggi jagaan.

$$H_d = H_k + H_b + H_f$$

Keterangan :

$H_d$  adalah tinggi tubuh embung desain (m)

$H_k$  adalah tinggi muka air kolam pada kondisi penuh (m)

$H_b$  adalah tinggi tampungan banjir (m)

$H_f$  adalah tinggi jagaan (m)

Pada tubuh embung tipe urukan diperlukan cadangan untuk penurunan yang secara praktis dapat diambil sebesar 0,25 m. Cadangan penurunan ini perlu ditambahkan pada puncak embung di bagian lembah terdalam. Untuk tubuh embung tipe pasangan beton hal ini tidak diperlukan.

### 5.2.7 Selimut (*Blanket*) Kolam Embung

#### a) Umum

Kehilangan air yang cukup besar akibat infiltrasi yang berupa rembesan atau bocoran dari dasar maupun dinding kolam tampung embung sangat mempengaruhi nilai ekonomis dari ketersediaan airnya. Pada kolam embung dengan kondisi geologi yang kurang menguntungkan dilihat dari segi kelulusan airnya, diperlukan selimut kedap air agar tidak terjadi infiltrasi atau kehilangan air berlebihan. Pemasangan *blanket* perlu dilakukan jika nilai koefisien permeabilitas tanahnya lebih besar dari  $10^{-4}$  cm/s. Umur *blanket* tersebut harus dicermati.

Selimut kedap air hanya akan diterapkan pada tanah atau satuan batu yang lulus air. Sedang pada tanah atau satuan batu dengan klasifikasi semi lulus air, selimut kedap air diperlukan apabila kehilangan air dari kolam dipandang cukup besar dibandingkan dengan daya tampung embung. Untuk satuan tanah atau batu yang kedap air selimut secara praktis tidak diperlukan.

Apabila sifat lulus air fondasi tubuh embung, dasar dan dinding kolam embung merata, maka selimut kedap air harus dipasang menutup seluruh bagian kolam sampai setinggi elevasi pelimpah dan dihubungkan dengan bagian tubuh embung yang kedap air. Tetapi bila sifat lulus air tersebut tidak merata, terdapat di bagian tertentu, maka selimut cukup dipasang di bagian yang lulus air.

Jenis atau tipe selimut yang akan diterapkan, tergantung dari macam material/bahan alami yang tersedia di tempat. Apabila material alami tidak tersedia di tempat dapat dipakai material substitusi (buatan), namun material ini mahal. Berbagai material selimut kedap air antara lain: selimut lempung, semen-tanah, membran geosintetik, dan lain-lain.

Tabel 22 Klasifikasi Sifat Lulus Air Satuan Tanah dan Batu

Klasifikasi	Nilai K (cm/d)	Deskripsi tanah dan batu	Kebutuhan selimut
Lulus air	$K \geq 10^{-3}$	Umumnya pada jenis tanah tidak berkoheesi (berbutir kasar), yaitu : lanau, pasir sampai kerakal, atau batu dengan diskontinuitas rapat tanpa isi, dan satuan batu dengan lubang pelarutan	Sangat perlu
Semi lulus air	$K = 10^{-3}$ sampai dengan	Umumnya pada jenis tanah dengan sedikit kohesi, yaitu pasir halus dengan sedikit tanah lempung, atau	Tidak perlu bila kehilangan air

Klasifikasi	Nilai K (cm/d)	Deskripsi tanah dan batu	Kebutuhan selimut
	$K = 10^{-4}$	batu dengan diskontinuitas sedang sampai rapat yang terisi sebagian	karena resapan dapat tercadangkan dalam kolam embung
Kedap air	$K \leq 10^{-5}$	Umumnya pada jenis tanah berkoheesi, yaitu lempung atau lempung pasir atau lanauan atau batu dengan diskontinuitas sedang sampai rapat yang terisi seluruhnya	Tidak

b) Jenis Selimut Kedap Air

Jenis selimut yang dapat digunakan dalam pembuatan embung adalah sebagai berikut:

1) Selimut lempung

Apabila di daerah sekitar kolam embung terdapat material lempung, maka selimut lempung dapat digunakan sebagai selimut kedap air yang paling murah. Lokasi atau sumber material lempung yang berjarak jauh dari tempat kolam embung akan dapat menyebabkan biayanya menjadi mahal. Dalam hal ini perlu membandingkan biaya konstruksi selimut lempung dan selimut material substitusi (buatan).

Material lempung yang digunakan sebagai selimut paling baik merupakan klasifikasi CH, tetapi tanah yang mengandung lempung minimal 25% berdasarkan berat cukup baik pula bila digunakan.

Tebal selimut lempung minimal 50 cm, terdiri atas tiga lapis yang dipadatkan dalam kondisi basah. Untuk melindungi selimut lempung terhadap retakan pada waktu kering, maka perlu dilindungi dengan hamparan pasir kerikil setebal 30 cm di atasnya.

2) Selimut semen-tanah

Selimut kedap air kolam tampungan dapat juga dibuat dengan menggunakan material setempat yang tersedia dicampur dengan semen (semen-tanah). Untuk menentukan prosentase semen yang akan digunakan dan ketebalan yang diperlukan perlu dilakukan percobaan terlebih dahulu. Namun untuk jenis tanah bercampur semen yang digunakan sebagai selimut kedap air di kolam embung minimal harus diterapkan setebal 30 cm yang dipadatkan sehingga menjadi 15 cm.

3) Selimut bahan geosintetik

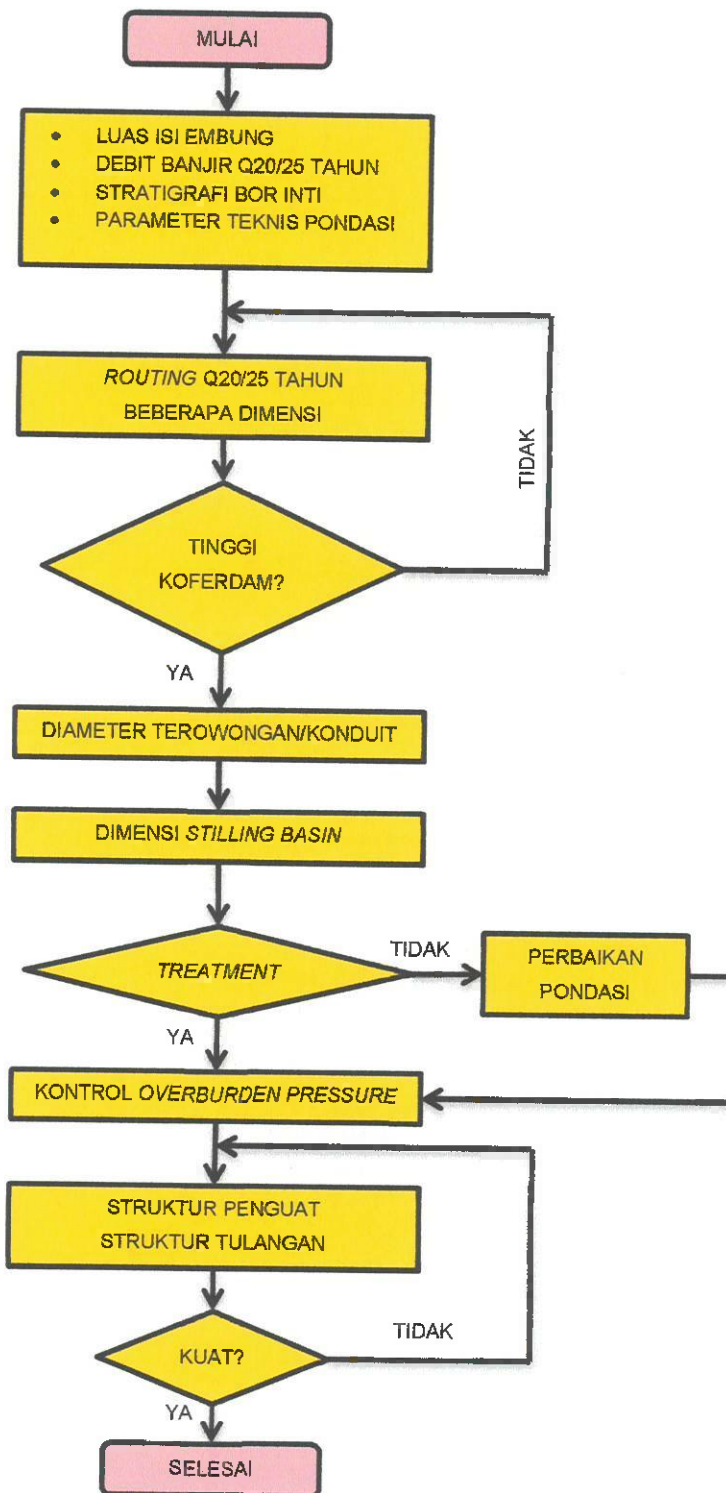
Metoda lain untuk mengurangi kehilangan air yang berlebihan dari kolam tampungan embung adalah dengan menggunakan lapisan kedap air dari membran fleksibel yang terbuat dari bahan dasar plastik (*polythylene*) atau dari bahan karet (*butyl rubber*). Metoda ini lebih mahal dari pada metoda (1) dan (2), karena itu akan dipakai bila metoda (1) dan (2) tidak dapat diterapkan karena beberapa sebab.

Membran fleksibel ini sangat tipis dengan tebal sampai beberapa mm. selimut dari bahan karet (*butyl rubber*) harus dilindungi dari sinar matahari dan cuaca. Lapisan pelindung membran karet dapat berupa hamparan tanah (pasir, kerikil), pasangan batu, atau semen-tanah. Beberapa jenis membran fleksibel yang terbuat dari *polythylene* (misal : geomembrane) dapat dipasang terbuka terhadap sinar matahari maupun cuaca sehingga tidak diperlukan pelindung. Selimut *polythylene* jauh lebih murah daripada selimut *butyl rubber*.

Daerah yang akan diberi selimut kedap air harus dibersihkan dari tanaman dan akar-akarnya, batu-batu tajam, dan obyek lain yang dapat merusak atau merobek membran. Seluruh tebing galian, dan urukan di tempat yang akan diberi lapisan membran harus mempunyai kemiringan yang seragam dan tidak boleh lebih curam dari 1V:1H untuk lapisan membran yang terbuka dan 1V:3H untuk lapisan membran yang diberi sistem pelindung. Kemiringan yang landai diperlukan untuk mencegah terjadinya longsoran sistem pelindung.

Sebelum selimut sintetik dipasang, maka tempat-tempat yang akan diberi lapisan ini harus dipasang jaringan drainase dan dibiarkan kering sampau permukaannya cukup padat agar dapat menahan tekanan dari peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan.

### 5.3 Desain Pengelak



Gambar 23 Skema Perencanaan Dimensi Pengelak

Bangunan pengelak harus didesain untuk menghalangi rembesan selama pekerjaan dilaksanakan dengan menggunakan lapisan kedap air. Biasanya bangunan pengelak dibuat menjadi satu dengan embung agar lebih ekonomis karena dapat menambah kestabilan konstruksi embung. Kadang-kadang diperlukan juga bangunan pengelak hilir untuk mencegah kembalinya air ke lapangan kerja (*back water*).

#### 5.3.1 Metoda

Aliran sungai dapat dialihkan dari daerah kerja melalui beberapa metoda, yang biasanya digunakan adalah:

- a. Saluran terbuka di dasar sungai.
- b. Pipa bawah tanah di dasar sungai atau pada bukit tumpuan.
- c. Saluran air atau blok rendah (bagian terendah dari embung yang dibiarkan tetap dapat dilewati air, baru setelah hampir selesai seluruh tubuh embung ditutup sehingga air tidak dapat mengalir) melalui embung.

#### 5.3.2 Aspek-aspek yang Perlu Diperhatikan

Aspek utama yang dipertimbangkan dalam pemilihan tipe pengalihan sungai adalah:

- a. Saling keterkaitan dengan aktivitas konstruksi lainnya.
- b. Kemudahan penutupan, apabila pekerjaan lainnya lebih maju tahapannya pada waktu akan mengisi embung pertama kalinya.
- c. Kesesuaiannya dihubungkan dengan pekerjaan permanen, biasanya dengan pekerjaan pengeluaran (*outlet work*).

#### 5.3.3 Ukuran Pekerjaan Pengalihan Sungai

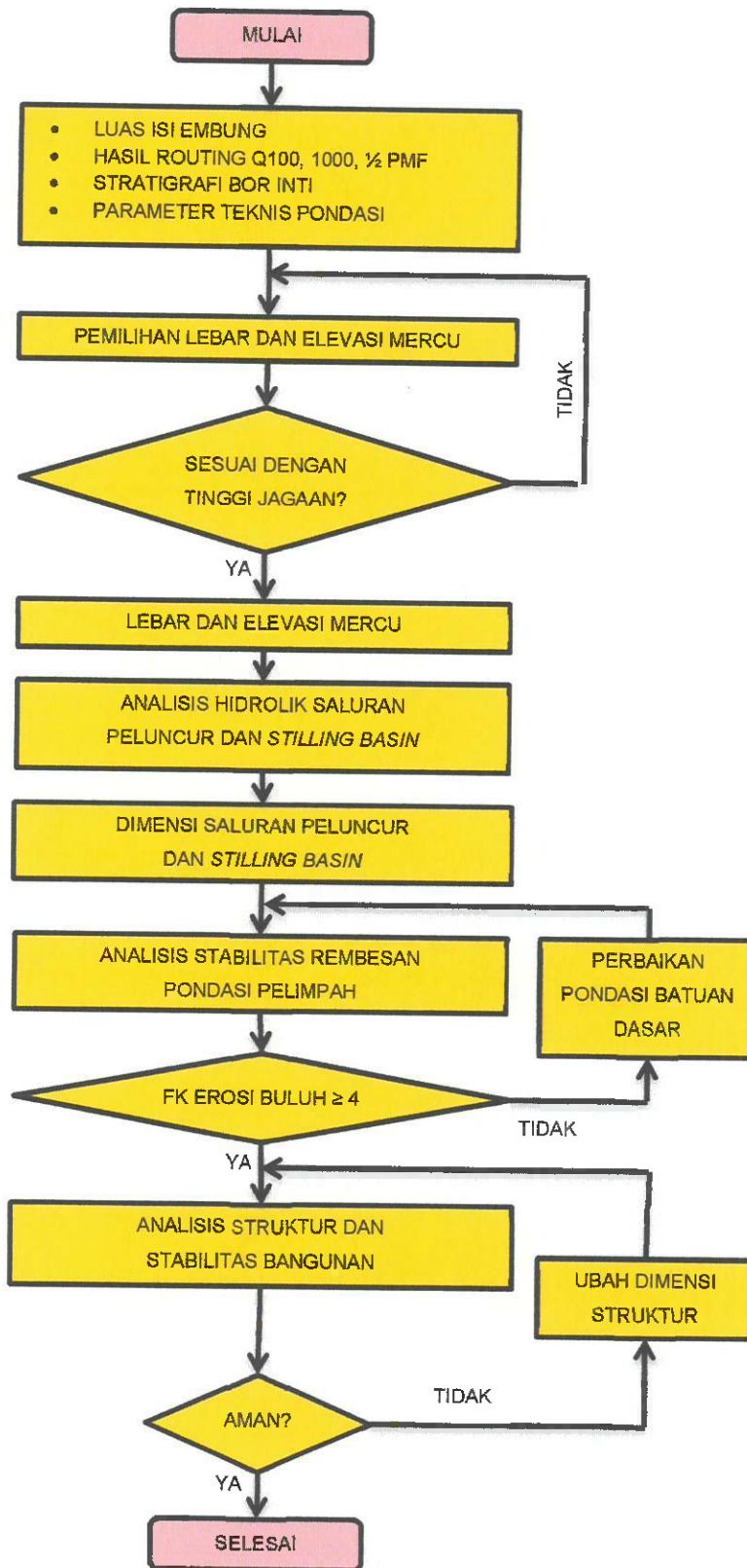
Banjir desain untuk pekerjaan pengalihan sungai (*River Diversion*) selama konstruksi tergantung pada nilai kerusakan yang kemungkinan terjadi sebagai akibat terjadinya banjir yang lebih besar selama perioda konstruksi. Kemungkinan diperlukan pembayaran kompensasi terhadap risiko apabila terjadi banjir yang mengakibatkan kerusakan, dibandingkan dengan biaya yang diambil lebih tinggi dari standar desain.

Untuk itu perlu dilakukan perhitungan optimasi pengalihan sungai antara biaya pekerjaan pengelak dan terowong pengelak dengan biaya risiko yang kemungkinan terjadi terhadap kerusakan pada perioda ulang tertentu. Pada umumnya perioda ulang kritis adalah ekuivalen

dengan 10 tahun setiap tahun pelaksanaan konstruksi yang diambil sebagai standar pengalihan aliran sungai. Misalnya pelaksanaan konstruksi diperkirakan 5 tahun, maka perioda ulang diambil 50 tahun.

Perioda ulang 25 tahun dapat dianggap sebagai standar praktis. Dalam perhitungan agar diusahakan tidak terjadi genangan di bagian hulu agar tidak membahayakan bagi orang-orang yang ada di sebelah hilirnya apabila sewaktu-waktu mengalami limpasan lewat puncak pengelak (cofferdam). Pertimbangan ini dapat berpengaruh pada pemilihan tipe bangunan pengelak.

### 5.4 Desain Pelimpah



Gambar 24 Skema Perencanaan Dimensi Pelimpah

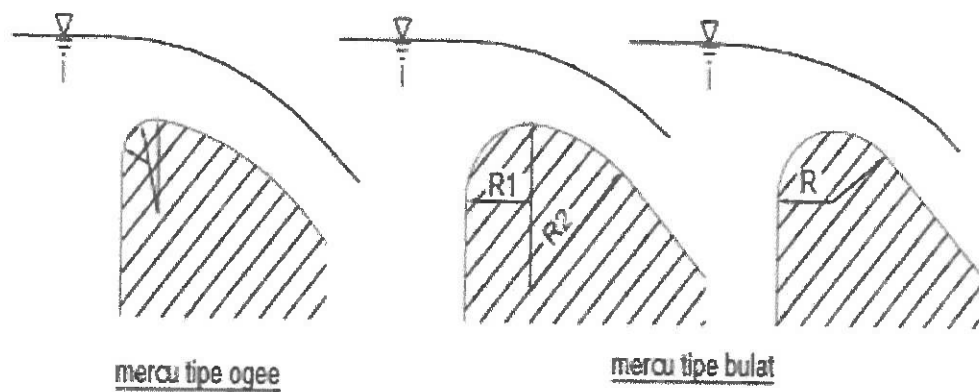
### 5.4.1 Pelimpah Tipe Saluran Terbuka

#### a) Struktur

Pelimpah tipe saluran terbuka dipilih jika tubuh embung bertipe urukan dan pelimpah harus diletakkan terpisah dengan tubuh embung. Pelimpah ini digunakan dengan pertimbangan lebih murah karena digali pada satuan tanah atau satuan batu di bukit tumpu. Tempat pelimpah dipilih pada tempat di mana alirannya tidak akan menyebabkan erosi pada kaki hilir tubuh embung. Bagian saluran pemasukan pelimpah dapat dibuat datar ataupun dengan kemiringan yang cukup landai. Air dari kolam mengalir bebas ke bagian hilirnya mengikuti kemiringan yang tersedia. Sebagai patokan tetap bagi ketinggian dasar pelimpah, perlu dibuat lantai dari pasangan batu/beton dengan lebar 0,50 sampai dengan 1,00 meter di hulu saluran pemasukan.

Pelimpah yang digali pada satuan tanah perlu diberi pelindung terhadap erosi dengan penanaman rumput, namun apabila terpaksa dapat dibuat lapisan pasangan batu/beton. Sedangkan pada pelimpah batu pelindung, tersebut tidak diperlukan. Rumput pelindung erosi dapat digunakan rumput yang tumbuh rendah untuk saluran penghantar atau saluran dengan kemiringan landai, sedangkan rumput yang tumbuh tinggi (rumput gajah) dapat dipakai pada saluran dengan kemiringan curam/besar, dimana keadaan air sangat kritis.

Tipe mercu pelimpah yang dapat digunakan adalah tipe bulat (lihat gambar bentuk-bentuk mercu), baik untuk konstruksi beton maupun pasangan batu atau bentuk kombinasi dari keduanya.



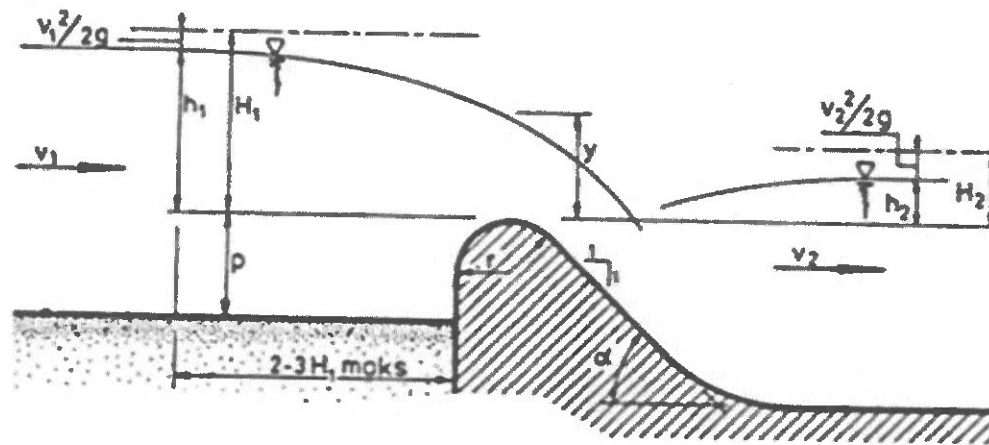
Gambar 25 Bentuk-Bentuk Mercu

Kemiringan maksimum muka pelimpah bagian hilir yang dibicarakan di sini berkemiringan 1 banding 1 batas pelimpah dengan muka hilir vertikal mungkin menguntungkan jika material fondasinya dibuat dari batu keras dan tidak diperlukan kolam olak. Dalam hal ini kavitasasi dan aerasi tirai luapan harus diperhitungkan dengan baik.

Pelimpah dengan mercu bulat (lihat gambar bentuk-bentuk mercu) memiliki harga koefisiensi debit yang jauh lebih tinggi (44%) dibandingkan dengan koefisiensi bendung

ambang lebar. Pada sungai, ini akan banyak memberikan keuntungan karena bangunan ini akan mengurangi tinggi muka air hulu selama banjir. Harga koefisien debit menjadi lebih tinggi karena lengkung *streamline* dan tekanan negatif pada mercu.

Untuk bendung dengan dua jari-jari ( $R_2$ ) (lihat gambar bentuk-bentuk mercu), jari-jari hilir akan digunakan untuk menemukan harga koefisien debit. Untuk menghindari bahaya kavitasi lokal, tekanan minimum pada mercu bendung harus dibatasi sampai  $-4$  m tekanan air jika mercu terbuat dari beton untuk pasangan batu tekanan subatmosfir sebaiknya dibatasi sampai  $-1$  m tekanan air.

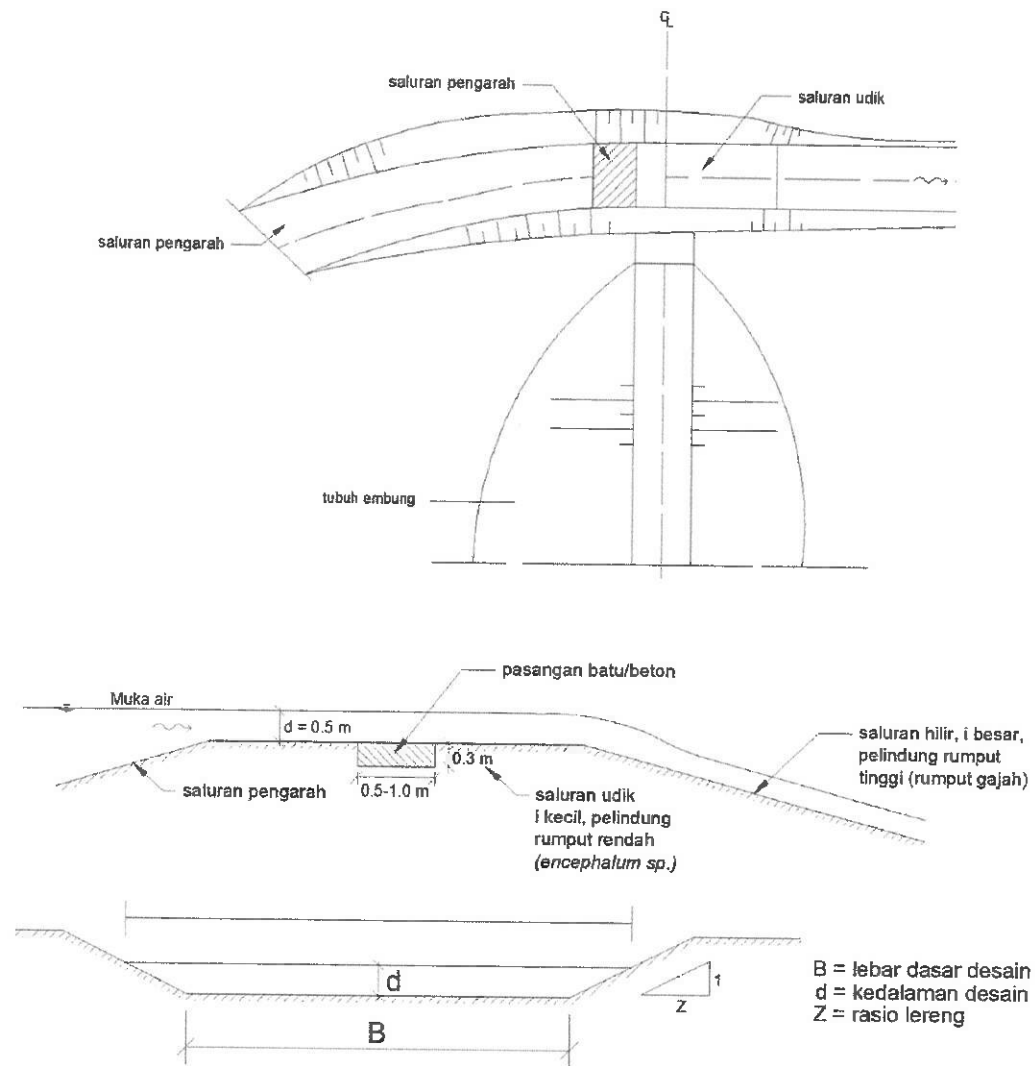


Gambar 26 Bendung Dengan Mercu Bulat

Dari gambar bendung dengan mercu bulat, tampak bahwa jari-jari mercu bendung pasangan batu akan berkisar antara 0,3 sampai 0,7 kali  $H_{1maks}$  dan untuk mercu bendung beton dari 0,1 sampai 0,7 kali  $H_{1maks}$ .

Pelimpah yang digali pada satuan tanah perlu diberi pelindung terhadap erosi dengan penanaman rumput, namun apabila terpaksa dapat dibuat lapisan pasangan batu/beton. Sedangkan pada pelimpah batu pelindung, tersebut tidak diperlukan. Rumput pelindung erosi dapat digunakan rumput yang tumbuh rendah untuk saluran penghantar atau saluran dengan kemiringan landai, sedangkan rumput yang tumbuh tinggi (rumput gajah) dapat dipakai pada saluran dengan kemiringan curam/besar, dimana keadaan air sangat kritis.

Kemiringan tebing saluran harus dibuat dengan mempertimbangkan kondisi geoteknik setempat. Galian pada satuan tanah dapat digali dengan kemiringan 1:1 untuk tinggi maksimum 2 m. Denah dan potongan tipikal dari pelimpah tipe saluran terbuka dapat dilihat pada gambar denah dan potongan tipikal pelimpah tipe saluran terbuka.



Gambar 27 Denah Dan Potongan Tipikal Pelimpah Tipe Saluran Terbuka

b) Hidraulik

1) Kriteria

Desain dari pelimpah tipe saluran terbuka perlu memperhatikan kriteria seperti Tabel di bawah ini.

Tabel 23 Kriteria desain hidraulik pelimpah tanah

No	Parameter	Besaran
1.	Kapasitas pelimpah	Puncak banjir 50 tahunan
2.	Tinggi aliran air maksimum di mercu pelimpah	0.5 m
3.	Kecepatan maksimum aliran pada saluran tanah dengan pelindung rumput	1 m/s

No	Parameter	Besaran
4.	Kecepatan aliran pada saluran dengan pelindung pasangan batu/beton	2 m/s – 4 m/s
5.	Kemiringan dinding saluran pelimpah tanah, untuk tinggi maksimum 2 m	1H:1V *)
6.	Kemiringan lereng saluran pelimpah batu	1H:1,5V *)

Catatan : \*) harus mempertimbangkan masalah geoteknik setempat

2) Dimensi Saluran

Dimensi saluran dapat ditentukan secara hidraulik dengan menggunakan rumus Manning sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{0.5}$$

$$Q = V \cdot A$$

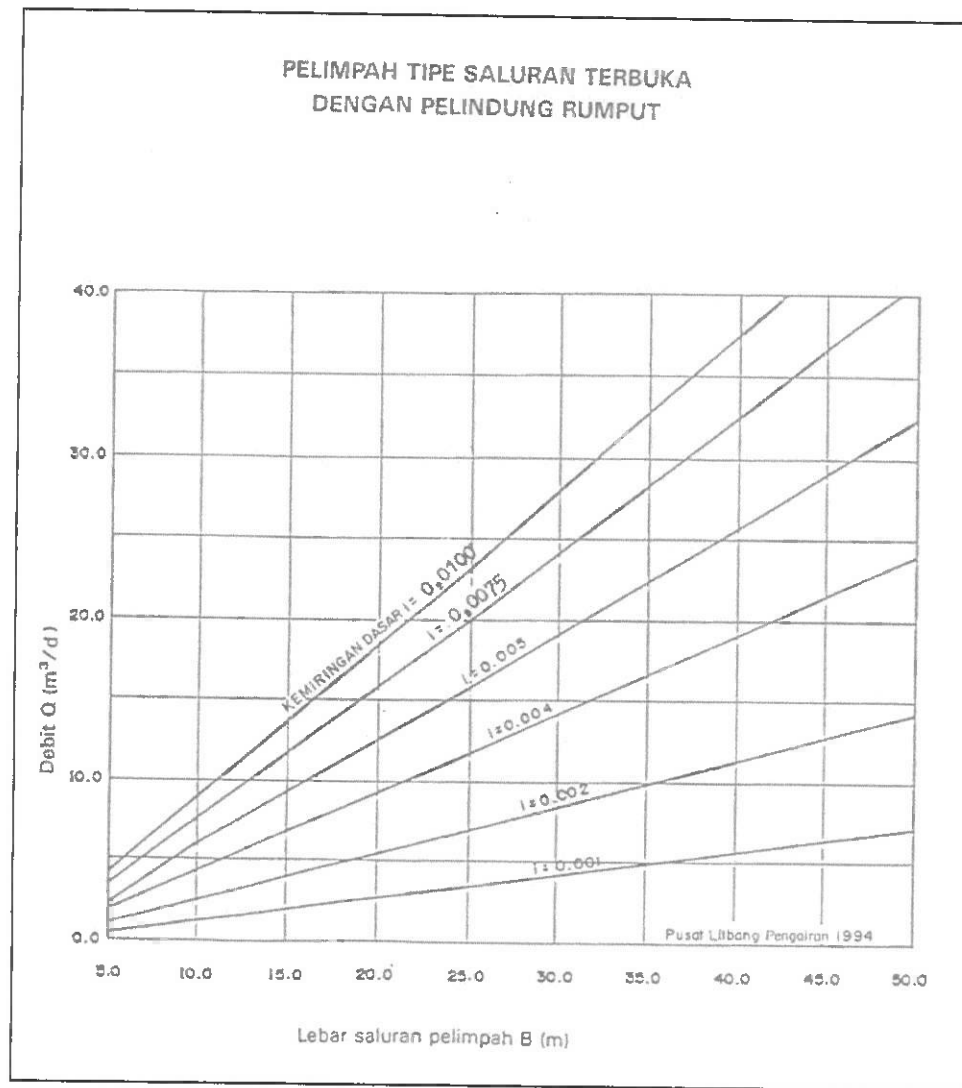
Keterangan :

- Q adalah puncak banjir desain yang melalui pelimpah (m<sup>3</sup>/s)
- V adalah kecepatan aliran (m/s)
- A adalah potongan melintang basah (m<sup>2</sup>)
- n adalah koefisien kekasaran Manning
- P adalah perimeter basah (m)
- R adalah jari-jari hidraulik (m),  $R = A/P$
- S adalah kemiringan saluran

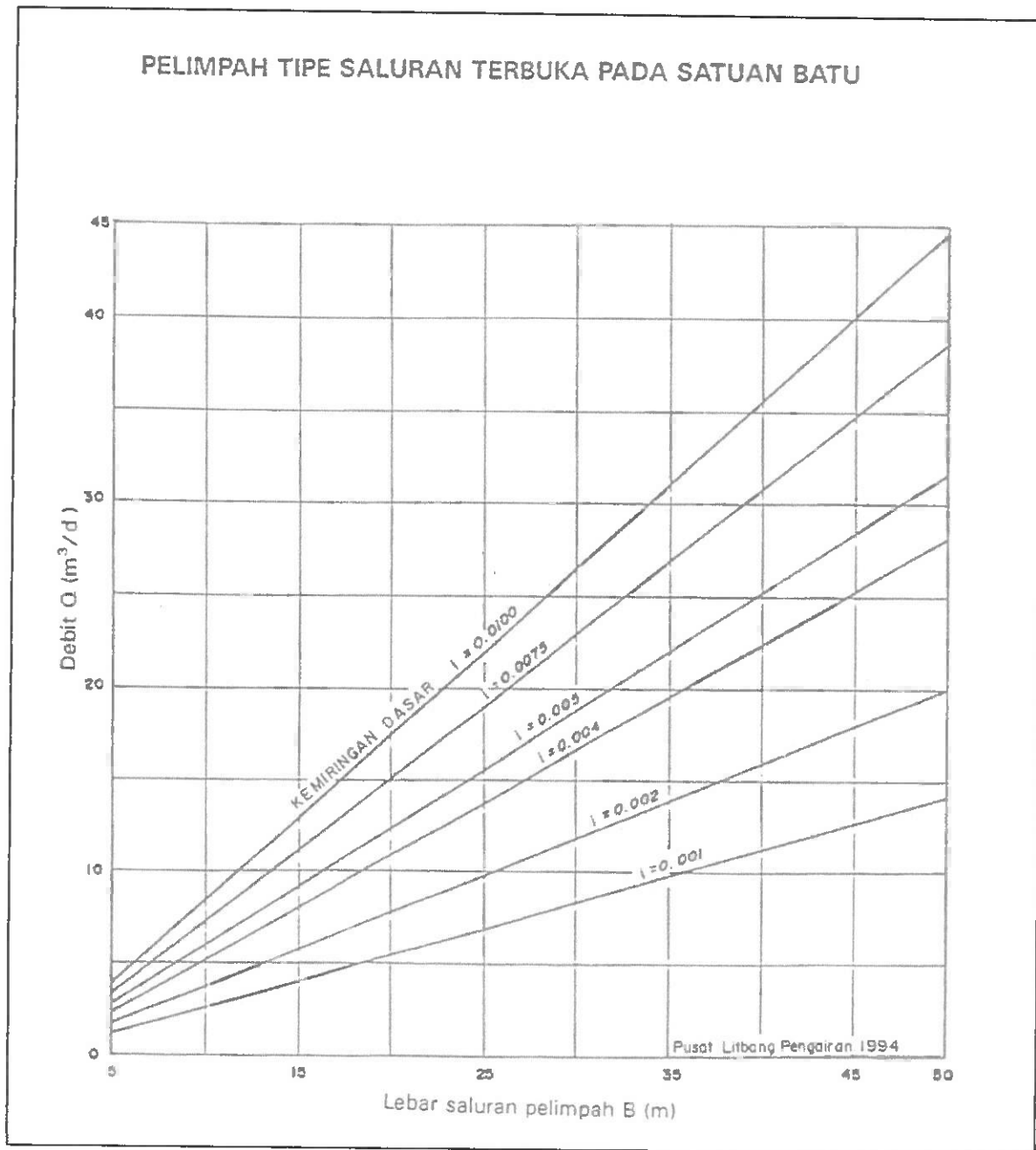
**Tabel 24 Koefisien kekasaran manning untuk berbagai jenis pelindung pada pelimpah**

Tipe pelindung pelimpah	n
1. Rumput	0.30 – 0.25
2. Batu	0.035
3. Rip-rap	0.250
4. Pasangan batu/beton	0.0140

Dimensi saluran pelimpah untuk berbagai debit, lebar saluran, dan kemiringan dasar pada pelimpah tanah yang dilindungi dengan rumput menurut kriteria di atas (gambar grafik hubungan Q dan B pada pelimpah tanah dengan pelindung rumput, untuk kedalaman air = 0,50 m, kemiringan dasar sungai landai) dan untuk pelimpah yang digali pada satuan batu (gambar grafik hubungan Q dan B pada pelimpah batu untuk kedalaman air 0,50 m (bentuk saluran segiempat atau trapesium)).



**Gambar 28 Grafik Hubungan  $Q$  Dan  $B$  Pada Pelimpah Tanah Dengan Pelindung Rumput, Untuk Kedalaman Air = 0,50 M, Kemiringan Dasar Sungai Landai**



**Gambar 29 Grafik Hubungan Q Dan B Pada Pelimpah Batu Untuk Kedalaman Air 0,50 M (Bentuk Saluran Segiempat Atau Trapesium)**

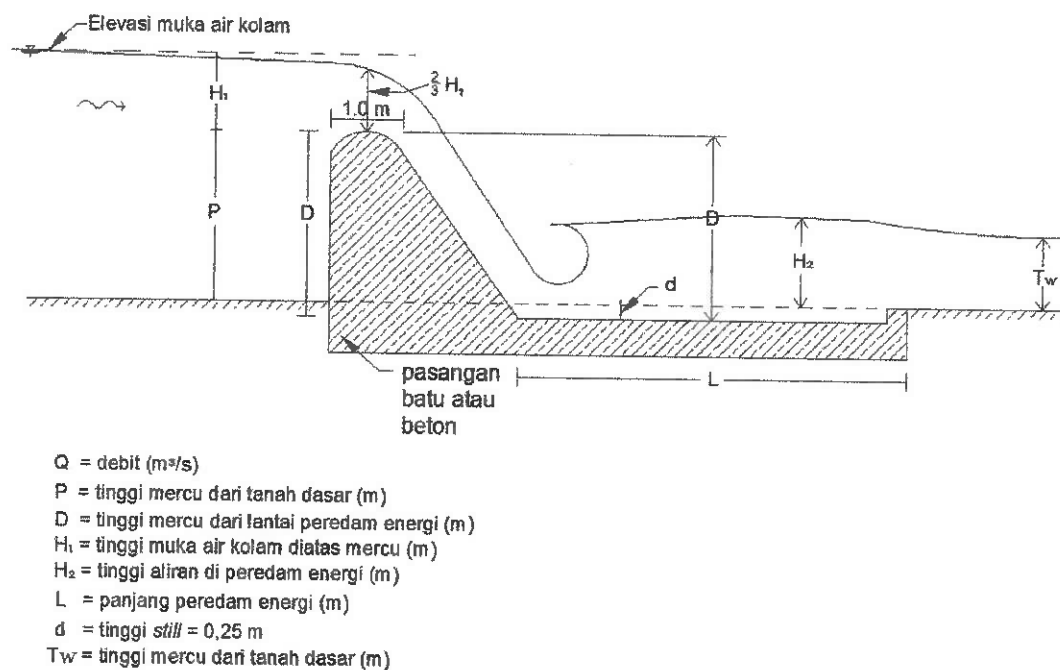
#### 5.4.2 Pelimpah Tipe Ogee (Overflow) dengan Kolam Olak

##### a) Struktur

Pelimpah tipe ogee didesain dari pasangan batu/beton, menyatu dengan tubuh embung yang dibuat dari material yang sama atau tipe komposit dan diterapkan jika fondasi berupa batu. Pelimpah tipe ini umumnya ditempatkan pada alur terdalam sehingga aliran yang melalui pelimpah dapat dialirkan kembali pada alur di sebelah hilir yang ada.

Tinggi mercu pelimpah dari galian fondasi diambil maksimum 6 m. Tubuh pelimpah bertipe graviti dengan mercu Ogee berambang lebar. Di hilir mercu, tubuh pelimpah dibuat dengan kemiringan 1H:1V sebelum aliran masuk peredam energi USBR tipe I. tipe peredam energi ini dipilih karena bentuknya cukup sederhana.

Ambang lebar pada mercu pelimpah dimaksudkan agar dapat digunakan untuk pejalan kaki dan sekaligus lebih menstabilkan bangunan (bentuk tipikal dari pelimpah tipe ini dapat dilihat pada gambar potongan melintang tipikal pelimpah tipe ogee dengan peredam energi USBR tipe I). Fondasi bangunan ini harus ditempatkan pada satuan batu yang segar, dengan galian minim al sedalam 1 m.



**Gambar 30 Potongan Melintang Tipikal Pelimpah Tipe Ogee Dengan Peredam Energi USBR Tipe I**

b) Hidraulik

1) Dimensi hidraulik tubuh pelimpah

Desain pelimpah harus mengikuti debit banjir rencana yang menghasilkan besaran aliran yang meluap sempurna melalui mercu pelimpah dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$Q = C B H^{1.5}$$

Keterangan :

Q adalah aliran yang memalui mercu (m<sup>3</sup>/d) = puncak banjir 50 tahunan

B adalah lebar/panjang mercu pelimpah (m)

*H* adalah tinggi air di atas mercu = tinggi tekanan di atas mercu (m)

*H* maksimum = 0,75 m untuk tubuh embung tipe komposit

= 1,00 m untuk tubuh embung tipe pasangan/beton

*C* adalah koefisien aliran untuk ambang lebar (=1,80)

Dengan rumus di atas dapat ditentukan/dipilih lebar pelimpah *B*:

$$B = \frac{Q_{50}}{1,80H^{1,5}}$$

Hubungan antara tinggi air di atas mercu pelimpah (*H*), debit aliran (*Q*), dan lebar mercu pelimpah (*B*) dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Perhitungan debit banjir rencana dapat juga mengacu pada SNI 2415:2016, Tata cara perhitungan debit banjir rencana.

**Tabel 25 Hubungan tinggi air kolam di atas mercu pelimpah "ogee", debit, dan lebar pelimpah**

Tinggi air kolam embung di atas mercu pelimpah								
H (m)								
Lebar Mercu B (m)	Debit Banjir Rencana							
	Q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /s)							
	10	15	20	25	30	35	40	50
2								
3								
5	1.07							
6	0.95							
7	0.86							
8	0.78	1.03						
9	0.72	0.95						
10	0.68	0.89	1.07					
12		0.78	0.95					
14		0.71	0.86	0.99				
16			0.78	0.91	1.03			
18			0.72	0.84	0.95	1.05		
20			0.68	0.78	0.89	0.98	1.07	1.24
22				0.74	0.83	0.92	1.01	1.17
24				0.69	0.73	0.87	0.95	1.10
26					0.74	0.82	0.90	1.05
28					0.71	0.78	0.86	0.99
30						0.75	0.82	0.95

Tinggi air kolam embung di atas mercu pelimpah								
H (m)								
Lebar Mercu B (m)	Debit Banjir Rencana Q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /s)							
	10	15	20	25	30	35	40	50
32						0.72	0.78	0.91
34						0.69	0.75	0.87
36							0.72	0.84
38							0.70	0.81
40								0.78
42								0.76
44								0.74

2) Perhitungan Hidraulik Peredam Energi

Perhitungan hidraulik pada kolam peredam energi USBR Tipe I dapat menggunakan langkah yang diuraikan berikut ini:

- (a) Kecepatan aliran di hulu lantai peredam energi (sebelum loncatan) dihitung menggunakan rumus berikut:

$$V_1 = \sqrt{2g [Z + D] - \frac{D}{2}}$$

$$d_1 = \frac{q}{V_1}$$

- (b) Nilai Froude pertama

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}}$$

- (c) Tinggi air sesudah loncatan

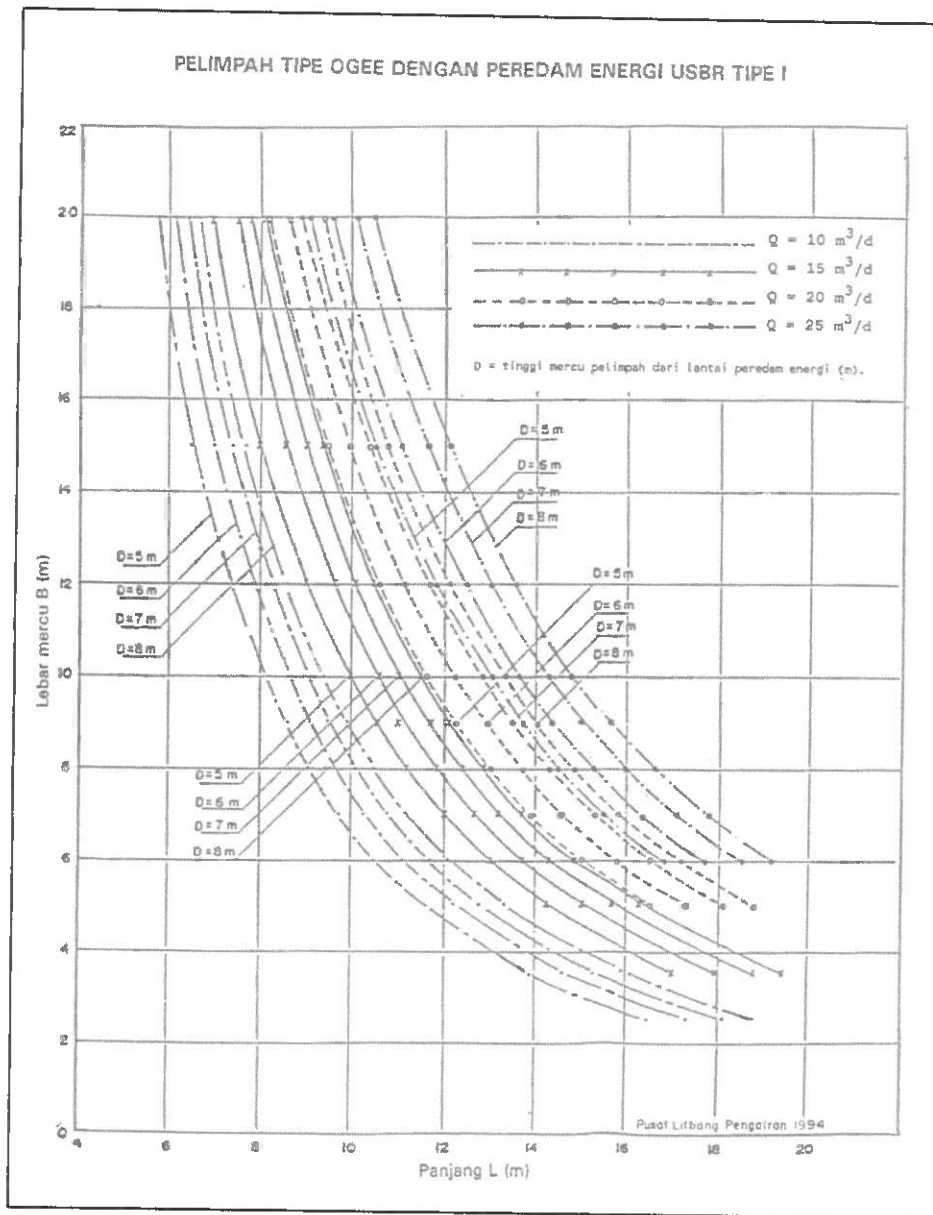
$$\frac{D_2}{d_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8 F_1^2} - 1)$$

Panjang kolam peredam energi dapat diperoleh dengan menggunakan grafik yang menggambarkan hubungan antara nilai Froude dan ratio L dan d<sub>1</sub> seperti terlihat pada gambar grafik hubungan nilai fraude (USBR) dengan ratio panjang kolam peredam enersi L dan d<sub>1</sub>.

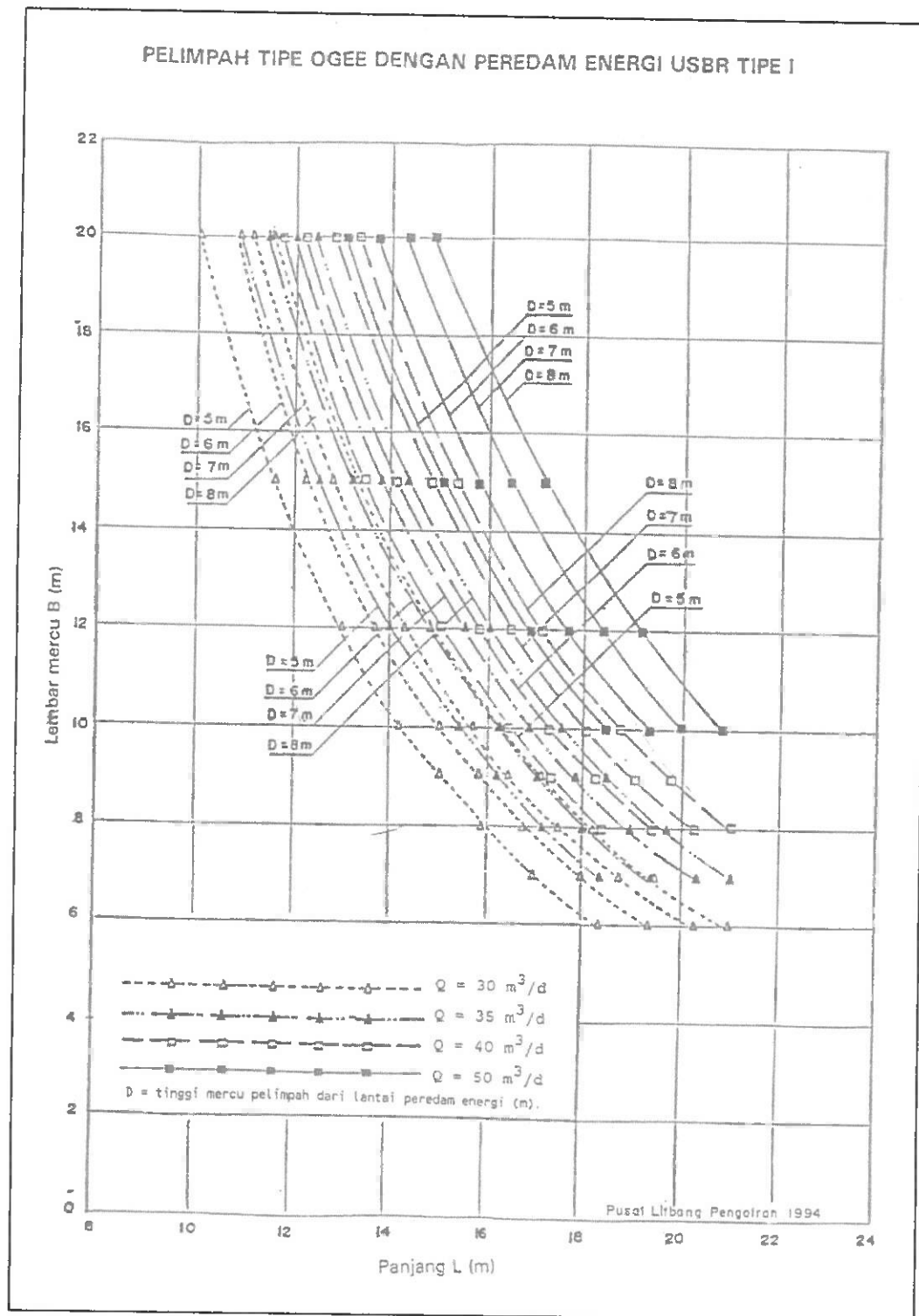
3) Penentuan Panjang Kolam Peredam Energi Dengan Menggunakan Grafik

Pusat Litbang Sumber Daya Air telah mempersiapkan beberapa grafik berdasarkan rumus di atas, sehingga perhitungan dapat diselesaikan dengan cepat (lihat gambar grafik hubungan debit (Q), tinggi mercu (D), lebar mercu (B), dan panjang peredam energi (L) dan gambar grafik hubungan antara debit (Q) dan tinggi mercu (D)). Grafik tersebut menggambarkan hubungan antara berbagai besaran aliran (Q), lebar mercu

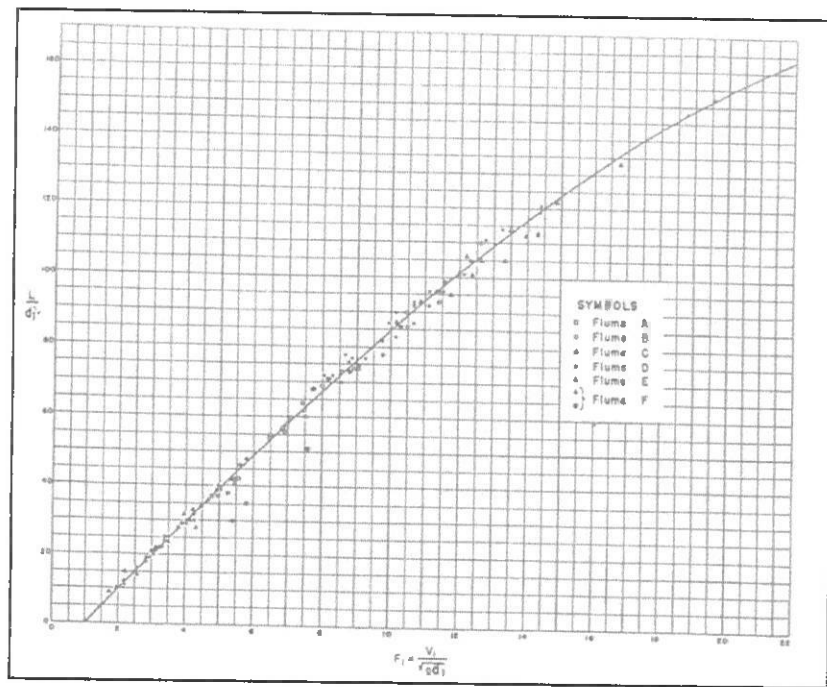
pelimpah (B), tinggi mercu dari lantai kolam peredam energi (D), dan panjang kolam peredam energi (L).



Gambar 31 Grafik hubungan debit (Q), tinggi mercu (D), lebar mercu (B), dan panjang peredam energi (L)

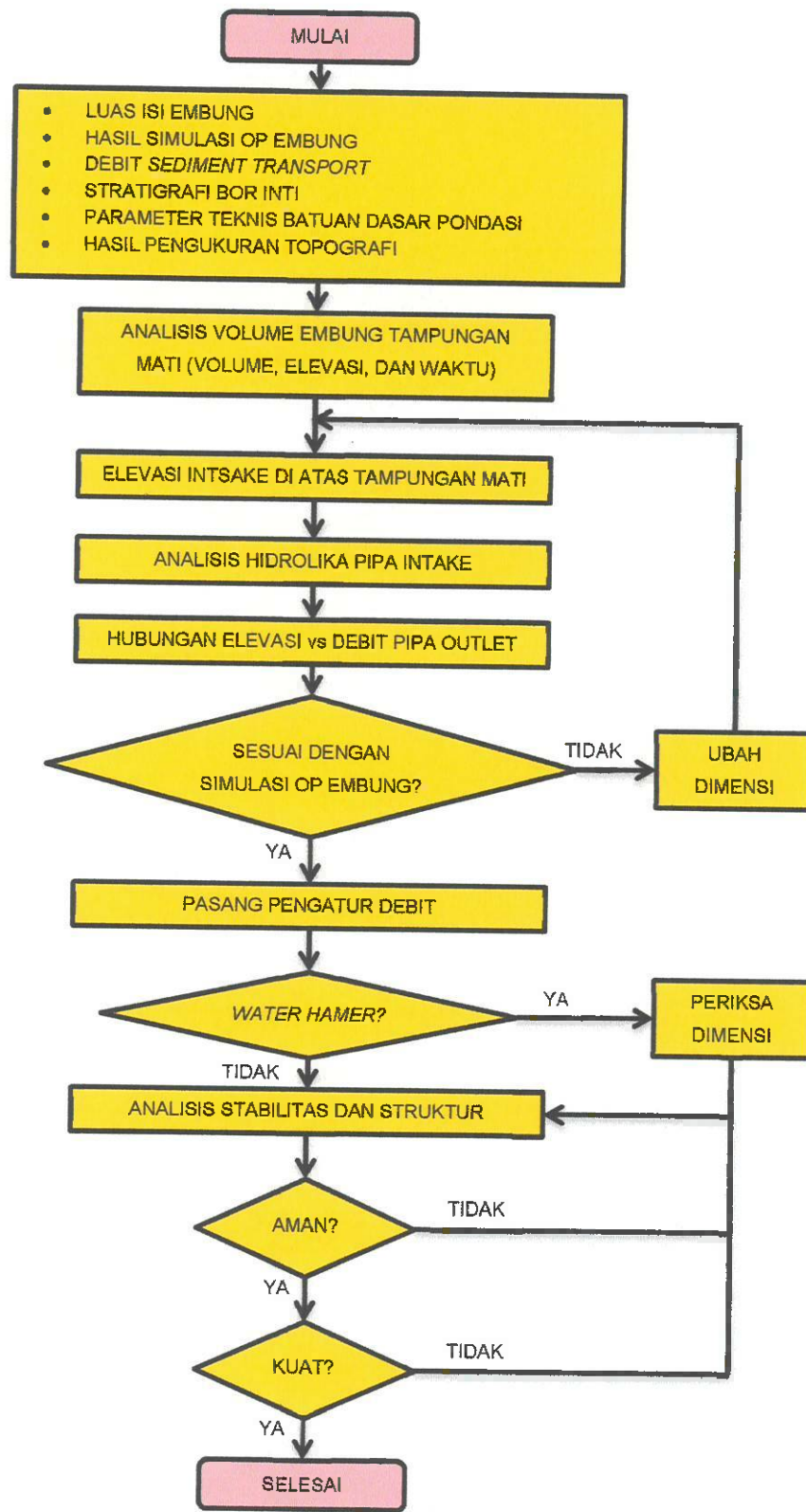


**Gambar 32 Grafik hubungan antara debit (Q) dan tinggi mercu (D)**



Gambar 33 Grafik Hubungan Nilai Fraude (USBR) Dengan Ratio Panjang Kolam Peredam Enersi L Dan  $D_1$

### 5.5 Desain Distribusi Sistem Intake



Gambar 34 Skema Perencanaan Dimensi Bangunan Pintu Operasi/Distribusi

### 5.5.1 Umum

Sistem distribusi didesain untuk mengalirkan air ke bak air penduduk, bak ternak, dan bak kebun yang harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a) Menggunakan jaringan pipa dengan sistem gravitasi atau pompa, yang didesain sebagai pipa bertekanan agar kehilangan selama pendistribusian menjadi lebih kecil dan pemakaian air lebih efisien (sesuai kebutuhan pemakai),
- b) Air dari embung disalurkan melalui pipa utama yang diambil menggunakan alat sadap terapung. Pipa utama ini akan mengalirkan air dari kolam ke hilir embung,
- c) Selanjutnya air langsung dibagi menjadi tiga buah pipa sekunder menuju bak air penduduk, irigasi, hewan/ternak, dan kebun,
- d) Pipa utama sebaiknya menggunakan pipa diameter dua inci (2"),
- e) Pipa sekunder sebaiknya menggunakan pipa diameter satu seperempat inchi (1¼").
- f) Pipa untuk sistem distribusi ini sebaiknya menggunakan material sintetik seperti *High Density Poly Ethylene* (HDPE) atau *Medium Density Poly Ethylene* (MDPE) karena material tersebut bersifat lentur sehingga mudah ditekuk bahkan digulung, tidak mudah pecah dan dapat disesuaikan dengan bentuk topografi yang ada.

### 5.5.2 Perhitungan Hidraulik

- a) Kebutuhan tinggi tekanan

Perhitungan hidraulik pada pipa distribusi dilakukan untuk memeriksa sisa tekanan ( $H_s$ ) di ujung pipa terendah atau terpanjang yang dapat dihitung berdasarkan perhitungan sebagai berikut:

$$H_s = E_w - E_d - H_t$$
$$H_s \geq 0$$

Keterangan :

$H_s$  adalah sisa tekanan (m)

$E_w$  adalah tinggi (elevasi) muka air minimum di kolam (m)

$E_d$  adalah tinggi (elevasi) air di pipa distribusi terendah (m)

$H_t$  adalah total kehilangan tekanan (m)

Sisa tekanan harus lebih besar dari nol untuk menjamin agar air dapat didistribusikan secara gravitasi. Makin besar sisa tekanannya makin besar kecepatan aliran di dalam pipa.

b) Kehilangan tinggi tekanan

Kehilangan tekanan pada aliran dalam pipa dihitung berdasarkan:

1) Kehilangan tekanan pada pemasukan

$$h_l = \frac{0,50 V^2}{g}$$

Keterangan :

$h_l$  adalah kehilangan tekanan pada pemasukan (m)

0,50 adalah faktor kehilangan tekanan

$V$  adalah kecepatan aliran pada pipa (m/s)

$g$  adalah gravitasi (10 m/s<sup>2</sup>)

2) Kehilangan tekanan pada lengkungan/belokan

$$h_l = \frac{f_l V^2}{g}$$

Keterangan:

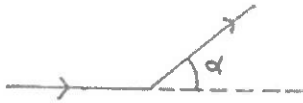
$h_l$  adalah kehilangan tekanan pada lengkungan (m)

$f_l$  adalah faktor kehilangan tekanan pada lengkung/belokan, tergantung dari sudut lengkungan

$V$  adalah kecepatan aliran pada pipa (m/s)

$g$  adalah gravitasi (10 m/s<sup>2</sup>)

Tabel 26 Hubungan antara sudut lengkungan dengan  $f_l$

$\alpha$ (derajat)	$f_l$	Sketsa penjelas
5	0,013	
10	0,030	
15	0,048	
20	0,067	
25	0,080	
30	0,115	
35	0,146	
40	0,184	
45	0,234	
90	0,250	

3) Kehilangan tekanan pada sambungan pipa dengan diameter yang berbeda

$$h_s = \frac{(Vt^2 - Vr^2)}{2g}$$

Keterangan:

- $h_s$  adalah kehilangan tekanan pada sambungan pipa (m)
- $V_t$  adalah kecepatan aliran yang tinggi pada pipa (m/s)
- $V_r$  adalah kecepatan aliran yang rendah pada pipa (m/s)
- $g$  adalah gravitasi ( $10 \text{ m/s}^2$ )

4) Kehilangan tekanan akibat geseran

$$h_g = \frac{f L V^2}{D 2g}$$

Keterangan:

- $h_g$  adalah kehilangan tekanan akibat geseran (m)
- $f$  adalah koefisien kekasaran pipa
- $D$  adalah diameter pipa (m)
- $L$  adalah panjang pipa (m)
- $V$  adalah kecepatan aliran dalam pipa (m/s)
- $g$  adalah gravitasi ( $10 \text{ m/s}^2$ )

untuk pipa sintetik, kehilangan tekanan setiap 100 m panjang pipa akibat geseran dapat dilihat pada grafik hubungan antara debit dan kehilangan tekanan setiap m/100 m panjang pipa. Grafik tersebut menggambarkan hubungan antara debit dan kehilangan tekanan untuk pipa sintetik dengan diameter  $1\frac{1}{4}$ ",  $1\frac{1}{2}$ ", 2",  $2\frac{1}{2}$ " , dengan rasio dimensi standar SDR 17, 21, dan 26.

$$\text{Rasio dimensi standar} = \frac{\text{Diameter}}{\text{tebal pipa}}$$

### 5.5.3 Pipa Pengambilan dan Pipa Distribusi

Dari pipa pengambilan, air akan dialirkan melalui pipa utama yang terbuat dari *polythylene* berdiameter 2". Pipa ini akan ditanam pada paritan lurus yang dibuat di tumpuan di bawah urukan embung. Kedalaman paritan minimal 0,60 m dengan lebar 0,60 m. Pipa ditempatkan di atas galian dengan sedikit lengkungan, tidak dalam kondisi lurus. Pipa sebaiknya diletakkan di atas dasar paritan yang berupa batu. Paritan diurug kembali dengan tanah yang dipadatkan per lapis menggunakan alat pemadat yang digerakkan secara manual.

Di hilir tubuh embung, sebagai pipa distribusi ke bak-bak penampung akan digunakan pipa *polythylene* dengan diameter  $1\frac{1}{2}$ ". Pipa ini ditanam sepanjang jalurnya pada paritan sedalam minimal 0,60 m untuk menghindari perusakan oleh manusia atau erosi alami. Paritan ditimbun

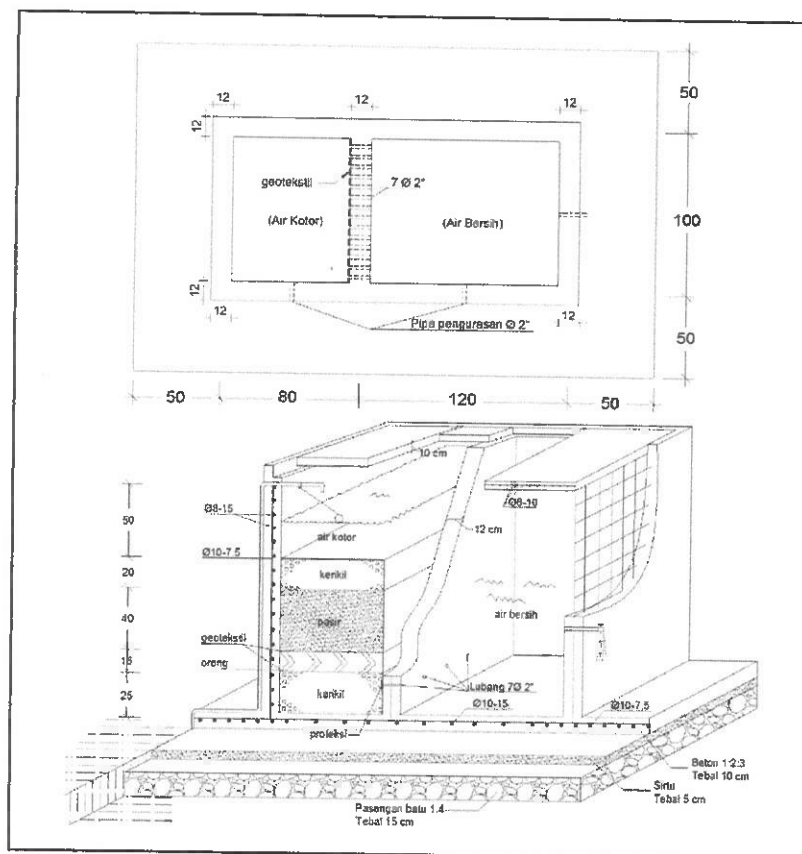


- (b) Tinggi air di atas media pasir 0,30 m
- (c) Tebal pasir penyaring 0,40 m
- (d) Tebal kerikil penahan 0,20 m
- (e) *Drain* bawah 0,25 m

Media penyaring yang digunakan pada umumnya adalah pasir kuarsa. Pasir media yang baru pertama kali dipasang dalam bak saringan memerlukan masa operasi penyaringan awal, secara normal dan terus menerus selama waktu kurang lebih 3 (tiga bulan)

Pipa pemasukan air ke bak saringan pasir lambat dilengkapi dengan klep penutup dengan pelampung sehingga bila muka air telah mencapai elevasi yang ditentukan, air berhenti mengalir secara otomatis. Kran air manual sebaiknya tetap dipasang di hulu kran otomatis sebagai cadangan. Pipa pada bak ini digunakan pipa bergalvanis dengan diameter 1". Kran penyadap air dari bak sebaiknya menggunakan kran yang berkualitas tinggi untuk menghindari penggantian akibat kerusakan yang terlalu sering pada masa pemeliharaan.

Bak tambahan dapat dibangun pula apabila dirasakan perlu oleh penduduk setempat. Perlu diperhatikan pula bahwa tempat bak harus cukup terbuka, mempunyai ruangan yang cukup luas bagi penduduk, memperhatikan pula pembuatan drainase nya.



Gambar 35 Denah dan perspektif bak untuk keperluan manusia

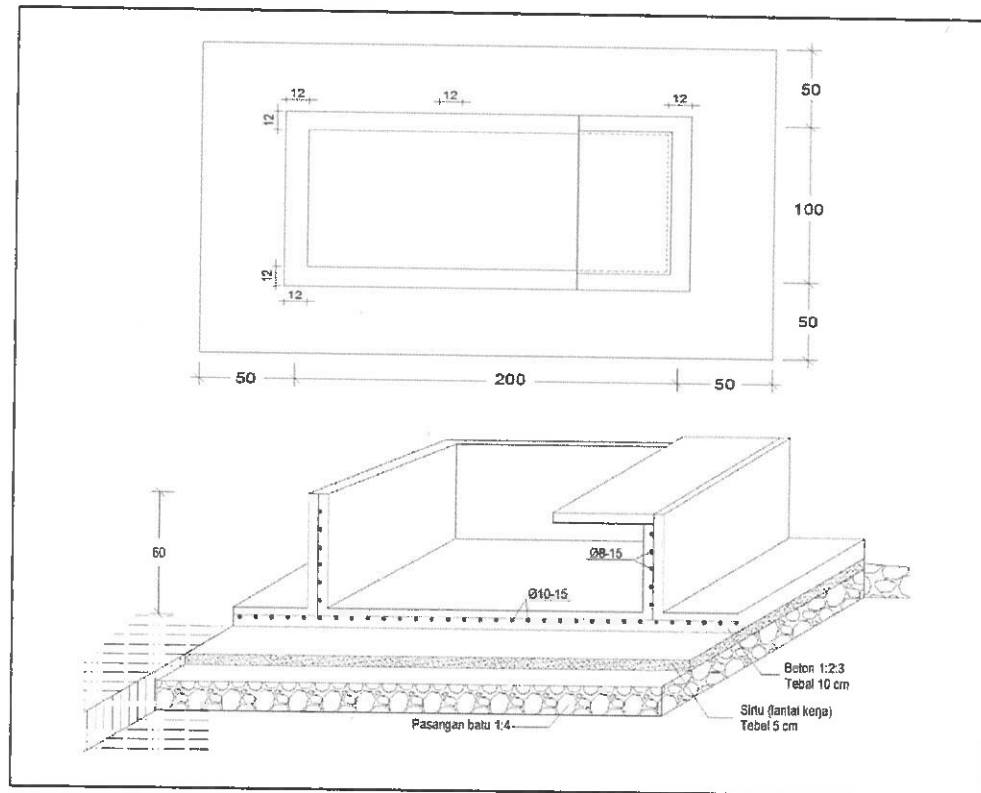
2) Bak air untuk peternakan

Bak untuk keperluan hewan dibangun minimal 50 m dari tubuh embung di sekitar daerah penggembalaan ternak dan pada lokasi tanah yang stabil, yaitu tidak mudah tererosi dan ambles, tidak pada lokasi lereng yang curam, serta mempunyai drainase yang cukup baik.

Bak hewan dapat dibangun dari beton atau pasangan batu atau bata dengan plesteran kedap air (1:2), berukuran minimal 1,00 m x 1,00 m dan maksimal 1,00 m x 2,00 m.

Pipa pemasukan air pada bak hewan dilengkapi dengan klep penutup dengan pelampung sehingga air dapat berhenti mengalir secara otomatis bila telah mencapai elevasi yang ditentukan. Namun demikian kran air tetap diperlukan sebagai cadangan bila alat otomatis rusak.

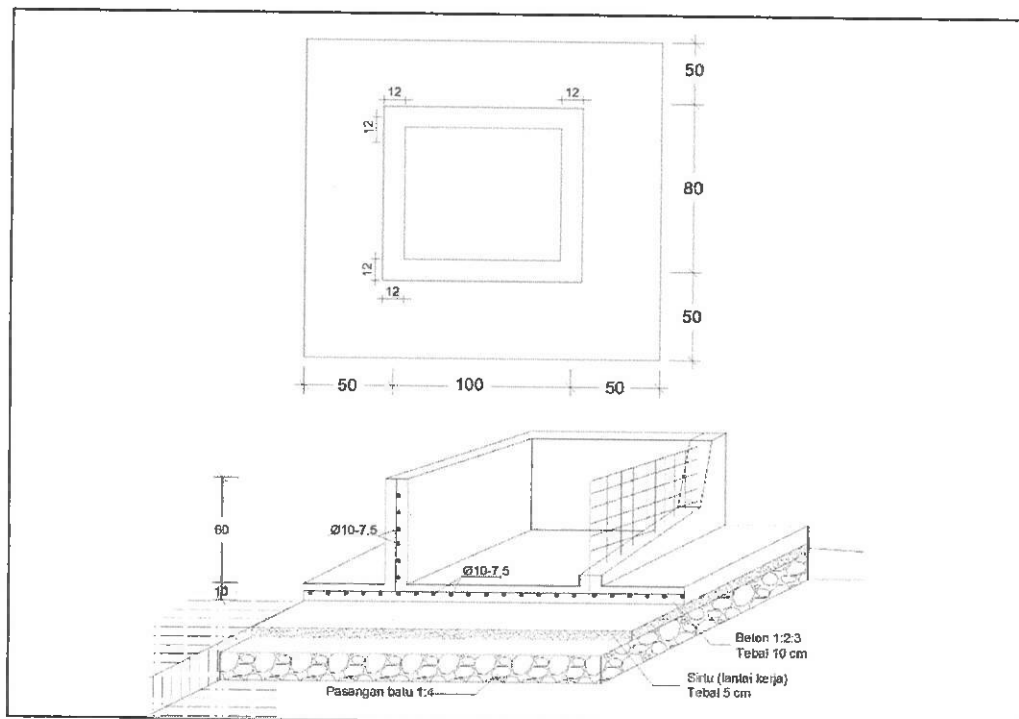
Jumlah bak hewan dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan. Sebagai perkiraan bak berukuran 1,00 x 1,00 m dapat digunakan untuk sapi sebanyak 30 ekor atau kambing sebanyak 130 ekor.



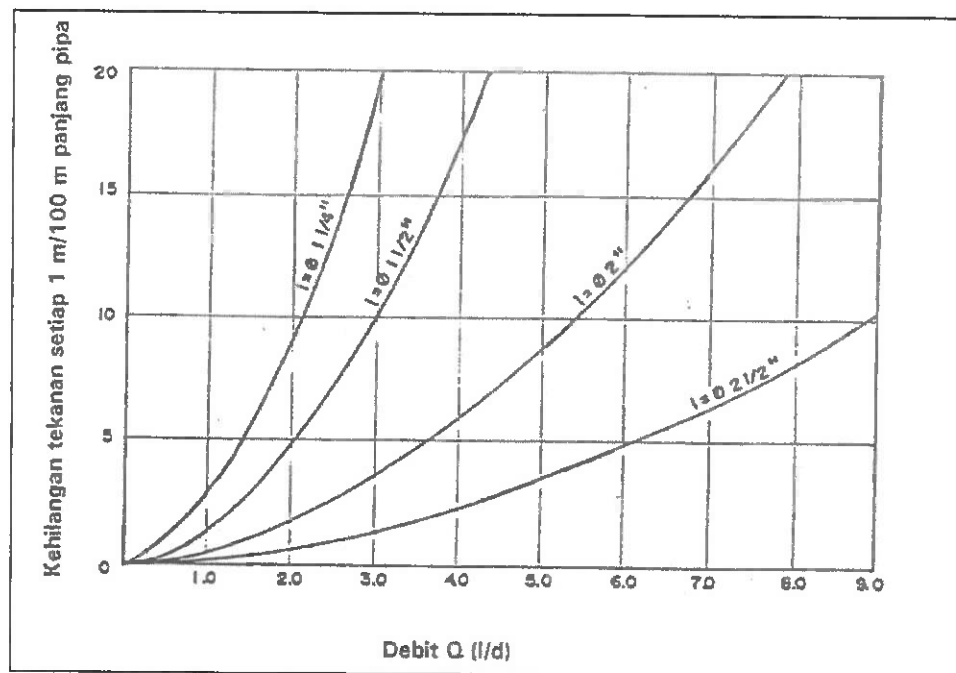
Gambar 36 Denah dan perspektif bak hewan

3) Bak air untuk perkebunan/pertanian

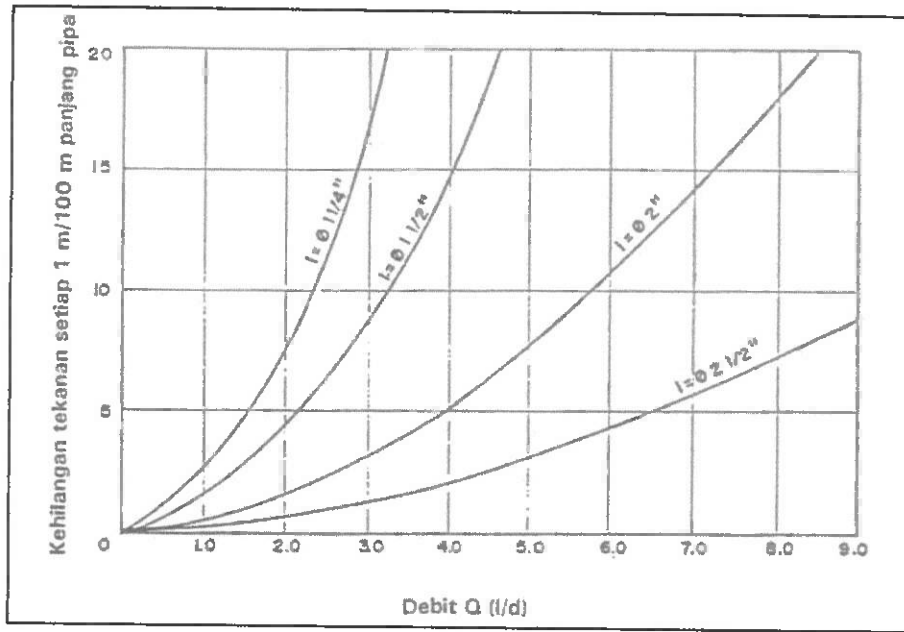
Bak kebun ditempatkan di sekitar ladang atau kebun yang akan digunakan bersama oleh penduduk. Struktur bak kebun sama dengan struktur bak hewan, dapat terbuat dari beton maupun pasangan batu atau bata, dengan ukuran sekitar 0,80 x 1,00 m. pipa pemasukan pada bak kebun juga dilengkapi dengan klep penutup yang berpelampung sehingga dapat menutup secara otomatis. Bak ini terbuka dan pengambilan air oleh penduduk dilakukan dengan gayung.



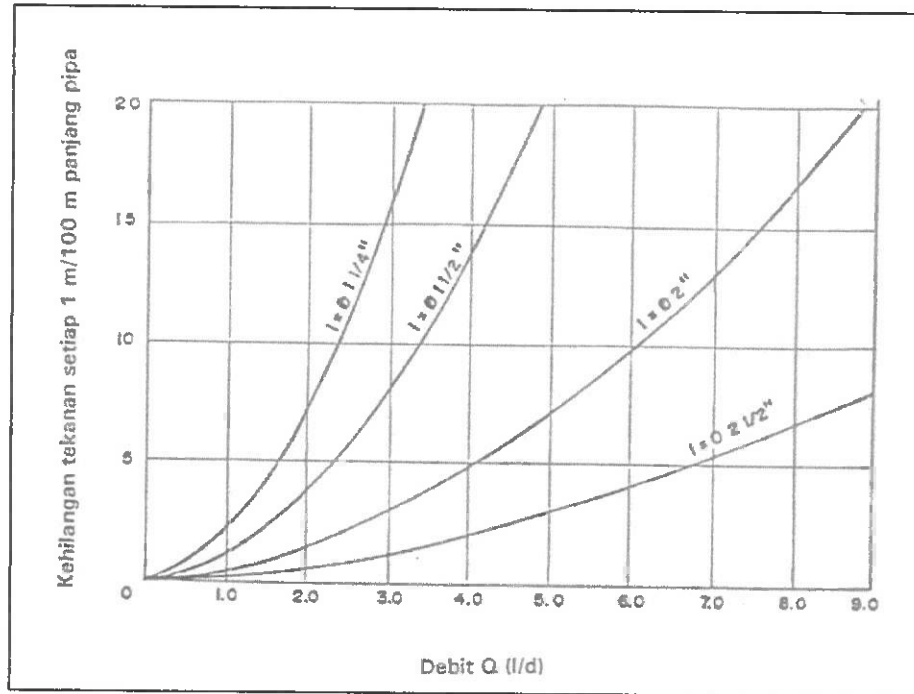
Gambar 37 Denah dan perspektif bak kebun



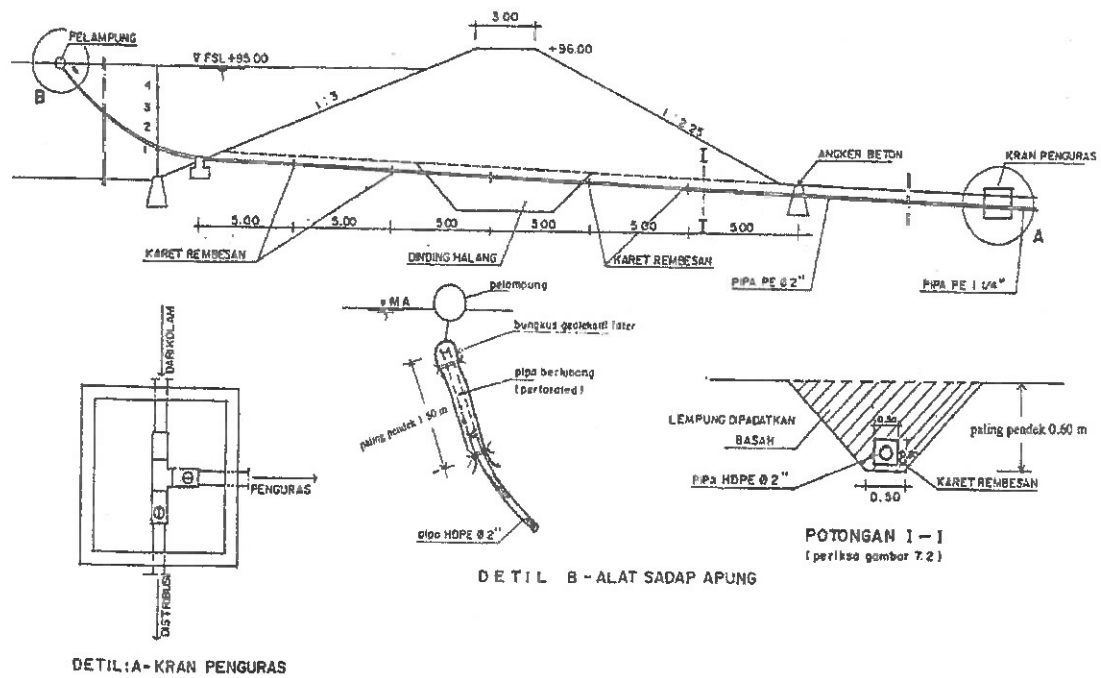
Gambar 38 Grafik hubungan antara debit dan kehilangan tekanan setiap m/100 m panjang pipa. Tipe pipa SDR 17



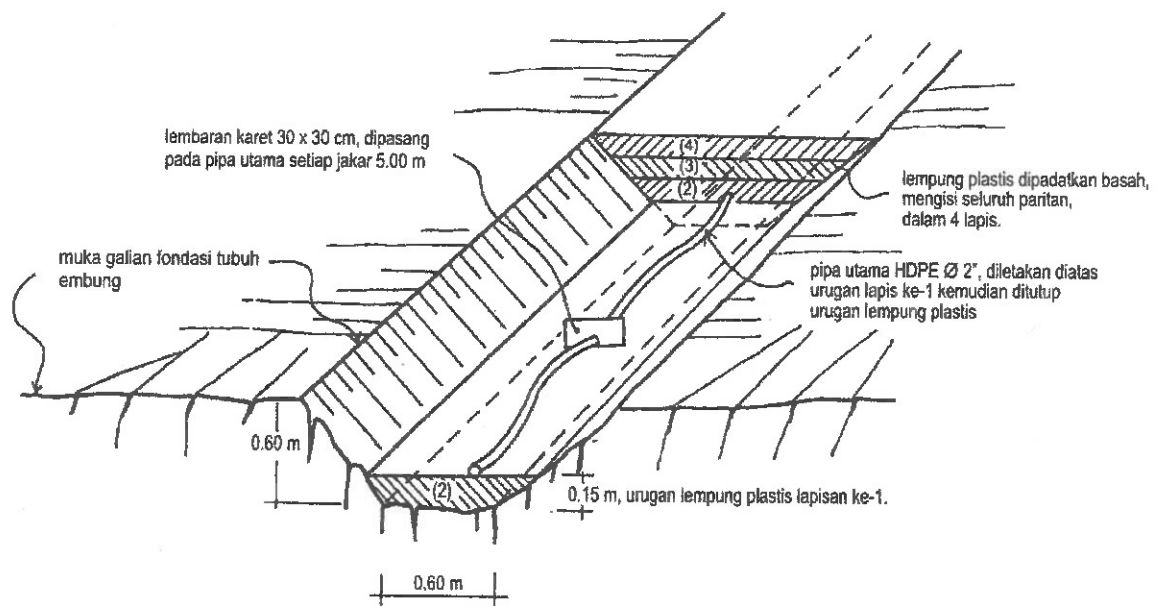
Gambar 39 Grafik hubungan antara debit dan kehilangan tekanan setiap m/100 m panjang pipa. Tipe pipa SDR 21



Gambar 40 Grafik hubungan antara debit dengan kehilangan tekanan setiap m/100 m panjang pipa. Tipe pipa SDR 26



Gambar 41 Denah pemasangan pipa distribusi



Gambar 42 Pemasangan pipa utama distribusi di bawah embung

## 5.6 Analisis Stabilitas

### 5.6.1 Umum

Analisis stabilitas tubuh embung secara praktis dapat dilakukan menggunakan program komputer, seperti GeoStudio atau Plaxis. Pada umumnya, data-data yang diperlukan sebagai input untuk perhitungan menggunakan program komputer meliputi:

1. Parameter / properti tanah yang meliputi :
  - sudut geser ( $\phi$ ) dalam satuan  $^{\circ}$ ;
  - kuat geser ( $c$ ) dalam satuan KPa;
  - berat jenis satuan ( $\gamma$ ) dalam satuan  $\text{kN/m}^3$ ;
  - porositas atau *saturated volume water content* ( $n$ ) dalam satuan  $\text{m}^3/\text{m}^3$ ;
  - *saturated conductivity* ( $K_{sat}$ ) dalam satuan  $\text{m/s}$ ; serta
  - koefisien kompresibilitas volume ( $Mv$ ) dalam satuan  $/\text{kPa}$ .
2. Parameter gempa (periode ulang 50 tahun untuk desain embung), yakni nilai percepatan-puncak gempa (PSA) di permukaan tanah yang diperoleh dengan meninjau Peta Gempa.

Sementara analisis stabilitas bangunan pelimpah dilakukan dengan meninjau gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pelimpah dan memiliki arti penting dalam perencanaan, di antaranya

### 5.6.2 Analisis Tekanan Air

Gaya tekan air dapat dibagi menjadi gaya hidrostatis dan gaya hidrodinamik. Tekanan hidrostatis adalah fungsi kedalaman di bawah permukaan air. Tekanan air akan selalu bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan. Oleh sebab itu agar perhitungannya lebih mudah, gaya horisontal dan vertikal dikerjakan secara terpisah. Tekanan air dinamik jarang diperhitungkan untuk stabilitas bangunan bendung dengan tinggi energi rendah.

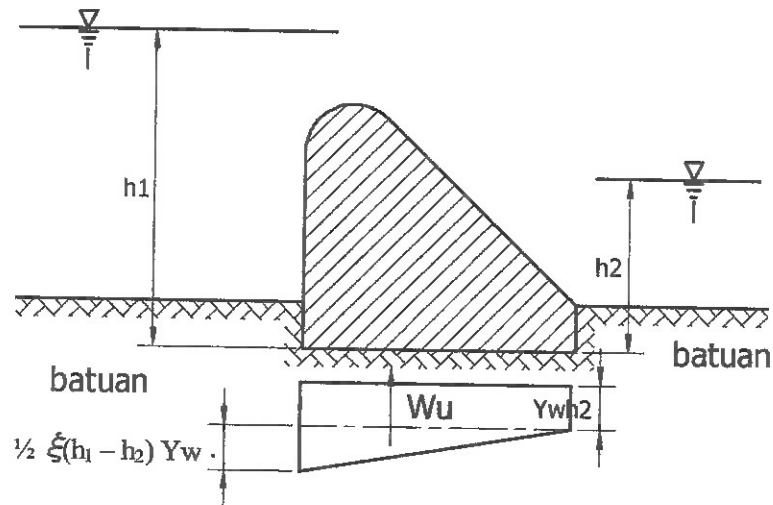
Gaya tekan ke atas disebabkan karena bangunan air mendapat tekanan air bukan hanya pada permukaan luarnya, tetapi juga pada dasarnya dan dalam tubuh bangunan itu. Gaya tekan ke atas, yakni istilah umum untuk tekanan air dalam, menyebabkan berkurangnya berat efektif bangunan di atasnya.

Perhitungan gaya tekan ke atas untuk bangunan yang didirikan pada fondasi batuan terlihat seperti persamaan berikut ini.

$$W_u = C_{T_w} [h_2 + \frac{1}{2} \xi (h_1 - h_2)] A$$

Keterangan :

- c adalah proporsi luas di mana tekanan hidrostatis bekerja ( $c = 1$ , untuk semua tipe fondasi)
- $\gamma_w$  adalah berat jenis air, kN/m<sup>3</sup>
- $h_2$  adalah kedalaman air hilir, m
- $\xi$  adalah proporsi tekanan (proportion of net head)
- A adalah luas dasar, m<sup>2</sup>
- $W_u$  adalah gaya tekan ke atas resultante, kN



Gambar 43 Grafik hubungan antara debit dengan kehilangan tekanan setiap m/100 m panjang pipa. Tipe pipa SDR 26

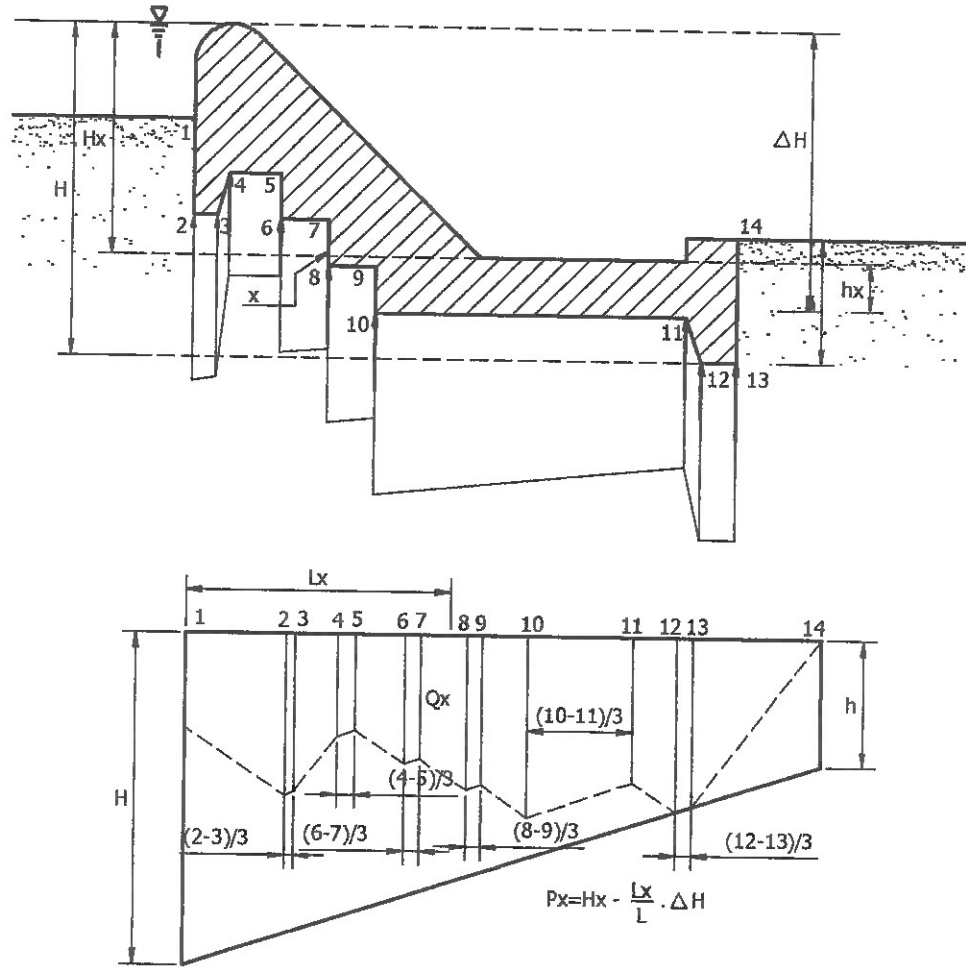
Tabel 27 Harga-harga proporsi tekanan ( $\xi$ )

Tipe fondasi batuan	$\xi$ (proporsi tekanan)
berlapis horisontal	1,00
sedang, pejal (massive)	0,67
baik, pejal	0,50

Gaya tekan ke atas untuk bangunan pada permukaan tanah dasar (*subgrade*) lebih rumit. Gaya angkat pada fondasi itu dapat ditemukan dengan membuat jaringan aliran (*flownet*). Dalam hal ditemui kesulitan berupa keterbatasan waktu pengerjaan dan tidak tersedianya perangkat lunak untuk menganalisa jaringan aliran, maka perhitungan dengan asumsi-asumsi yang digunakan oleh Lane untuk teori angka rembesan (*weighted creep theory*) bisa diterapkan. Jaringan aliran dibuat sederhana saja.

Dalam teori angka rembesan Lane, diandaikan bahwa bidang horisontal memiliki daya tahan terhadap aliran (rembesan) 3 kali lebih lemah dibandingkan dengan bidang vertikal.

Ini dapat dipakai untuk menghitung gaya tekan ke atas di bawah bendung dengan cara membagi beda tinggi energi pada bendung sesuai dengan panjang relatif di sepanjang fondasi.



Gambar 44 Grafik hubungan antara debit dengan kehilangan tekanan setiap m/100 m panjang pipa. Tipe pipa SDR 26

Gaya angkat pada titik x di sepanjang dasar bendung dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_x = H_x - \frac{L_x}{L} \Delta H$$

Keterangan :

$P_x$  adalah gaya angkat pada  $x$ ,  $\text{kg/m}^2$

$L$  adalah panjang total bidang kontak bendung dan tanah bawah, m

$L_x$  adalah jarak sepanjang bidang kontak dari hulu sampai  $x$ , m

$\Delta H$  adalah beda tinggi energi, m

$H_x$  adalah tinggi energi di hulu bendung, m

$L$  dan  $L_x$  adalah jarak relatif yang dihitung menurut cara *Lane*, bergantung kepada arah bidang tersebut. Bidang yang membentuk sudut  $45^\circ$  atau lebih terhadap bidang horisontal, dianggap vertikal.

### 5.6.3 Analisis Tekanan Lumpur

Tekanan lumpur yang bekerja terhadap muka hulu bendung atau terhadap pintu dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_s = \frac{\gamma_s h^2}{2} \left( \frac{1 - \sin \vartheta}{1 + \sin \vartheta} \right)$$

Keterangan :

$P_s$  adalah gaya yang terletak pada  $2/3$  kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara horisontal

$\gamma_s$  adalah berat jenis lumpur,  $\text{kN}$

$h$  adalah dalamnya lumpur, m

$\vartheta$  adalah sudut gesekan dalam, derajat.

Beberapa asumsi dapat dibuat seperti berikut:

$$\tau_s = \tau_s' \left( \frac{G-1}{G} \right)$$

Keterangan :

$\tau_s'$  adalah berat volume kering tanah  $\approx 16 \text{ kN/m}^3$  ( $\approx 1.600 \text{ kgf/m}^3$ )

$\lambda$  adalah berat volume butir = 2,65

menghasilkan  $\tau_s = 10 \text{ kN/m}^3 (\approx 1.000 \text{ kgf/m}^3)$

Sudut gesekan dalam, yang bisa diandaikan 300 untuk kebanyakan hal, menghasilkan:

$$P_s = 1,67 h^2$$

#### 5.6.4 Analisis Gaya Gempa

Harga-harga gaya gempa diberikan dalam bagian Parameter Bangunan. Harga-harga tersebut didasarkan pada peta Indonesia yang menunjukkan berbagai daerah dan risiko. Faktor minimum yang akan dipertimbangkan adalah 0,1g sebagai harga percepatan. Faktor ini hendaknya dipertimbangkan dengan cara mengalikannya dengan massa bangunan sebagai gaya horisontal menuju ke arah yang paling tidak aman, yakni arah hilir seperti persamaan berikut ini.

$$F_g = 0.1g W$$

Keterangan :

$F_g$  adalah gaya gempa,

$g$  adalah percepatan gravitasi

$W$  adalah berat bangunan

#### 5.6.5 Analisis Berat Bangunan

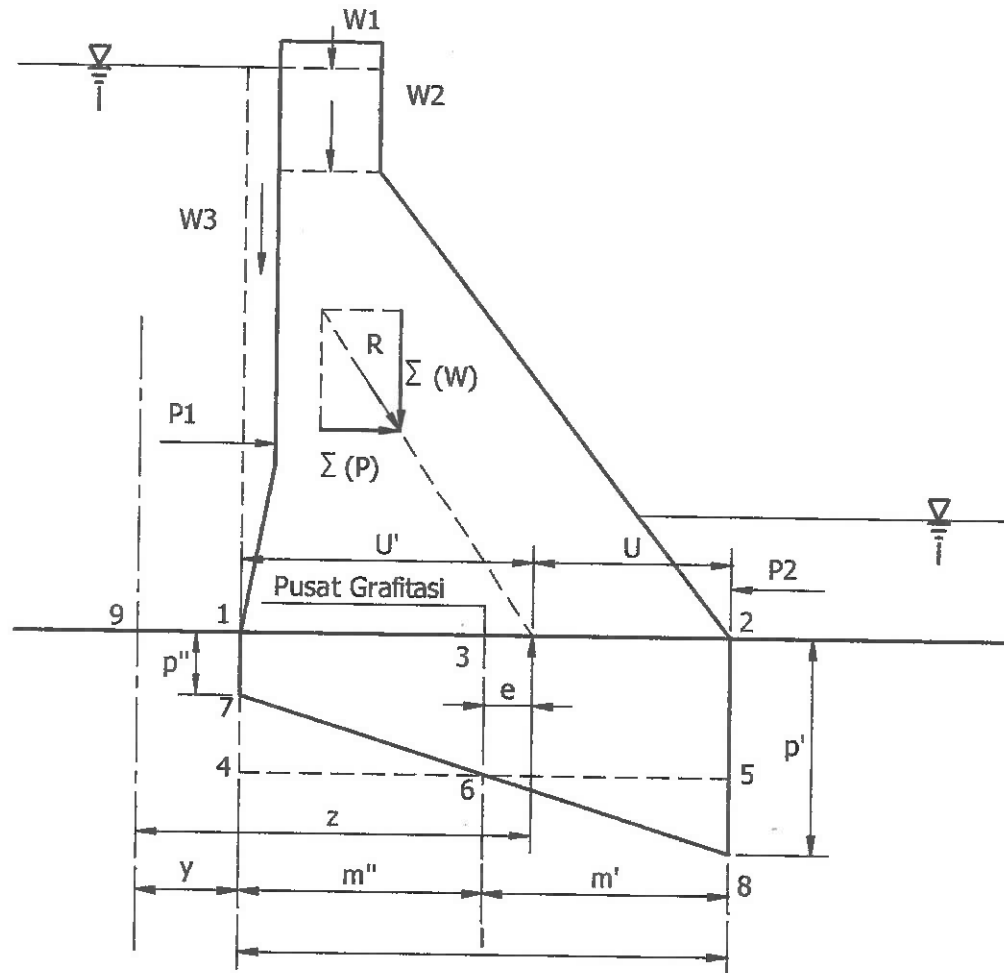
Berat bangunan bergantung kepada material yang digunakan dan untuk tujuan perencanaan pendahuluan, dapat dipakai harga-harga berat volume di bawah ini:

- a) pasangan batu             $22 \text{ kN/m}^3 (\approx 2.200 \text{ kgf/m}^3)$
- b) beton tumbuk             $23 \text{ kN/m}^3 (\approx 2.300 \text{ kgf/m}^3)$
- c) beton bertulang         $24 \text{ kN/m}^3 (\approx 2.400 \text{ kgf/m}^3)$

Berat volume beton tumbuk bergantung kepada berat volume agregat serta ukuran maksimum kerikil yang digunakan. Untuk ukuran maksimum agregat 150 mm dengan berat volume 2,65, berat volumenya lebih dari  $24 \text{ kN/m}^3 (\approx 2.400 \text{ kgf/m}^3)$ .

#### 5.6.6 Analisis Reaksi Fondasi

Reaksi fondasi dapat diasumsikan berbentuk trapesium dan tersebar secara linier .



Gambar 45 Unsur-unsur persamaan distribusi tekanan pada fondasi

Tekanan vertikal fondasi adalah:

$$P = \frac{\Sigma(W)}{A} + \frac{\Sigma(W)e}{I}m$$

Keterangan :

$P$  adalah tekanan vertikal fondasi

$\Sigma(W)$  adalah keseluruhan gaya vertikal, termasuk tekanan ke atas, tetapi tidak termasuk reaksi fondasi.

$A$  adalah luas dasar,  $m^2$

$e$  adalah eksentrisitas pembebanan, atau jarak dari pusat gravitasi dasar (base) sampai titik potong resultante dengan dasar

$I$  adalah momen kelembaban (*moment of inertia*) dasar di sekitar pusat gravitasi

$m$  adalah jarak dari titik pusat luas dasar sampai ke titik di mana tekanan dikehendaki

Untuk dasar segi empat dengan panjang ( $l$ ) dan lebar ( $B$ ) 1,0 m,  $I = l^3/12$  dan  $A = 1$ , persamaan menjadi:

$$P = \frac{\Sigma(W)}{A} \left\{ 1 + \frac{12e}{E^2} m \right\}$$

sedangkan tekanan vertikal fondasi pada ujung bangunan ditentukan dengan rumus:

$$P' = \frac{\Sigma(W)}{B} \left\{ 1 + \frac{6e}{B} \right\}$$

dengan  $m' = m'' = 1/2 l$

$$P'' = \frac{\Sigma(W)}{B} \left\{ 1 + \frac{6e}{B} \right\}$$

Jika  $e > 1/6$  maka akan dihasilkan tekanan negatif pada ujung bangunan. Biasanya tarikan tidak diijinkan dan memerlukan irisan yang mempunyai dasar segi empat sehingga resultan untuk semua kondisi pembebanan jatuh pada daerah inti.

#### 5.6.7 Analisis Ketahanan Terhadap Gelincir

Ketahanan terhadap gelincir (*sliding*) harus diperhitungkan terutama pada bagian-bagian sebagai berikut:

- a) Sepanjang sendi horisontal atau hampir horisontal di atas fondasi,
- b) Sepanjang fondasi,
- c) Sepanjang kampuh horisontal atau hampir horisontal dalam fondasi.

Tangen  $\theta$  adalah sudut antara garis vertikal dan resultante semua gaya, termasuk gaya angkat, yang bekerja pada bangunan air di atas semua bidang horisontal, harus kurang dari koefisien gesekan yang diizinkan pada bidang tersebut.

$$\frac{\Sigma(H)}{\Sigma(V-U)} = \tan \theta < \frac{f}{S}$$

Keterangan :

$\Sigma(H)$  adalah keseluruhan gaya horisontal yang bekerja pada bangunan, kN

$\Sigma(V - U)$  adalah keseluruhan gaya vertikal (V), dikurangi gaya tekan ke atas yang bekerja pada bangunan, kN

$\theta$  adalah sudut resultante semua gaya, terhadap garis vertikal, derajat

$f$  adalah koefisien gesekan

$S$  adalah faktor keamanan

Harga perkiraan koefisien gesekan  $f$  dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 28** Harga perkiraan koefisien gesekan

Material	$f$
Pasangan batu	0,60 – 0,75
Batu keras berkualitas baik	0,75
Kerikil	0,50
Pasir	0,40
Lempung	0,30

Untuk bangunan-bangunan kecil, seperti bangunan-bangunan yang dibicarakan di sini, di mana berkurangnya umur bangunan, kerusakan besar dan terjadinya bencana besar belum dipertimbangkan, harga-harga faktor keamanan ( $S$ ) yang dapat diterima adalah: 2,0 untuk kondisi pembebanan normal dan 1,25 untuk kondisi pembebanan ekstrem.

Kondisi pembebanan ekstrem dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a) Tak ada aliran di atas mercu selama gempa, atau
- b) Banjir rencana maksimum.

Bangunan yang terbuat dari beton mempunyai nilai faktor gelincir aman yang hanya didasarkan pada gesekan saja dan jika kondisi tersebut ternyata terlampaui, maka bangunan bisa dianggap aman. Jika faktor keamanan dimasukan gaya geser maka dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini, hasilnya akan sama dengan atau lebih besar dari harga faktor keamanan yang sudah ditentukan.

$$\Sigma(H) \leq \frac{f \Sigma(V-U) + c.A}{S}$$

Keterangan :

c adalah satuan kekuatan geser material, kN/m<sup>2</sup>

A adalah luas dasar yang dipertimbangkan, m<sup>2</sup>

Jika nilai faktor keamanan meliputi gaya geser, batasannya sama dengan nilai yang hanya mencakup gesekan saja yaitu 2,0 untuk kondisi normal dan 1,25 untuk kondisi ekstrem. Satuan kekuatan geser (c) untuk beton dapat ditentukan sebesar 1.100 kN/m<sup>2</sup> (= 110 Tf/m<sup>2</sup>).

Persamaan di atas digunakan hanya untuk menghitung ketahanan gelincir pada bangunan itu sendiri. Ketahanan gelincir dengan memperhitungkan material fondasi nonkohesi terhadap gaya gesekan dapat menggunakan persamaan sebelumnya.

#### 5.6.8 Analisis Ketahanan Terhadap Guling

Agar bangunan aman terhadap guling, maka resultante semua gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horisontal termasuk gaya angkat harus memotong bidang teras. Tidak boleh ada tarikan pada bidang irisan mana pun. Besarnya tegangan dalam bangunan dan fondasi harus tetap dipertahankan pada harga maksimal yang dianjurkan.

Nilai daya dukung untuk beton adalah sekitar 4,0 N/mm<sup>2</sup> atau 40 kgf/cm<sup>2</sup>, pasangan batu sebaiknya mempunyai kekuatan minimum 1,5 sampai 3,0 N/mm<sup>2</sup> atau 15 sampai 30 kgf/cm<sup>2</sup>.

Tiap bagian bangunan diasumsikan berdiri sendiri dan tidak mungkin ada distribusi gaya-gaya melalui momen lentur (*bending moment*). Oleh sebab itu, tebal lantai kolam olak dihitung sebagai berikut:

$$d_x \geq S \frac{P_x - W_x}{\tau}$$

Keterangan :

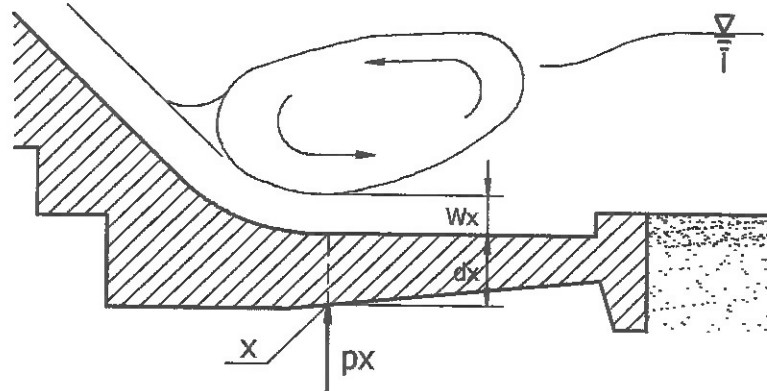
$d_x$  adalah tebal lantai pada titik x, m

$P_x$  adalah gaya angkat pada titik x, kg/m<sup>2</sup>

$W_x$  adalah kedalaman air pada titik x, m

$\tau$  adalah berat jenis material, kg/m<sup>3</sup>

$S$  adalah faktor keamanan (= 1,5 untuk kondisi normal, 1,25 untuk kondisi ekstrem)



Gambar 46 Tebal lantai tip

#### 5.6.9 Analisis Ketahanan Terhadap Erosi Bawah Tanah (Piping)

Bangunan utama seperti bendung, bendung gerak atau tubuh embung harus dicek stabilitasnya terhadap erosi bawah tanah dan bahaya runtuh akibat naiknya dasar galian (*heave*) atau rekahnya pangkal hilir bangunan.

Bahaya terjadinya erosi bawah tanah dapat dianjurkan dicek dengan menggunakan Metode *Lane* atau metode angka rembesan Lane (*weighted creep ratio method*) dianjurkan untuk menganalisa erosi bawah tanah pada bangunan utama. Metode ini memberikan hasil yang aman dan mudah dipakai. Untuk bangunan-bangunan yang relatif kecil, metode-metode lain mungkin dapat memberikan hasil-hasil yang lebih baik, tetapi penggunaannya lebih sulit.

Metode *Lane* membandingkan panjang jalur rembesan di bawah bangunan di sepanjang bidang kontak bangunan/fondasi dengan beda tinggi muka air antara kedua sisi bangunan.

Di sepanjang jalur perkolasi ini, kemiringan yang lebih curam dari 45° dianggap vertikal dan yang kurang dari 45° dianggap horisontal. Jalur vertikal dianggap memiliki daya tahan terhadap aliran 3 kali lebih kuat daripada jalur horisontal.

Oleh karena itu, rumusnya adalah:

$$C_L = \frac{\sum L_v + \frac{1}{3} \sum L_H}{H}$$

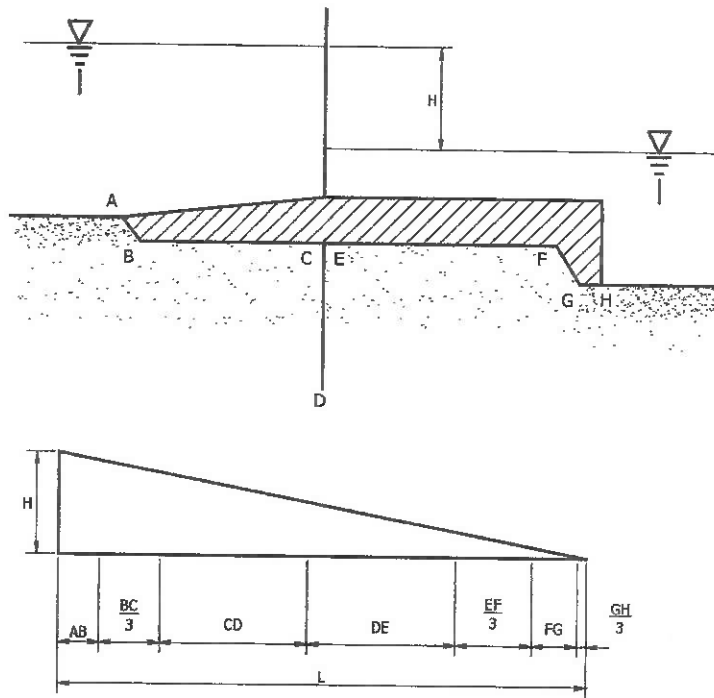
Keterangan:

$C_L$  adalah angka rembesan Lane

$\sum L_v$  adalah jumlah panjang vertikal, m

$\sum L_H$  adalah jumlah panjang horisontal, m

$H$  adalah beda tinggi muka air, m



Gambar 47 Metode angka rembesan lane

Tabel 29 Harga minimum angka rembesan lane ( $C_L$ )

Material bangunan	Nilai Rembesan Lane ( $C_L$ ) Minimum
Pasir sangat halus atau lanau	8,5

Material bangunan	Nilai Rembesan Lane ( $C_L$ ) Minimum
Pasir halus	7,0
Pasir sedang	6,0
Pasir kasar	5,0
Kerikil halus	4,0
Kerikil sedang	3,5
Kerikil kasar termasuk berangkal	3,0
Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil	2,5
Lempung lunak	3,0
Lempung sedang	2,0
Lempung keras	1,8
Lempung sangat keras	1,6

Angka-angka rembesan pada di atas sebaiknya digunakan pada kondisi sebagai berikut:

- a) 100% jika tidak dipakai pembuang, tidak dibuat jaringan aliran dan tidak dilakukan penyelidikan dengan model;
- b) 80% kalau ada pembuangan air, tapi tidak ada penyelidikan maupun jaringan aliran;
- c) 70% bila semua bagian tercakup.

Menurut Creagen, Justin dan Hinds, hal ini menunjukkan diperlukannya keamanan yang lebih besar jika telah dilakukan penyelidikan detail.

Untuk mengatasi erosi bawah tanah elevasi dasar hilir harus diasumsikan pada pangkal koperan hilir. Untuk menghitung gaya tekan ke atas, dasar hilir diasumsikan di bagian atas ambang ujung.

Keamanan terhadap rekah bagian hilir bangunan bisa dicek dengan rumus berikut:

$$S = \frac{s(1+a/s)}{h_s}$$

Keterangan :

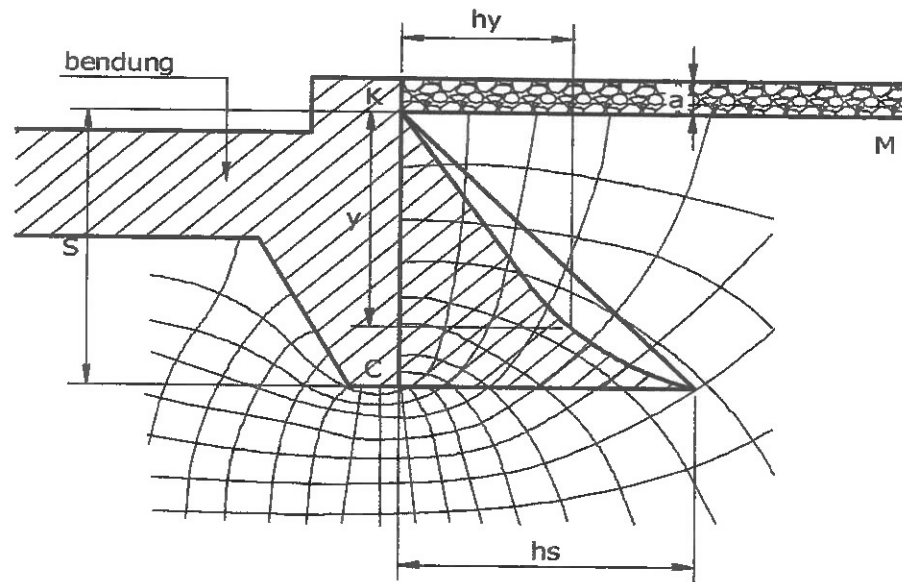
$S$  adalah faktor keamanan

$s$  adalah kedalaman tanah, m

$a$  adalah tebal lapisan pelindung, m

$h_s$  adalah tekanan air pada kedalaman  $s$ ,  $\text{kg/m}^2$

Tekanan air pada titik C dapat ditemukan dari jaringan aliran atau garis angka rembesan *Lane*. Rumus di atas mengandaikan bahwa volume tanah di bawah air dapat diambil 1 ( $\tau_w = \tau_s = 1$ ). Berat volume bahan lindung di bawah air adalah 1. Harga keamanan S sekurang-kurangnya 2.



Gambar 48 Sketsa parameter-parameter stabilitas pada ujung hilir bangunan pekerjaan konstruksi

## 6 Manual Operasi dan Pemeliharaan

Manual Operasi dan Pemeliharaan di bawah ini digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan Operasi dan Pemeliharaan bangunan SDA.

### 6.1 Umum

Tujuan dari pembangunan embung adalah untuk menjamin tersedianya air guna menunjang dan memenuhi kebutuhan sesuai dengan prioritasnya, apakah untuk keperluan irigasi, pemenuhan kebutuhan air baku, dan lain-lainnya. Oleh karena itu, perlu dibuat daftar urutan prioritas pemenuhan kebutuhan air sesuai dengan yang direncanakan. Akan tetapi dengan adanya perkembangan daerah hilir embung misalnya, urutan prioritas tersebut kemungkinan bisa bergeser dan berubah, sehingga Pola Penyusunan Operasional Embung perlu disesuaikan dengan kebutuhan dan pemanfaatannya yang baru.

Sehubungan dengan hal tersebut, maka setiap embung harus mempunyai Panduan Operasi dan Pemeliharaan (Panduan O & P Embung) tersendiri, sesuai dengan karakteristik embung masing-masing yang dapat diketahui sejak survei dan investigasi, pembuatan desain sampai pelaksanaan konstruksinya. Oleh karena itu, catatan-catatan penting selama periode tersebut harus didokumentasikan.

Maksud dari Pedoman O & P Embung itu sendiri adalah sebagai panduan kegiatan di dalam memelihara, mengendalikan atau mengoperasikan serta memanfaatkan sumber daya air berikut sarana dan prasarannya, agar dapat berfungsi secara optimal dalam rangka memberikan pelayanan kepada masyarakat sesuai dengan umur layanan yang diharapkan.

Secara umum, Panduan O & P Embung sekurang-kurangnya harus mencakup hal-hal sebagai berikut:

**1) Organisasi**

Embung yang telah selesai dibangun hendaknya dikelola oleh desa setempat, dinas yang membidangi pengelolaan Sumber Daya Air setempat membantu desa dalam masalah keteknikan.

**2) Inspeksi**

- a) Desa pengelola embung perlu mengadakan inspeksi minimal sekali dua minggu terutama terhadap tubuh embung, pelimpah dan dinding kolam embung,
- b) Pada waktu dan setelah hujan lebat perlu inspeksi,
- c) Menjelang musim kemarau perlu diperiksa apakah alat sadap dan keran air bekerja dengan baik.
- d) Inspeksi harus dilakukan oleh tenaga teknis dari dinas terkait.

**3) Daerah Tadah Hujan (DTH)**

- a) Seluruh DTH sebaiknya dihijaukan dan dibuat teras dari tumpukan batu setinggi  $\pm 0,5$  m untuk mengurangi erosi. Tanaman rumput sangat disarankan.
- b) Hewan hendaknya tidak memasuki DTH untuk menjaga kebersihan air embung dari pencemaran kotoran hewan.

**4) Kolam embung**

- a) Penduduk hendaknya tidak mengambil air secara langsung dari kolam embung untuk menghindari pemborosan air.
- b) Hewan dilarang minum langsung di kolam embung untuk mencegah penularan

penyakit hewan terhadap manusia. Pagar di sekeliling kolam mungkin diperlukan.

#### 5) Operasi pengambilan air

Mengingat terbatasnya volume air yang ada pada tampungan, maka sebelum dioperasikan perlu dibuat rencana pengoperasian. Kegiatan ini dimulai dengan penentuan distribusi air untuk penduduk, berdasarkan perhitungan kebutuhan dan ketersediaan air (neraca air). Pengoperasian dilakukan sedemikian rupa sehingga pengambilan air tidak melebihi jumlah air yang tersedia.

## 6.2 Simulasi Tampungan

### 6.2.1 Metoda Simulasi

Metode simulasi adalah salah satu pendekatan analisa yang digunakan untuk melakukan studi terhadap perilaku tampungan akibat aktifitas *inflow* (masukan air) dan *outflow* (keluaran air) di embung.

Tahapan melakukan simulasi embung adalah sebagai berikut :

- Mengidentifikasi sistem.
- Menentukan sasaran dan menetapkan kriteria yang akan dipakai untuk mengukur sasaran tersebut.
- Memeriksa ketersediaan data.
- Memformalisasikan model dengan cara matematis dan kuantitatif mewakili komponen sistem, kriteria operasi dan kondisi hidrologinya.
- Menguji model.
- Menganalisa dan mengevaluasi hasil yang didapat sesuai dengan sasaran kajian.

### 6.2.2 Genangan

Genangan atau tampungan embung adalah volume yang terbentuk dari kondisi topografi di cekungan pada lokasi embung. Volume air ini kemudian dimanfaatkan untuk menampung air sesuai kebutuhan. Untuk merencanakan pemanfaatan yang tersedia diperlukan perencanaan yang sesuai dan efisien.

Untuk merencanakan pemanfaatan air tersebut, maka tampungan kita bedakan menjadi :

- Tampungan banjir, yaitu volume air tampungan yang diperuntukkan menampung luapan air akibat debit banjir dengan peluang yang sesuai dengan yang direncanakan.

- Tampungannya efektif, yaitu volume air tampungan yang direncanakan untuk menampung air yang dimanfaatkan sesuai kebutuhan.
- Tampungannya mati, yaitu volume air tampungan yang diasumsikan terisi sedimentasi sampai dengan umur embung yang telah direncanakan.

Dengan demikian volume air tampungan total adalah jumlah dari tampungan mati, tampungan banjir dan tampungan efektif.

### 6.2.3 Persamaan Keseimbangan Air Tampung

Simulasi tampungan embung berhubungan dengan simulasi matematik dari operasi embung. Perencanaan simulasi pengoperasian sistem pemanfaatan air di embung dengan simulasi dimaksudkan untuk menentukan kebutuhan air guna berbagai kebutuhan yang meliputi air baku, air rumah tangga, irigasi, pengendalian banjir dan lain sebagainya.

Tujuan simulasi embung adalah untuk menentukan pengoperasian embung pada suatu periode tertentu, pada titik kontrol sepanjang sistem.

Sasarannya adalah pengoperasian embung sebaik mungkin agar bisa memenuhi berbagai kepentingan.

Simulasi tampungan embung bisa juga dilakukan dengan cara coba-coba untuk mengembangkan pola operasi. Metode hitungan neraca air bisa dilakukan dengan menyederhanakan proses fisik menjadi fungsi aljabar, yang bisa dinyatakan sebagai berikut :

$$S_t = S_{t-1} + I_t + R_t - O_t - E_t - L_t$$

$$0 \geq S_t \geq C$$

dimana :

- C = kapasitas tampungan embung efektif
- $S_t$  = volume air di embung saat t (periode yang bersangkutan)
- $S_{t-1}$  = volume air di embung saat t - 1 (periode sebelumnya)
- $I_t$  = volume inflow ke embung saat t
- $R_t$  = volume air hujan yang masuk ke embung seluas daerah genangan saat t.
- $O_t$  = volume outflow yang dicatat dari embung saat t.
- $E_t$  = volume air embung yang menguap saat t.
- $L_t$  = volume air embung yang hilang karena sebab-sebab lain saat t.

### 6.3 Operasi Embung

Sebelum pengoperasian embung, pada umumnya telah dihitung dan diketahui kapasitas tampungan atau alokasi air embung serta grafik hubungan antara elevasi muka air embung,

luas genangan, dan volume air yang tertampung. Namun, korelasi tersebut dipengaruhi oleh variasi laju penampungan air maupun laju pengendapan/ sedimentasi di dasar embung. Faktor-faktor inilah yang harus diperhatikan di dalam Panduan O & P Embung yang terkait dengan pengoperasian Embung, yakni:

#### **6.3.1 Kapasitas Tampungan Embung**

Kapasitas tampungan embung akan selalu berubah/ berkurang seiring dengan sedimentasi yang terjadi di dasar embung. Oleh karena itu, O & P embung harus memuat instruksi yang jelas mengenai perlu dan pentingnya dilakukan pengukuran laju sedimentasi di kolam embung secara periodic untuk menentukan pengendalian operasinya. Pengukuran ini antara lain bisa dilakukan dengan menggunakan peralatan "echo sounding".

#### **6.3.2 Banjir Desain dan Penelusuran Banjir**

- a) Panduan O & P Embung hendaknya memuat pula uraian mengenai banjir desain, tipe dan debit banjir yang digunakan di dalam merekayasa embung, bangunan pelimpah, dan bangunan pengeluaran lainnya.
- b) Apabila embung didesain dengan menggunakan persyaratan debit banjir dengan periode ulang tertentu, maka besarnya debit banjir periode ulang tertentu tersebut perlu ditampilkan di dalam panduan.

Demikian pula catatan mengenai besarnya banjir maksimum yang pernah terjadi guna mengantisipasi pengoperasian embung selama waktu banjir berikutnya.

- c) Data yang perlu untuk penelusuran banjir yang masuk, antara lain adalah:
  - Debit banjir pada setiap sungai yang masuk ke dalam embung.
  - Elevasi muka air embung pada saat mulai banjir dan selama banjir.
  - Waktu dan debit pengeluaran dari bangunan pengeluaran.
  - Operasi saluran pemasok air ke dalam embung (jika ada).
- d) Panduan O & P embung perlu mencantumkan pula hidrograf penelusuran banjir desain, desain pengendalian banjir berikut data-data banjir besar yang pernah terjadi.

#### **6.3.3 Prakiraan Air Masuk**

- a) Panduan O & P embung harus memuat perintah mengenai pentingnya menghitung perkiraan besarnya air yang masuk ke dalam embung pada bulan-bulan sebelum dan selama musim penghujan/banjir, mencakup persiapan instruksi berikut prosedurnya. Prakiraan ini dapat digunakan sebagai dasar perencanaan operasi embung sebelum dan selama periode banjir, pembuatan prosedur perencanaan operasi dan kriteria operasi,

- b) Prakiraan hendaknya mencakup waktu dan besarnya banjir yang akan datang, yang antara lain dapat dipantau dengan menggunakan sistem peralatan telemetri.
- c) Untuk keperluan butir a) di atas, diperlukan prosedur administrasi dan data teknik termasuk pembentukan organisasi yang bertanggung jawab terhadap perhitungannya, pengumpulan data terkait serta pembuatan perencanaan operasi waduk.
- d) Data dan prosedur teknik yang dimaksud dalam butir c) di atas adalah:
  - Data hasil pemantauan hidrometeorologi.
  - Korelasi, persamaan-persamaan, grafik dan prosedur analisis prakiraan air masuk, termasuk sistem peringatan dini, dan sebagainya.
  - Instruksi mengenai frekuensi ramalan yang harus dibuat dalam berbagai kondisi yang bervariasi.

#### **6.3.4 Jadwal Pengisian dan Prosedur Pengeluaran Air**

Panduan O & P harus berisikan pula rencana atau jadwal pengisian embung dan pengeluarannya, secara berkesinambungan setiap tahun. Rencana tersebut hendaknya juga mencakup larangan atau batasan pengeluaran air, termasuk jumlah dan waktu kapan air harus dikeluarkan dari embung.

#### **6.3.5 Petunjuk Operasi**

- a) Panduan O & P embung harus memuat petunjuk operasi berupa informasi dan perintah yang jelas kepada personil yang bertanggung jawab terhadap pengoperasian embung agar sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan.
- b) Pembuatan petunjuk operasi dapat merujuk kepada dokumen-dokumen peralatan yang digunakan, desain embung dan bangunan pelengkap serta instruksi/manual dari pabrik pembuatannya.
- c) Petunjuk operasi hendaknya dibuat tersendiri, terpisah dari panduan mengenai kebijaksanaan operasi secara umum.
- d) Bangunan dan atau peralatan yang perlu dibuat petunjuk operasinya hendaknya mencakup:
  - Petunjuk operasi bangunan-bangunan sipil
  - Petunjuk operasi instrumentasi embung
  - Petunjuk operasi jaringan hidrometeorologi dan sistem peringatan dini.

### 6.3.6 Operasi Banjir

- a) Panduan O & P harus mencantumkan operasi banjir serta kriteria penyimpanan air berikut jadwal pengeluarannya sebelum dan selama terjadinya banjir. Hal ini penting dalam rangka pembuatan kriteria dan pola operasional embung yang antara lain dimaksudkan untuk keperluan keamanan embung dan keselamatan penduduk di daerah hilir embung. Di samping itu, Panduan O & P hendaknya juga merinci jenis-jenis kegiatan pengendalian banjir di hilir embung.
- b) Panduan O & P hendaknya juga mencantumkan kapasitas saluran/sungai pada penampang-penampang tertentu di hilir embung.

### 6.4 Pola Operasi Embung

Maksud dari pola operasi disini adalah merupakan pola pendistribusian air yang pada dasarnya dipengaruhi oleh komponen-komponen *outflow* maupun komponen-komponen *inflow*. Untuk studi ini dilakukan dengan cara pendekatan pembagian waktu menurut periode-periode. Pada setiap 1 (satu) bulan terdiri dari 2 (dua) periode dengan pembagian yang disesuaikan dengan jumlah hari pada masing-masing bulan, hal ini karena disesuaikan dengan pembagian periode pola tanam.

Pola pendistribusian air, didasarkan pada hasil simulasi yang menggunakan keandalan sebesar 80 %, akan terdapat pola perilaku muka air selama setahun pada setiap periode. Perilaku ini akan dapat diandalkan sebagai pola standar dengan peluang keberhasilan 80%.

Pada simulasi ini tentunya akan memanfaatkan volume tampungan efektif, yaitu volume yang berada di antara elevasi mercu pelimpah dan elevasi *intake*. Sedangkan tampungan total adalah tampungan efektif ditambah tampungan banjir dan tampungan dasar.

Pola operasi (pengaturan pembagian air) embung meliputi hal-hal dan dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### **Debit yang masuk (*inflow*), meliputi :**

1. Curah hujan yang langsung jatuh ke areal genangan embung (dihitung berdasarkan curah hujan rata-rata 15 harian dikalikan dengan luas genangan embung)
2. Debit andalan dari daerah tangkapan air (DTA) yang menjadi limpasan dan masuk ke embung.

#### **Debit yang keluar (*outflow*), meliputi :**

1. Evaporasi Langsung dari genangan embung
2. Kebutuhan air irigasi (hasil perhitungan kebutuhan air irigasi dengan berbagai alternatif pola tata tanam)

3. Kebutuhan air baku masyarakat (hasil perhitungan hidrologi kebutuhan air masyarakat-masyarakat)
4. Kebutuhan air minum ternak.

Berikut ini adalah contoh tabel hasil analisa pola operasi embung dengan kondisi sebagai berikut:

1) Kebutuhan Irigasi

Jadwal tanam harus disesuaikan dengan musim (banjir) sehingga tanaman aman dari kerusakan, untuk pelaksanaan pengolahan tanah harus tepat waktu sesuai pola tanam usulan maupun kesepakatan kelompok tani yang ada di lokasi pekerjaan.

Pemberian air ke lahan dilakukan secara kontinyu yang disesuaikan dengan pola tanam (kebutuhan) dan ketersediaan air untuk irigasi, untuk itu diperlukan juru air yang bertugas mengatur bukaan pintu pengambilan (*intake*).

Pintu bangunan pengambil harus ditutup, pada saat dan setelah turun hujan dimana tanaman padi/palawija cukup memperoleh air dari air hujan saja.

2) Kebutuhan Air Baku

Saat ini tampungan embung lebih diprioritaskan untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi.

3) Kebutuhan Air Ternak

Seperti disebutkan di atas bahwa saat ini tampungan embung lebih diprioritaskan untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi.

Tabel 30 Contoh Hasil Analisa Pola Operasi Embung

NO	BLN	DKD	HARI	INFLOW		HUKUM		KEBUTUHAN AIR IRIGASI SARAWI SEKITAR EMBUNG 125.00 Ha	EVAPORASI MAJU	S OUTFLOW	S INFLOW	S OUTFLOW	AS - I - 0	AIR YANG MELIHAPAS (SPILLOUT)	AIR YANG MELIHAPAS (SPILLOUT)	ELEVASI PUNTA AIR SITU		
				m <sup>3</sup> /dek	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>										m <sup>3</sup> /dek	m <sup>3</sup>
0																		
1	Jan	1	15	0,17	216.652,35	127,95	3.561,95	1,34	217.217,01	5,00	2.193,05	219.305,47	113.462,12	219.305,47	110.989,00	Tidak Melimpas	125,002	
2		2	16	0,17	231.095,85	135,37	3.798,98	0,94	161.929,77	5,00	2.227,69	164.157,46	330.294,47	330.294,47	127.927,39	64.285,27	Tidak Melimpas	125,002
3	Feb	1	15	0,19	243.074,51	135,62	3.722,48	0,15	23.857,00	4,85	2.025,52	561.390,32	804.464,83	383.462,93	17.927,39	281.477,25	Tidak Melimpas	125,105
4		2	16	0,19	251.870,87	127,98	3.665,40	0,30	42.117,03	4,85	1.755,45	49.872,49	1.015.129,40	493.345,46	581.911,45	488.369,33	Tidak Melimpas	125,122
5	Mar	1	15	0,19	268.642,26	135,52	3.803,09	0,42	68.237,13	4,35	1.819,34	70.056,47	1.267.000,27	523.274,42	743.725,86	630.083,74	Tidak Melimpas	125,140
6		2	16	0,12	150.509,01	98,85	2.502,95	0,00	55.220,50	4,05	1.940,63	57.161,13	1.535.662,54	580.435,54	993.226,99	841.594,88	Tidak Melimpas	125,159
7	Apr	1	15	0,04	49.902,07	44,74	1.246,36	0,05	8.213,89	4,05	1.692,71	1.692,71	1.692,71	9.906,60	1.836.650,56	992.024,86	Tidak Melimpas	125,176
8		2	16	0,04	53.258,87	47,72	1.329,45	0,78	125.793,68	3,71	1.589,76	1.47	127.313,45	1.836.650,56	992.024,86	1.053.562,21	0,87	125,187
9	Mei	1	15	0,03	32.714,28	31,58	879,68	0,42	79.350,54	3,64	1.519,15	1.519,15	1.972.525,78	886.019,48	1.083.792,02	921.994,49	Tidak Melimpas	125,170
10		2	16	0,03	32.417,28	20,46	568,22	0,27	44.394,36	3,64	1.519,15	0,53	45.913,31	926.898,17	1.022.437,39	908.785,27	Tidak Melimpas	125,170
11	Jun	1	15	0,03	32.417,28	20,46	568,22	0,00	0,00	3,98	1.664,21	1.664,21	2.072.657,35	984.464,89	1.053.190,46	909.948,34	Tidak Melimpas	125,172
12		2	16	0,03	34.578,44	21,76	606,11	1,45	249.710,74	3,38	1.276,16	2,91	1.884,21	1.233.552,79	1.053.190,46	909.948,34	Tidak Melimpas	125,135
13	Jul	1	15	0,03	32.417,28	20,46	568,22	1,82	295.264,63	4,75	1.966,19	3,44	2.917,51	1.851.490,49	1.053.190,46	909.948,34	Tidak Melimpas	125,112
14		2	16	0,03	32.417,28	20,46	568,22	0,74	136.105,98	4,75	2.169,24	3,68	318.226,23	2.104.540,97	1.533.304,27	722.640,88	Tidak Melimpas	125,122
15	Agst	1	15	0,03	32.417,28	20,46	568,22	0,73	118.098,61	8,31	2.217,63	1,42	122.676,67	1.851.490,49	1.053.190,46	909.948,34	Tidak Melimpas	125,122
16		2	16	0,03	32.417,28	20,46	568,22	0,73	118.098,61	8,31	2.217,63	1,42	122.676,67	1.851.490,49	1.053.190,46	909.948,34	Tidak Melimpas	125,122
17	Sept	1	15	0,03	32.417,28	20,46	568,22	0,73	118.098,61	8,31	2.217,63	1,42	122.676,67	1.851.490,49	1.053.190,46	909.948,34	Tidak Melimpas	125,122
18		2	16	0,03	32.417,28	20,46	568,22	0,73	118.098,61	8,31	2.217,63	1,42	122.676,67	1.851.490,49	1.053.190,46	909.948,34	Tidak Melimpas	125,122
19	Oktr	1	15	0,03	32.417,28	20,46	568,22	0,73	118.098,61	8,31	2.217,63	1,42	122.676,67	1.851.490,49	1.053.190,46	909.948,34	Tidak Melimpas	125,122
20		2	16	0,03	32.417,28	20,46	568,22	0,73	118.098,61	8,31	2.217,63	1,42	122.676,67	1.851.490,49	1.053.190,46	909.948,34	Tidak Melimpas	125,122
21	Nov	1	15	0,05	64.800,14	118,04	3.288,43	0,01	1.061,59	5,06	2.115,93	0,04	31.177,52	2.435.770,83	2.240.897,54	94.873,29	Tidak Melimpas	122,082
22		2	16	0,05	64.800,14	118,04	3.288,43	0,01	1.061,59	5,06	2.115,93	0,02	2.115,93	2.400.570,97	2.240.897,54	157.567,50	Tidak Melimpas	124,398
23	Dise	1	15	0,09	112.981,13	126,13	3.513,73	0,00	46.967,00	3,87	1.615,13	0,56	48.582,14	2.513.452,10	2.291.013,47	221.866,49	Tidak Melimpas	125,103
24		2	16	0,09	120.406,53	134,54	3.747,98	0,39	66.680,44	3,87	1.722,81	0,79	68.403,25	2.633.898,63	2.359.998,85	273.699,78	Tidak Melimpas	125,108
JUMLAH					365				2.214.398,19		45.603,67		2.359.998,85		1.294.645,70		124,84	
RATA-RATA									96.433,13		1.901,15		98.233		33.500,67		125,19	
MAKSIMUM									318.106,98		2.399,52		318.226,23		113.642,12		122,04	
MINIMUM									0,00		1.519,15		1.664,21		39.250,67			
VOL. MAJ. EMBUNG																		
VOL. MIN. EMBUNG																		

Sumber: Laporan Pedoman Operasi dan Pemeliharaan (O&P), Detail Desain Embung 1 Lokasi Kabupaten Biora

Kebutuhan Air Irigasi Maksimum utk Persawahan di sekitar Embung = 183 l/det/ha  
 Luas Genangan Maksimum Embung Peret = 27.856,19 m<sup>2</sup>  
 Volume Tempungan Efektif Embung (kampung efektif) = 50.363,14 m<sup>3</sup>  
 Volume Tempungan Minimum Embung (kampung mati) = 23.278,97 m<sup>3</sup>  
 Volume Tempungan Maksimum (Sampai ambang pemadatan) = 113.642,12 m<sup>3</sup>  
 Elevasi Muka Air Embung Rata-rata = 124,84 m  
 Elevasi Muka Air Embung Maksimum = 125,19 m  
 Volume Tempungan sedimen maksimum = 23.278,97 m<sup>3</sup>  
 Elevasi Permukaan = 125,10 m  
 Elevasi = 121,50 m

## 6.5 Pemeliharaan Embung

Pemeliharaan merupakan suatu usaha untuk merawat, menjaga dan melestarikan sehingga embung akan tetap dapat memberikan "daya layan" yang optimal kepada masyarakat. Masyarakat sebagai penerima manfaat dari rencana pembangunan embung, untuk itu diperlukan usaha sosialisasi cara pengoperasian dan pemeliharaan, sehingga masyarakat merasa memiliki dan menjaga subyek dari pembangunan embung tersebut.

Pemeliharaan Embung adalah kegiatan yang tidak boleh diabaikan karena embung akan mengalami kerusakan dari waktu ke waktu dimana kerusakan kecil akan dapat berkembang menjadi kerusakan yang besar apabila tidak cepat ditangani. Program pemeliharaan yang baik akan mencegah embung dari kerusakan, meningkatkan umur embung serta menjaga struktur bangunan tetap aman. Semua komponen dan peralatan pendukungnya sebaiknya dilakukan inspeksi dan pemeliharaan secara rutin seperti yang ditunjukkan di bawah :

### 6.5.1 Tubuh Embung

Perawatan tubuh embung meliputi perawatan terhadap tumbuh-tumbuhan serta binatang-binatang yang dapat mengakibatkan kerusakan pada tubuh embung serta kerusakan-kerusakan yang terjadi meliputi:

- Pengontrolan tumbuhan-tumbuhan disekitar bendung dilakukan dua kali per tahun atau lebih dengan cara :
  - Memotong rumput untuk mempertahankan penglihatan permukaan embung dan menghapus vegetasi berkayu yang berjarak 25 meter dari semua komponen embung.
  - Menjaga ketinggian rumput tidak lebih dari 20 cm.
  - Menjaga kesehatan rumput untuk mencegah erosi dan pertumbuhan vegetasi berkayu.
- Pengontrolan binatang pengerat (*Rodent Control*) dilakukan sebulan sekali atau lebih dengan jalan :
  - Pengasapan liang binatang (*fumigate burrow*)
  - Perangkap atau membasmi tikus
  - Mengsisi seluruh liang dengan bahan isi
- Perawatan jalan yang berada dibagian atas tubuh embung dilakukan setahun sekali atau lebih.
  - Pelapisan kembali terhadap lapisan-lapisan tanah atau asfalt yang mengalami kerusakan akibat gesekan atau termakan oleh umur.
  - Menjaga ketinggian tanggul sesuai dengan spesifikasi perencanaan

- Melaporkan terhadap pemilik embung apabila terjadi pada tubuh embung.
- Perawatan terhadap lapisan pelindung permukaan tubuh embung bagian depan maupun belakang dilakukan setahun sekali atau lebih.
  - Perbaiki batuan riprap dengan menjaga slope sesuai dengan perencanaan.
  - Mengganti material lapisan dan riprap yang mengalami kerusakan atau hilang
  - Membuang tumbuh-tumbuhan berkayu yang ada pada tubuh embung.

#### **6.5.2 Bangunan Pelimpah (*Spillway*)**

Perawatan bangunan pelimpah (*spillway*) meliputi menghilangkan tumbuh-tumbuhan serta perbaikan kerusakan-kerusakan pada permukaan *spillway* yang ditimbulkan oleh gaya dinamis air yang melaluinya meliputi:

- Mengontrol tumbuh-tumbuhan (untuk darurat rumput berjajar *spillway*) dilakukan setahun dua kali atau lebih
  - Memotong rumput dengan frekwensi dua kali per tahun
  - Menjaga kesehatan rumput untuk mencegah erosi dan pertumbuhan vegetasi berkayu
  - menghilangkan tumbuhan berkayu per tahun
- Perbaikan tanah dilakukan setahun sekali atau lebih
  - Ganti tanah hilang dengan tanah baru yang tidak mengandung vegetasi, bahan organik, sampah atau besar batu
  - Penempatan dan pemadatan lapisan tipis (yaitu, 6-inci)
  - Pemasangan tanah lapisan atas
- Pelindung Erosi dilakukan setahun sekali atau lebih
  - Pemasangan batu, riprap, tumbuh-tumbuhan atau bahan lainnya (misalnya, beton atau aspal) di mana pelindung erosi yang hilang, rusak atau diperlukan
  - Periksa saluran pelimpah hilir untuk bukti dari sedimentasi yang berlebihan atau erosi
- Perbaikan Beton / Batu / *Masonry* dilakukan setahun sekali atau lebih
  - Perbaiki kerusakan yang ada di permukaan beton atau pasangan batu dengan menambah lapisan atau kekuatan
  - Apabila terjadi kerusakan pada beton atau pasangan batu yang ada di *spillway* yang terlalu berat perlu berkonsultasi dengan personil keselamatan embung dan / atau profesional insinyur untuk menentukan perbaikan yang sesuai atau layak
- Membuang sampah dilakukan sebulan sekali atau sebaiknya seminggu sekali
  - Membuang sampah-sampah yang tersangkut di dalam *spillway*

### **6.5.3 Intake / Outlet Struktur**

Perawatan bangunan pengambilan meliputi perawatan terhadap gangguan yang dari sampah atau kerusakan pada peralatan dan bangunan meliputi :

- *Trashrack* dilakukan setahun sekali atau setelah setiap badai besar
  - Membuang puing-puing sampah dari trashrack
  - Perbaiki bagian berkarat atau rusak sesuai kebutuhan
- Perawatan peralatan mekanikal dilakukan sekali per tahun
  - Pengecekan operasi katup dengan cara membuka dan menutup katup berulang kali.
  - Pelumasan pada mekanisme penggerak sesuai yang direkomendasikan oleh pabrik.
  - Pengecatan dan pelindungan permukaan logam besi jika diperlukan
- *Internal Conduit* dilakukan sekali per tahun
  - Pemeriksaan kebocoran atau rembesan pada bagian akhir pipa.
  - Pemeriksaan korosi atau kerusakan pada material saluran.
  - Pengecekan apabila terjadi kerusakan dan melakukan perbaikan dengan bimbingan oleh tenaga ahli.
- Dinding Beton atau Pasangan batu
  - Perawatan ini dilakukan sekali per tahun

### **6.5.4 Dinding Pengaman Tebing**

Perawatan pengaman tebing meliputi perawatan terhadap tumbuh-tumbuhan dan kerusakan struktur meliputi :

- Pengontrolan tumbuh-tumbuhan dilakukan dua kali per tahun
  - Memotong tumbuhan berkayu yang berjarak 25 meter dari bangunan embung yang berpasangan batu atau beton.
  - memotong pepohonan yang tumbuh pada dinding beton atau pasangan batu
- Mengganti batuan yang hilang dilakukan setahun sekali
  - Mengganti pelapis batu yang hilang atau yang tidak lurus yang ada didalam spillway
  - Mengganti pasangan batu yang hilang di depan atau dibelakang dinding.
  - Jangan melakukan penutupan dengan lapisan semen atau pelapis yang lain pada bagian yang terbuka pada dinding atau runtuh tanpa berkonsultasi dengan tenaga yang berpengalaman.

### **6.5.5 Sarana Penunjang**

- ☑ Menjaga rambu-rambu akses kendaraan dan pejalan kaki untuk memungkinkan inspeksi masa depan dan pemeliharaan dilakukan sekali per tahun.
- ☑ Periksa pagar, kunci, dan tanda-tanda kerusakan dilakukan sekali per tahun.

### **6.5.6 Perawatan Rutin**

Salah satu upaya untuk meminimalkan terjadinya kerusakan yang membahayakan embung adalah dengan melakukan perawatan secara rutin. Perawatan rutin sebaiknya dilakukan 1 bulan 1 kali.

Perawatan rutin ini meliputi kegiatan pembersihan semak/rumput disekitar bangunan inti embung, dan pembersihan saringan pasir cepat pada bak penampung.

### **6.5.7 Pengurangan sedimen**

Pengurangan sedimen secara periodik yaitu  $\pm 2$  tahun sekali dapat dilakukan dengan waktu pengerukan pada akhir musim kemarau. Pengurangan dilakukan dengan pengerukan sedimen di hulu tampungan embung tepatnya di hulu gorong-gorong dari alur sungai yang masuk ke lokasi genangan embung.

## **6.6 Inspeksi**

Inspeksi embung secara teratur dan hasil inspeksi terekam atau tercatat dengan baik akan mempermudah didalam melakukan perbaikan atau perawatan embung, karena riwayat hasil inspeksi dan perawatan yang terdahulu akan membantu perbaikan diwaktu berikutnya didalam menentukan penyebab kerusakan.

Sehingga semua inspeksi harus terorganisasi, sistematis dan menggunakan peralatan yang cukup memadai untuk dapat melakukan penyelidikan dengan baik. Peralatan yang digunakan dalam inspeksi antara lain :

- Notebook dan pensil dimana digunakan untuk mencatat hasil penyelidikan lapangan dan mengurangi kesalahan dan kehilangan data.
- Menyiapkan *Checklist* untuk memudahkan dalam pengecekan sehingga tidak terjadi kekurangan data pengecekan.
- *Digital Camera* untuk memotret kondisi lapangan yang ada saat ini
- GPS untuk melakukan pengecekan posisi koordinat

- *Hand Level* untuk menentukan ketinggian embung dan slope dari tubuh embung.
- Meteran *Roll* untuk melakukan pengukuran-pengukuran lapangan jika diperlukan
- Palu inspeksi
- Peralatan pengukur kemiringan, dll.

Inspeksi embung sebaiknya dilakukan dalam dua cara yaitu dalam frekuensi bulanan dan tahunan seperti yang diuraikan dibawah ini :

- Inspeksi Bulanan yang perlu dilakukan adalah :
  - Pencatatan tinggi muka air embung
  - Pengecekan debit yang masuk ke embung
  - Pengecekan debit keluaran dari embung
  - Pengecekan secara visual untuk komponen seperti
  - Puncak bendung meliputi :
    - Pengecekan retakan-retakan yang terjadi pada puncak tubuh embung
    - Pengecekan kelongsoran pada puncak tubuh embung
    - Pengecekan penurunan atau kelurusan puncak tubuh embung
    - Pengecekan terhadap adanya lubang-lubang penurunan setempat (*sink hole*) pada puncak tubuh embung.
    - Pengecekan terhadap tumbuh-tumbuhan yang ada pada puncak tubuh embung.
  - Permukaan bendung bagian depan dan bagian udik dari retakan atau longsor.
    - Pengecekan retakan-retakan yang terjadi pada tubuh embung bagian depan dan belakang
    - Pengecekan kelongsoran pada tubuh embung bagian depan dan belakang
    - Pengecekan terhadap adanya lubang-lubang pada tubuh embung bagian depan dan belakang.
    - Pengecekan terhadap tumbuh-tumbuhan yang ada pada tubuh embung bagian depan dan belakang
    - pengecekan terhadap kelongsoran rip-rap pelindung tubuh embung
  - Pengecekan *Spillway* dan Kolam Pemecah Energi terhadap kerusakan yang terjadi
    - Pengecekan retakan-retakan yang terjadi pada bangunan pelimpah/ *spillway*
    - Pengecekan dinding yang ada pada bangunan pelimpah/ *spillway*
    - Pengecekan penurunan lantai atau sambungan yang ada pada bangunan pelimpah/ *spillway*

- Pengecekan gabion yang ada pada bangunan pelimpah/ *spillway*
- Pengecekan terhadap tumbuh-tumbuhan yang ada pada bangunan pelimpah/ *spillway*
- Pengecekan beton dan pasangan batu yang ada pada bangunan pelimpah/ *spillway*
- Pengecekan tanah yang ada di kanan dan kiri bangunan pelimpah/ *spillway*
- Pengecekan kebocoran pada tubuh embung
  - Pengecekan apabila terjadi kebocoran pada tubuh embung
  - Pengecekan debit air yang ada dibelakang tubuh embung
  - Pengecekan saluran drainase yang ada dibelakang tubuh embung
  - Pengecekan terhadap tumbuh-tumbuhan yang ada pada saluran drainase
- Pengecekan Peralatan Pengaman embung
  - Pengecekan pagar-pagar pelindung embung dari kerusakan atau korosi
  - Pemeriksaan *trashrack*
- Pengecekan sistem hidraulik
  - Pengecekan sistem pelumasan pada sistem hidraulik
  - Pengecekan sistem operasi dari pintu atau valve
- Inspeksi Tahunan

Pengecekan keseluruhan komponen dan bangunan embung dimana pengecekan ini hampir sama dengan pengecekan bulanan tetapi lebih detail dan disertai dengan alat bantu atau alat ukur untuk mendeteksi setiap kerusakan yang terjadi.

  - Pengecekan penurunan tubuh embung dengan menggunakan alat ukur.
  - Pengecekan kebocoran atau rembesan yang terjadi di bagian hilir tubuh embung dengan alat ukur
  - Pengecekan saluran pelimpah dan kolam pemecah energi
  - Pengecekan semua sistem operasi pada embung dengan melakukan pengoperasian pada katup.
  - Pengecekan saluran pengambilan dari kebocoran serta debit yang dihasilkan.
- Inspeksi Mendadak

Pengecekan mendadak dilakukan apabila terjadi bencana seperti banjir besar atau gempa dimana pengecekan pada umumnya dilakukan secara visual.

## 6.7 Masalah yang Membahayakan Embung

Beberapa masalah yang membahayakan embung perlu diperhatikan dalam inspeksi, antara lain:

- a) Daerah basah karena rembesan melalui:
  - 1) Urukun tubuh embung
  - 2) Fondasi
- b) Daerah basahan memanjang di tubuh embung
- c) Retakan melintang di tubuh embung
- d) Retakan memanjang di tubuh embung :
  - 1) Yang lurus
  - 2) Yang lengkung
- e) Retakan susut
- f) Erosi alur di tubuh embung
- g) Tumbuhan tinggi di tubuh embung
- h) Tumbuhan tinggi di saluran pelimpah
- i) Runtuhan di saluran pelimpah
- j) Erosi alur di pelimpah
- k) Gerusan lokal di pelimpah

### 6.7.1 Daerah Luas yang Basah Atau Menghasilkan Aliran

- a) Tanda:

Sering ditandai dengan tanaman yang tumbuh lebih subur daripada di tempat lain, dapat terjadi di lereng hilir tubuh embung atau di fondasi hilir.

- b) Penyebab:

Rembesan melalui tubuh embung atau fondasi.

- c) Tindakan:

- 1) Singkirkan tanamannya dan amatilah permukaan tanahnya.
- 2) Bila daerahnya basah laporkan segera kepada Dinas Pengairan setempat.

- d) Akibat:

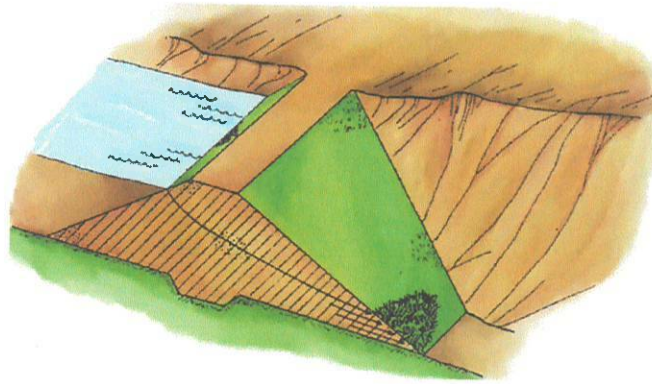
Daerah tanaman yang basah dapat menyebabkan terjadinya longsoran lokal (*sloughing*) karena jenuh.

e) Teknik perbaikan

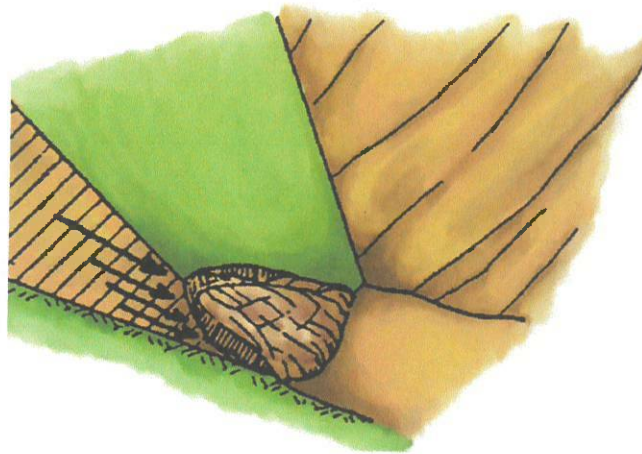
Di sekitar daerah basah perlu ditutup dengan urukan beban pengimbang (*counterweight*) lulus air yang landai.

Struktur urukan sebagai berikut :

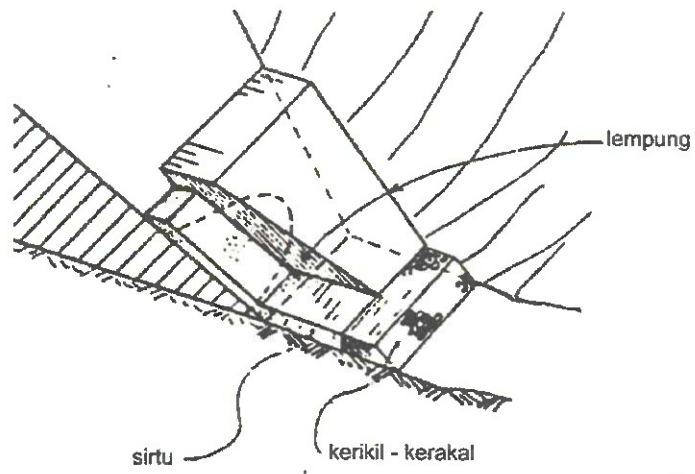
- 1) Paling bawah, langsung menutup daerah basah, urukan sirtu (campuran pasir-batu) atau pasir.
- 2) Di atas lapisan sirtu (pasir) adalah ditimbuni lapisan lempung dipadatkan.
- 3) Kaki luar beban pengimbang berupa urukan kerikil – kerakal.



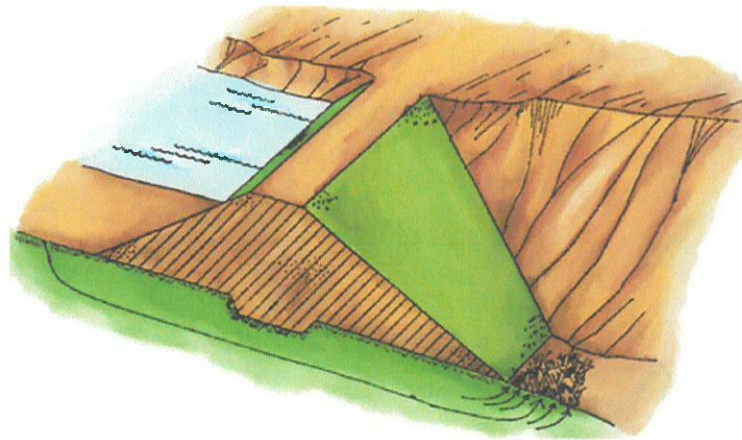
Gambar 49 Rembesan dalam urukan



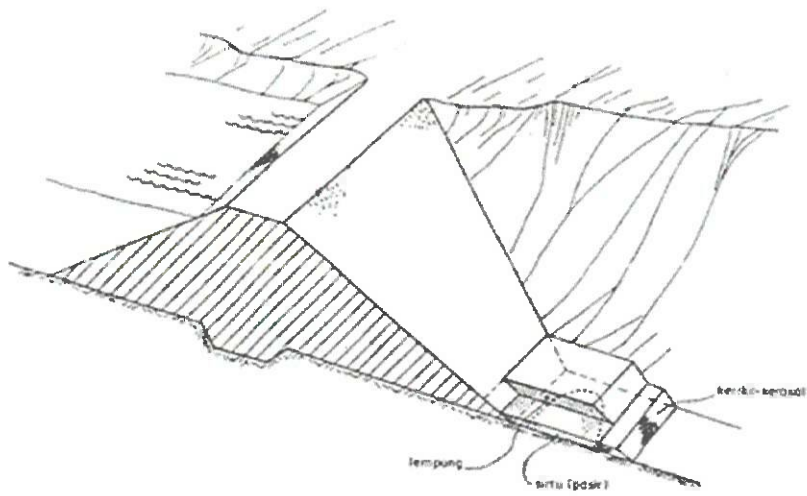
Gambar 50 "Sloughing" (LongSORan Lokal)



**Gambar 51 Teknik perbaikan rembesan dalam urukan dan longsor**



**Gambar 52 Rembesan lewat fondasi**



**Gambar 53 Teknik perbaikan rembesan lewat fondasi**

### 6.7.2 Deretan Mata Air Atau Basahan di Lereng Hilir Tubuh Embung

a) Tanda:

Mata air atau basahan terjadi secara memanjang, relatif sempit, dan berarah horisontal.

b) Penyebab:

Adanya lapisan urukan lulus air di antara urukan lempung, sehingga terjadi rembesan.

c) Tindakan:

Laporkan kepada Dinas setempat yang terkait.

d) Akibat:

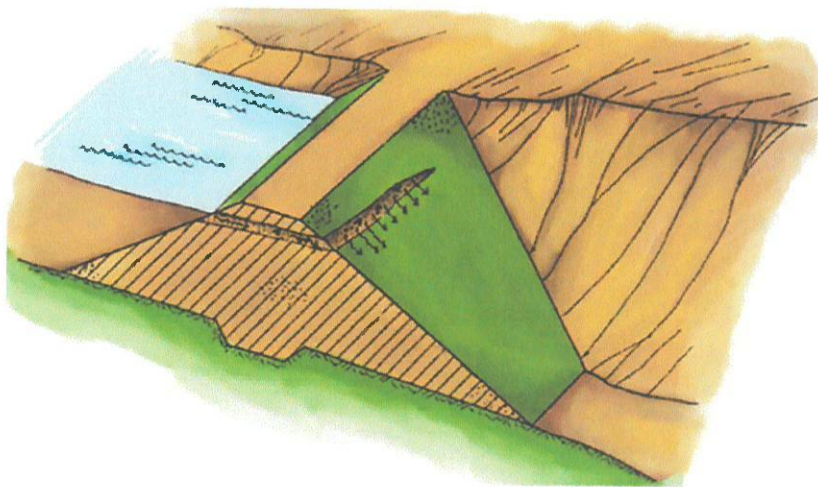
1) Erosi buluh pada lapisan lulus air, dan selanjutnya merusakkan tubuh embung.

2) Bocoran (kehilangan) air kolam/ tampungan.

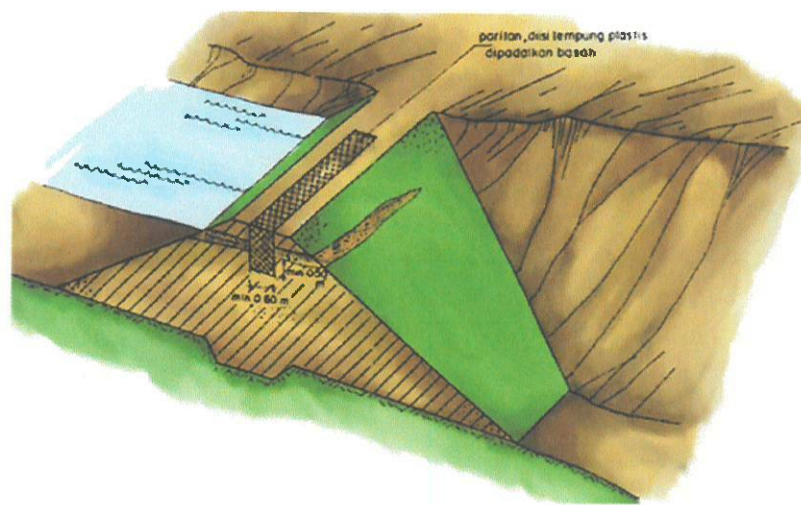
a) Teknik perbaikan:

1) Buat paritan sejajar sumbu embung, dari puncak embung vertikal ke bawah menembus lapisan lulus air, lebar parit minimal 0,6 m, dasar parit mencapai minimal 0,5 m di bawah lapisan lulus air,

2) Isilah paritan dengan bahan lempung plastis yang dipadatkan dalam keadaan basah.



Gambar 54 Daerah basahan/mata air memanjang



Gambar 55 Teknik perbaikan daerah basahan

### 6.7.3 Retakan Melintang

a) Tanda:

- 1) Retakan terbuka di puncak embung, dari hulu ke hilir.
- 2) Air dapat mengalir dari kolam embung ke lereng hilir, sehingga terlihat sebagai mata air.

b) Penyebab:

Penurunan urukan tidak merata.

c) Tindakan:

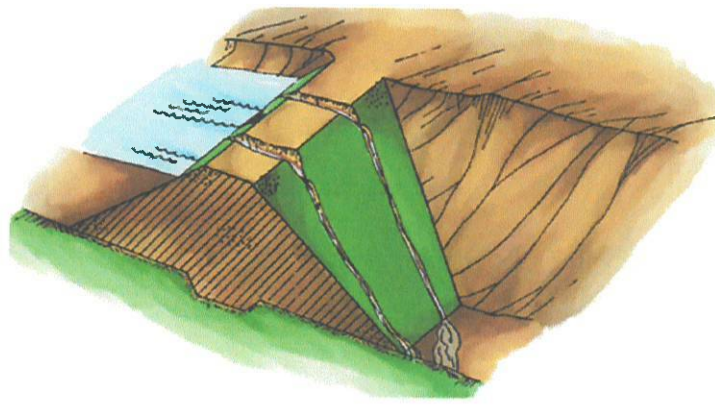
Laporkan kepada Dinas setempat yang terkait.

d) Akibat:

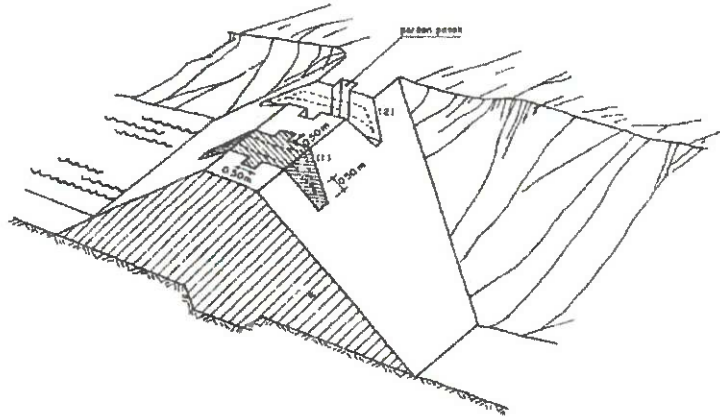
- 1) Erosi dapat memperlebar dan memperdalam retakan,
- 2) Air hujan dapat merembes dan menjenuhkan tubuh embung,
- 3) Bocoran (kehilangan) air dari kolam.

e) Teknik Perbaikan:

- 1) Buat paritan sepanjang retakan dan buatlah parit pasak di tengahnya,
- 2) Isi parit dengan urukan lempung plastis yang dipadatkan dalam keadaan basah.



**Gambar 56 - Retakan Melintang**



**Gambar 57 - Teknik Perbaikan Retakan Melintang**

#### **6.7.4 Retakan Memanjang Lurus Atau Lengkung di Tubuh Embung**

a) Tanda:

Retakan di puncak embung sejajar sumbu biasanya terbuka lebar dan dalam.

b) Penyebab:

- 1) Bila lurus merupakan penurunan tidak merata, misal antara zona urukan,
- 2) Bila lengkung merupakan awal longsoran.

c) Akibat:

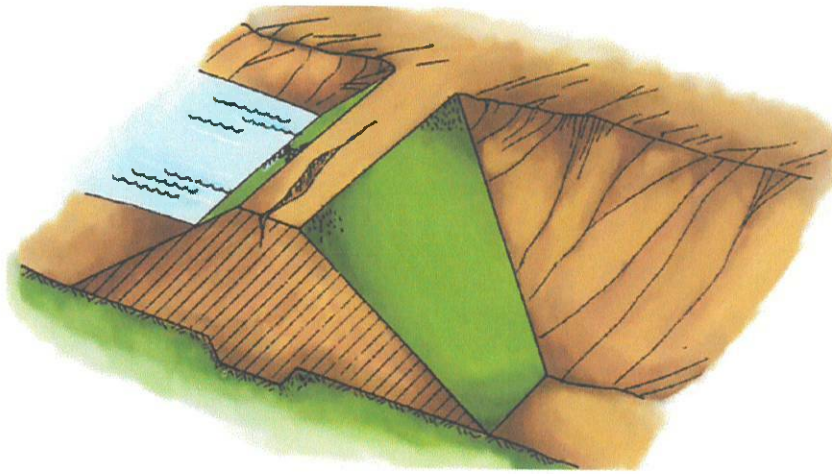
Air hujan dapat merembes dan menjenuhkan urukan serta dapat memicu terjadinya longsoran.

d) Tindakan:

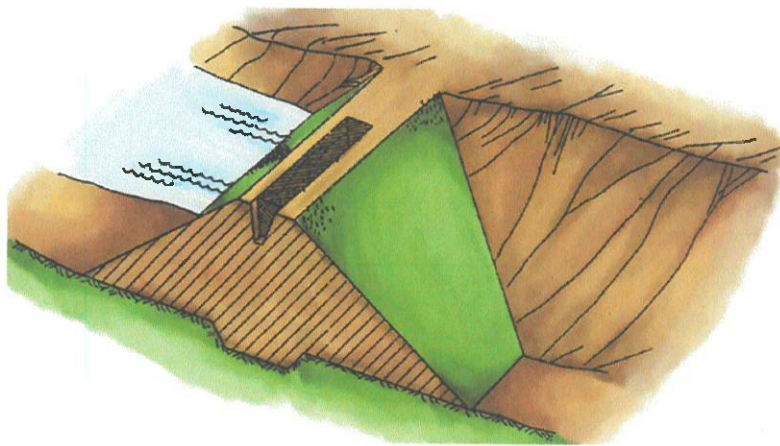
Laporkan kepada Dinas setempat yang terkait.

e) Teknik Perbaikan:

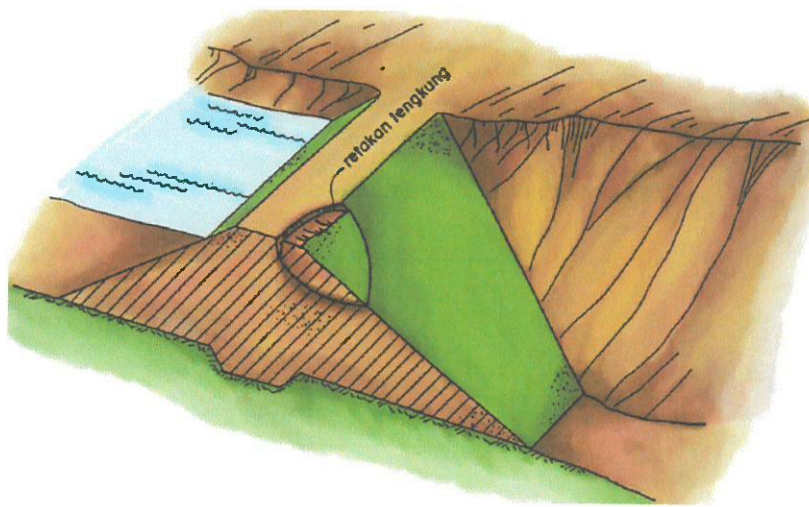
- 1) Retakan lurus,
- 2) Buat paritan dan isi dengan lempung plastis dipadatkan basah,
- 3) Retakan lengkung,
- 4) Kupas sampai ke dasar gerakan, dan isi kembali dengan bahan yang sesuai dan dipadatkan dengan baik.



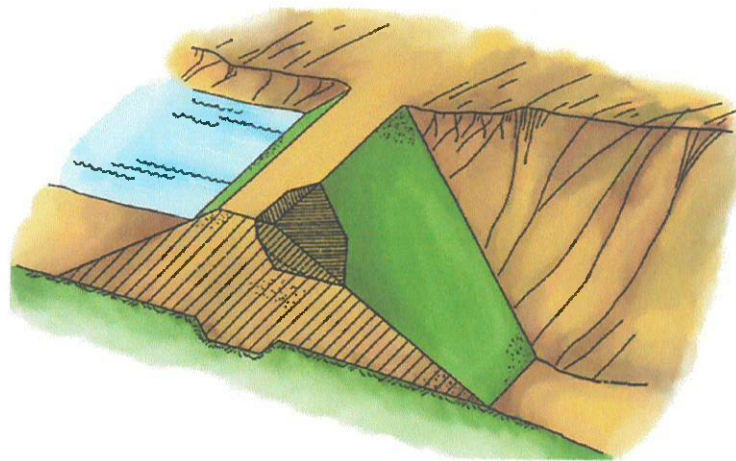
**Gambar 58 - Retakan memanjang lurus**



**Gambar 59 - Teknik perbaikan memanjang lurus**



**Gambar 60 - Retakan memanjang lengkung**



**Gambar 61 - Teknik perbaikan retakan memanjang lengkung**

#### **6.7.5 Retakan Susut di Tubuh Embung**

a) Tanda:

Retakan biasanya pendek, dangkal, sempit, banyak, dan berarah tidak teratur.

b) Penyebab:

Perubahan kadar air terutama karena panas matahari.

c) Akibat:

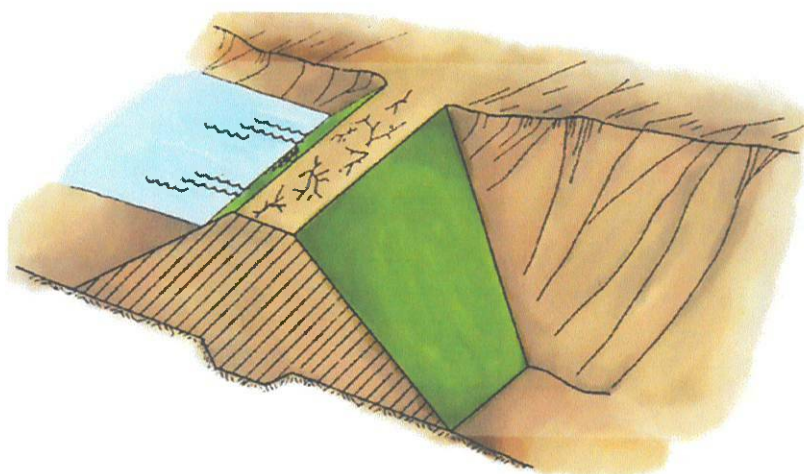
Meresapkan air hujan ke dalam urukan.

d) Tindakan:

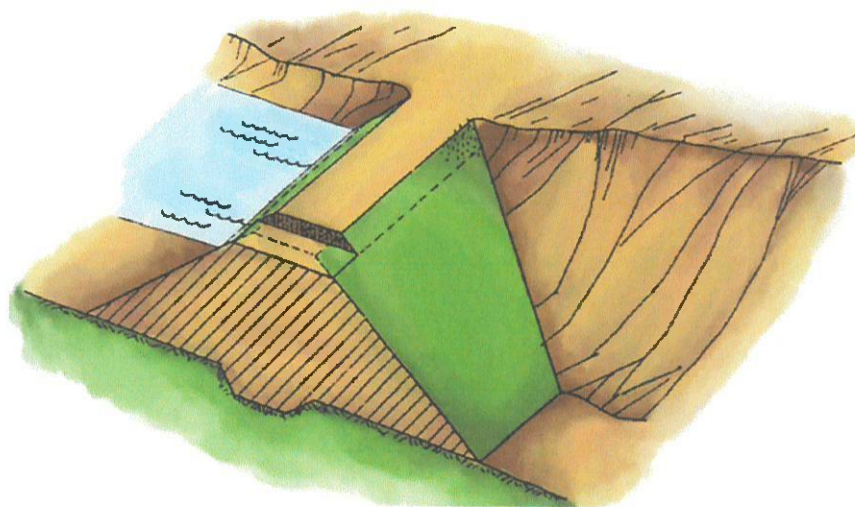
Laporkan kepada Dinas setempat yang terkait.

e) Teknik Perbaikan:

Kupas lapisan permukaan, dan urug kembali dengan bahan bukan lempung seperti: sirtu, pasir.



Gambar 62 - Retakan susut



Gambar 63 - Teknik perbaikan retakan susut

### 6.7.6 Erosi Alur di Tubuh Embung

a) Tanda :

Adanya alur bekas erosi di lereng tubuh embung dari puncak ke bawah, biasanya makin ke bawah makin lebar.

b) Penyebab :

- 1) Pelindung erosi tidak berfungsi baik (rumput atau pelindung yang lain),

2) Muka lereng tidak merata, sehingga permukaan yang rendah menjadi jalan air hujan.

c) Akibat :

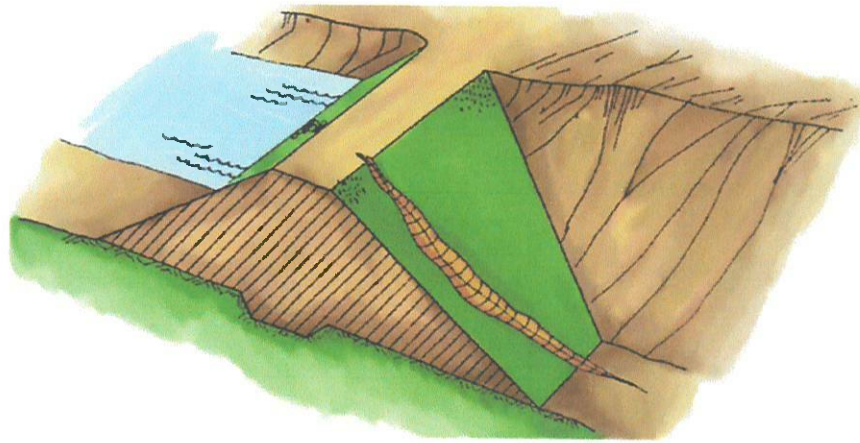
Bila dibiarkan alur dapat semakin dalam dan lebar sehingga dapat mengurangi tinggi jagaan, mengurangi lebar tubuh embung dan merusak jalan di puncak.

d) Tindakan:

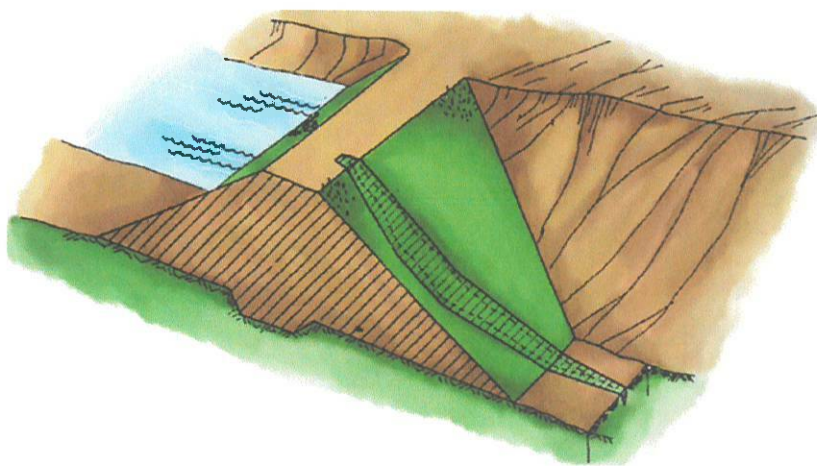
Laporkan kepada Dinas setempat yang terkait.

e) Teknik Perbaikan:

- 1) Bersihkan alur dan urug kembali dengan bahan sejenis,
- 2) Ratakan muka lereng tubuh embung.



**Gambar 64 - Alur erosi di tubuh embung**



**Gambar 65 - Teknik perbaikan erosi di tubuh embung**

### 6.7.7 Tumbuhan Tinggi di Tubuh Bendung Embung

a) Tanda:

Tanaman yang tumbuh tinggi lebih dari 0,50 m dapat berupa: rumput, semak, tanaman keras.

b) Penyebab:

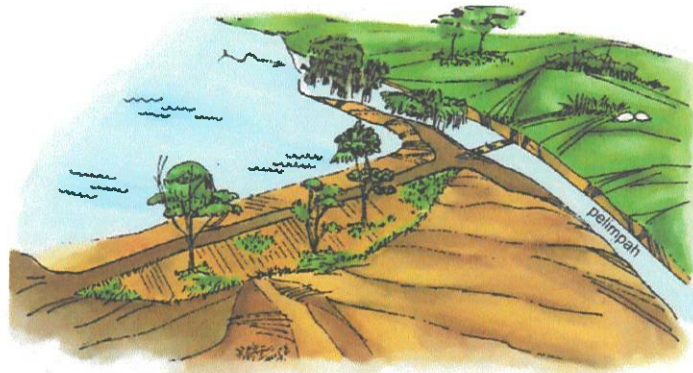
Perbedaan benih vegetasi dan pemeliharaan kurang memadai

c) Akibat:

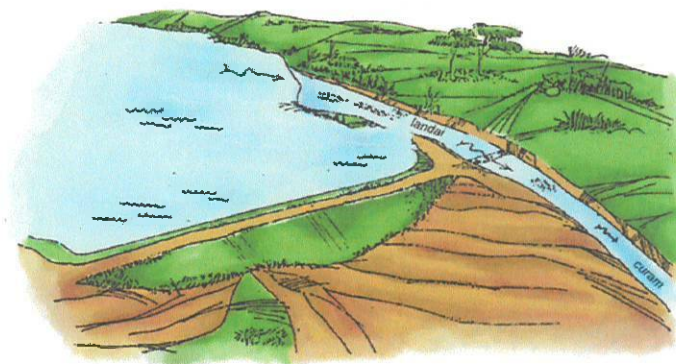
- 1) Menyulitkan pengamatan visual (inspeksi)
- 2) Akar tanaman dapat menembus tubuh embung, sehingga menjadi lintasan air.

d) Tindakan:

- 1) Singkirkan semua jenis tanaman yang (dapat) tumbuh lebih dari 0,50 m termasuk akarnya,
- 2) Buang bongkaran tanaman ke luar daerah embung,
- 3) Tanam rumput di tempat bekas tanaman.



Gambar 66 - Tumbuhan Tinggi di Tubuh Embung dan Pelimpah



Gambar 67 - Tubuh embung dan saluran pelimpah setelah dibersihkan dari tumbuhan tinggi

### 6.7.8 Runtuhan di Saluran Pelimpah

a) Tanda :

Tumpukan tanah menutup sebagian atau seluruh saluran pelimpah.

b) Penyebab :

- 1) Hasil erosi dari lereng saluran atau bukit di atasnya,
- 2) Longsoran tebing saluran.

c) Akibat :

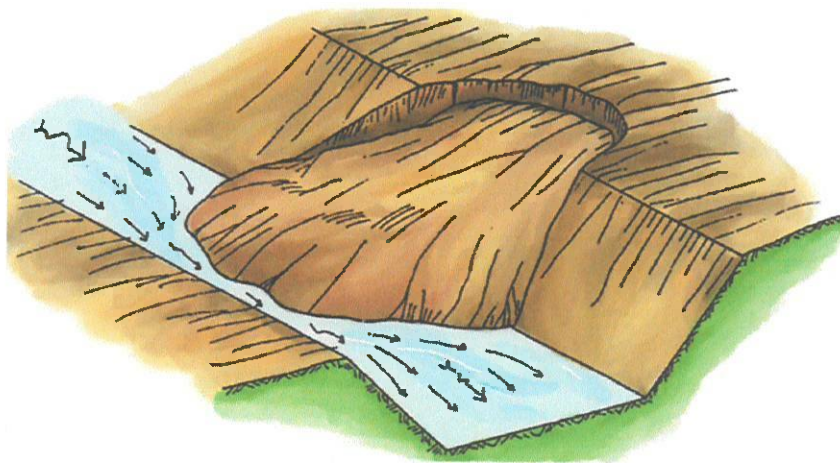
Menghalangi aliran banjir sehingga dapat menyebabkan peluapan pada puncak embung.

d) Tindakan :

- 1) Buang tumpukan tanah ke luar saluran pelimpah sehingga tidak akan terangkut aliran kembali ke pelimpah,
- 2) Kalau tumpukan tanah merupakan longsoran laporkan ke Dinas setempat yang terkait.

e) Teknik Perbaikan :

- 1) Bila longsoran, buang runtuhannya hingga ke bidang gerakan,
- 2) Isi kembali galian tersebut dengan tanah yang sesuai untuk urukan dan dipadatkan.



Gambar 68 - Runtuhan menutup saluran pelimpah

### 6.7.9 Alur Erosi di Pelimpah

a) Tanda :

Adanya alur bekas erosi di dasar saluran pelimpah berarah sejajar sumbu saluran luncur pelimpah.

b) Penyebab :

- 1) Proteksi erosi kurang berfungsi,
- 2) Dasar saluran kurang rata.

c) Akibat :

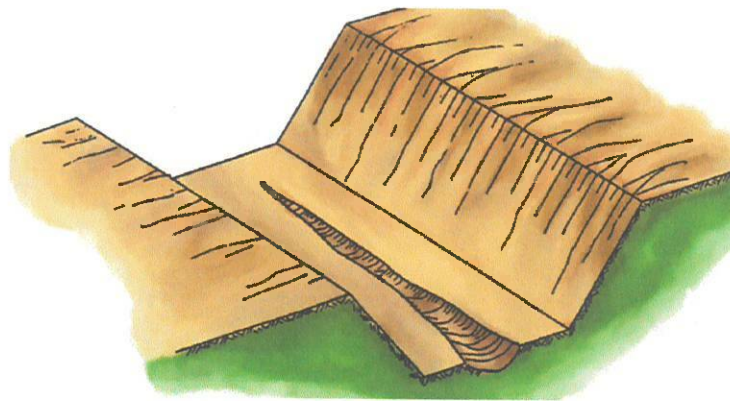
- 1) Alur erosi berkembang makin lebar, makin dalam, dan makin panjang menuju ke hulu,
- 2) Dapat mengakibatkan longsoran,
- 3) Bila berkembang ke hulu hingga ke kolam embung akan mengakibatkan kehilangan air karena daya tampung embung berkurang.

d) Tindakan :

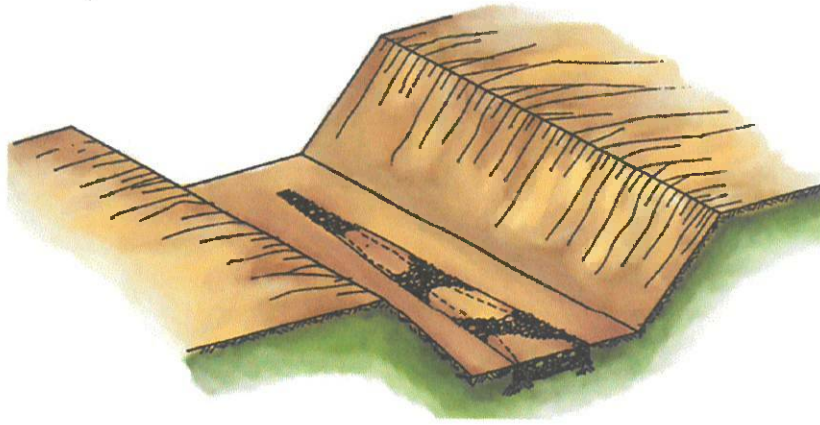
Laporkan kepada Dinas setempat yang terkait.

e) Teknik Perbaikan :

- 1) Tutuplah alur dengan bahan kerikil – kerakal,
- 2) Ratakan dasar saluran pelimpah.



Gambar 69 - Alur erosi di pelimpah



**Gambar 70 - Teknik perbaikan erosi di pelimpah**

#### **6.7.10 Gerusan Lokal di Pelimpah**

**a) Tanda :**

Lubang setempat di dasar pelimpah, biasanya dalam, area terbatas, dan membentuk tangga (kaskade).

**b) Penyebab :**

- 1) Proteksi erosi kurang memadai,
- 2) Dasar saluran tidak rata, sedikit membentuk tangga.

**c) Akibat :**

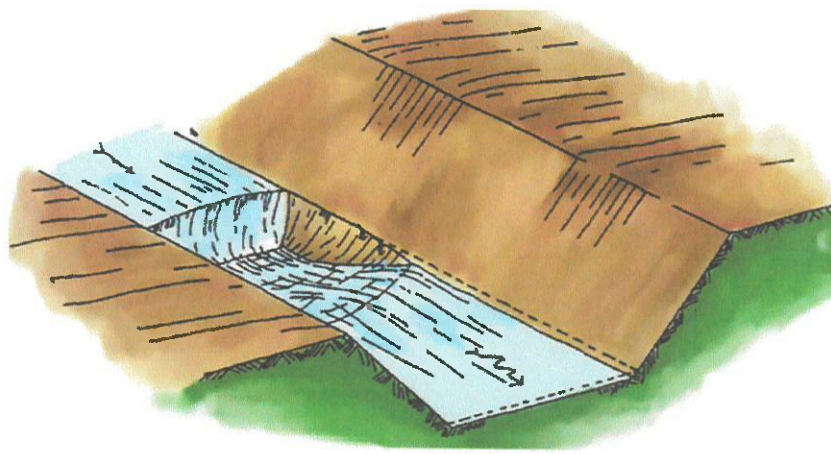
- 1) Gerusan dapat makin dalam sehingga dapat mengakibatkan longsoran,
- 2) Gerusan dapat berkembang ke hulu, sehingga dapat membahayakan tubuh embung, dan bila mencapai kolam dapat mengakibatkan kehilangan air karena daya tampung embung berkurang.

**d) Tindakan :**

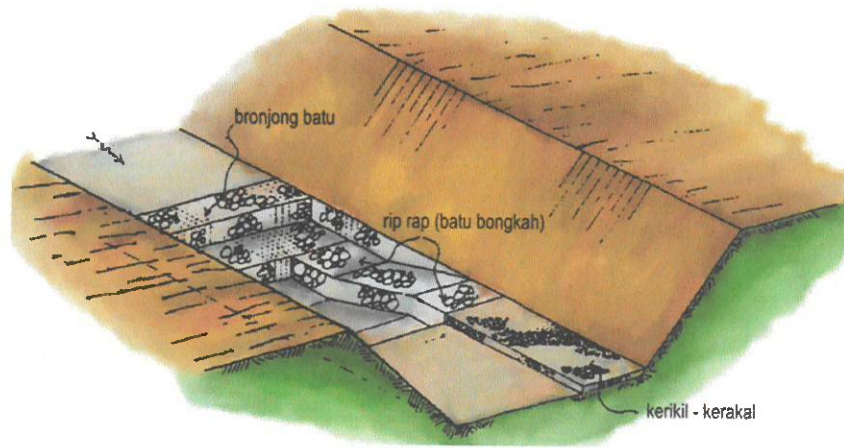
Laporkan kepada Dinas setempat yang terkait.

**e) Teknik Perbaikan :**

- 1) Tutuplah lubang dengan batu ukuran bongkahan,
- 2) Bila perlu gunakan beronjong.



Gambar 71 - Gerusan lokal di pelimpah



Gambar 72 - Teknik perbaikan gerusan lokal di pelimpah

## 6.8 Instrumentasi

Instrumentasi embung adalah segala jenis peralatan atau instrument yang dipasang di dalam tubuh dan atau fondasi embung atau di tempat-tempat lain yang terutama dimaksudkan untuk melakukan pemantauan terhadap perilaku embung secara berkesinambungan.

Kegagalan embung bisa dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kategori, yaitu kegagalan hidrolis, kegagalan akibat rembesan dan kegagalan structural. Kegagalan tersebut bisa diakibatkan oleh faktor-faktor internal, eksternal atau keduanya yang dapat menyebabkan terjadinya deformasi pada tubuh maupun fondasi embung. Deformasi dapat terjadi akibat proses konsolidasi dan atau rayapan jangka panjang yang seringkali ditunjukkan atau didahului oleh adanya kelainan atau kenampakan-kenampakan yang dinilai menyimpang dari kebiasaan

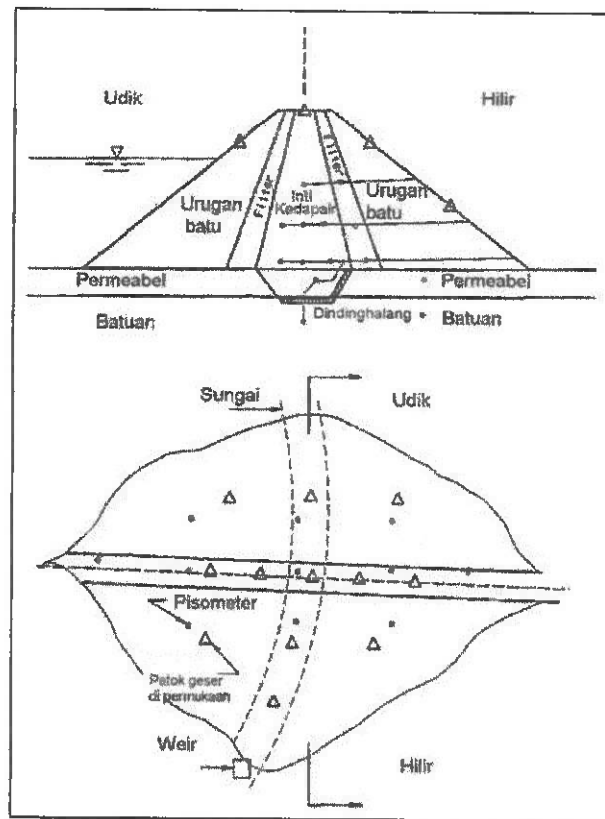
(kecenderungan) yang ada. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem dan metode pemantauan untuk mengetahui perubahan atau perkembangan perilaku embung setiap saat.

Instrumentasi ini khususnya diperlukan untuk embung di dalam alur sungai dengan tipe urugan. Beberapa instrumentasi yang diperlukan adalah alat ukur tekanan air pori, alat ukur rembesan, dan alat ukur pergerakan.

**a. Lokasi Instrumen**

Lokasi instrumen harus ditentukan berdasarkan perkiraan perilaku pada lokasi yang ditentukan. Lokasi harus cocok dengan kondisi geoteknik dan metode analisis yang akan digunakan untuk interpretasi data. Pertimbangan praktis untuk memilih lokasi instrumen mencakup:

- 1) Identifikasi zona-zona bagian khusus misalnya daerah yang strukturnya lemah yang dibebani sangat berat, harus ditempatkan instrumentasi yang cocok.
- 2) Memilih zona yang dapat mewakili penampang melintang tipikal, yang diperkirakan dapat mewakili perilaku keseluruhan (secara tipikal, satu penampang melintang akan berada atau mendekati tinggi maksimum embung, dan satu atau dua penampang lainnya akan berada pada lokasi yang tepat).
- 3) Identifikasi zona-zona yang mengandung diskontinuitas dalam fondasi.
- 4) Memasang beberapa instrumen tambahan pada lokasi-lokasi lain yang berpotensi kritis sekunder untuk menunjukkan perilaku pembanding.
- 5) Menempatkan patok-patok tanda survei pada jarak interval dalam arah memanjang (longitudinal) pada elevasi yang tepat.
- 6) Jika perilaku dari salah satu atau lebih lokasi sekunder penampang utama menunjukkan perbedaan yang signifikan, tenaga ahli desain juga harus menyediakan instrumen tambahan pada lokasi-lokasi sekunder tersebut. Pemilihan lokasi tersebut harus mempertimbangkan kelangsungan fungsi instrumen. Kerusakan pada instrumen atau kabel selama konstruksi berlangsung harus dicegah dengan cara membuat desain yang baik serta perlindungan sementara dan permanen pada bidang permukaan terbuka. Perlindungan terhadap kerusakan juga harus merupakan bagian dari desain.



Gambar 73 Contoh *Lay Out* Penempatan Instrumen pada Embung

**b. Kalibrasi Instrumen**

Kalibrasi instrument adalah mencocokkan kinerja dan ketepatan pembacaan instrumen dengan peralatan standar. Selain penerapan parameter-parameter tertentu dan terukur sesuai standar, kalibrasi dapat pula berarti pengujian awal fungsi instrument yang dilakukan segera setelah instalasinya. Secara umum, kalibrasi instrumentasi dilakukan dalam 3 tahap, yaitu:

- 1) **Kalibrasi Pabrik** yang dilakukan sebelum pengiriman instrument kepada calon pengguna. Kalibrasi ini seringkali tidak diberikan oleh Pabrik secara otomatis, oleh karena itu harus diminta/disebutkan di dalam dokumen pembelian, termasuk jaminan mutu dan pelayanan purna jualnya.
- 2) **Kalibrasi Lapangan** yakni pada saat instrument diserahkan/diterimakan kepada pengguna. Bila tidak dapat dilakukan secara komprehensif, kalibrasi ini bisa berupa uji pembacaan/pengukuran segera setelah instrument terpasang.
- 3) **Kalibrasi Penggunaan** yang dilakukan dalam rangka mengecek fungsi dan ketepatan pembacaan intrumen selama masa penggunaannya dan bisa dilakukan secara insitu atau dibawa ke Laboratorium dengan jadwal yang teratur.

**c. Perawatan Instrumen**

Berikut ini adalah hal-hal yang perlu dicermati dalam merawat instrument:

- 1) Instrumen harus diusahakan tetap bersih dan kering agar dapat berfungsi lama dan dapat diandalkan.
- 2) Bagian-bagian tertentu yang bergerak/berputar harus dibersihkan dan diminyaki secara teratur pada selang waktu tertentu.
- 3) Pita-pita ukur harus dicuci setelah digunakan agar terhindar dari bahan-bahan pengikis dan/atau bahan-bahan kimia yang dapat menyebabkan karat.
- 4) Baterai (aki) yang digunakan untuk peralatan baca harus diupayakan agar tidak mati dengan cara mengecek/mengisi air aki secara teratur. Hal ini untuk mencegah pengaruhnya terhadap memori pembacaan.
- 5) Tutup dan sumbat yang digunakan pada peralatan baca harus dibersihkan dan diganti, yakni apabila peralatan sedang tidak digunakan.
- 6) Komponen-komponen elektrik dan menarik pada peralatan baca, hendaknya dijaga secara hati-hati, baik penempatan/penyimpanannya, pengangkutannya maupun instalasinya.

#### **6.8.1 Alat Ukur Tekanan Air Pori**

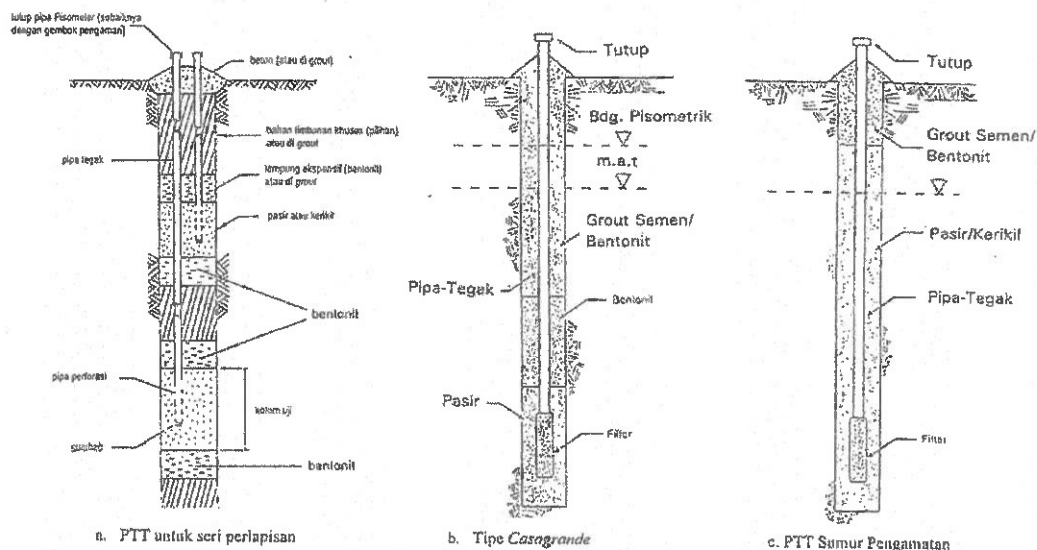
Pisometer digunakan untuk mengukur tekanan air pori pada batuan fondasi embung pada umumnya berupa tekanan air pori antara lain digunakan untuk menentukan stabilitas lereng timbunan, memantau efektifitas dan kualitas sistem drainase dan pemadatan, efektifitas upaya penurunan muka air tanah pada penggalian, pemantauan rembesan dan gerakan air tanah, dan lain-lainnya.

Selain untuk mengukur tekanan air pori, Pisometer jenis Pipa Tegak Terbuka dapat digunakan pula untuk menentukan angka permeabilitas material di sekitarnya. Terdiri atas serangkaian pipa-pipa PVC berdiameter 0,5 inci yang dimasukkan ke dalam lubang bor. Bagian bawah rangkaian pipa dapat berupa pipa bercelah (jenis Pipa-Celah), berpori (jenis Pipa Pori-Pori) atau dilengkapi dengan TIP dari bahan filter. Ujung atas selain dilindungi dengan pipa-lindung jenis galvanis atau dicor dengan beton, juga dilengkapi dengan tutup pengaman.

Akibat tekanan air pori di sekitar pisometer, air dapat masuk ke dalam rangkaian pipa lewat celah-celah, lubang pori atau TIP, hingga tercapai keseimbangan antara tekanan air di dalam dan di luar pipa. Besarnya tekanan air pori di tempat tersebut kemudian dapat diukur dengan menggunakan alat/pita ukur atau dengan alat duga elektrik yang dihubungkan dengan sistem bunyi, lampu atau dengan *voltmeter*. Di bawah ini adalah gambar dari jenis-jenis pipa tegak terbuka dengan keterangan sebagai berikut.

- Gambar a adalah tipikal jenis Pipa-Celah atau Pipa-Pori yang khusus didesain untuk mengukur tekanan air pori dari berbagai lapisan tanah/batuan.
- Gambar b adalah jenis Tip dari filter yang lebih dikenal dengan jenis Casagrande
- Gambar c adalah jenis Tip dari filter yang sering digunakan untuk sumur-sumur pengamatan.

Pada lapisan kedap air, respons pengukuran pada awal pembacaan biasanya dipercepat dengan cara mengisi rangkaian pipa dengan air sampai ke elevasi tertentu, kemudian dilakukan pembacaan penurunan muka air pada selang-selang waktu yang sudah ditentukan untuk menentukan kapan atau pada elevasi berapa tercapainya keseimbangan. Mengingat lokasi TIP berada di dalam timbungan, maka perawatan Pisometer ini sebatas pada pembersihan Probe (alat ukur) dan baterai.



Gambar 74 Jenis-jenis Pipa Tegak Terbuka

Cara pemasangan biasanya dilakukan dengan bantuan mesin bor, tetapi ada juga dapat ditekan ke dalam lapisan tanah yang lunak. Tekanan air pori dihitung sebagai perbedaan elevasi muka air di dalam pipa dengan elevasi mata pisometer, yang diukur secara manual menggunakan alat ukur (dipmeter).

### 6.8.2 Alat Ukur Rembesan

Pengukuran atau pemantauan rembesan lewat fondasi, tubuh dan kedua bukit tumpuan embung, baik kualitas maupun kuantitasnya, merupakan salah satu hal penting dalam rangka mengetahui kondisi umum kaitannya dengan stabilitas embung. Oleh karena itu, desain embung pada umumnya telah mencakup sistem drainase, sistem penampungan berikut

pengukurannya. Sistem penampungan tersebut bisa dibuat per bagian sesuai dengan bentuk topografi fondasi embung atau dengan membuat dinding-dinding sekat (*cut off walls*).

Pengukuran rembesan lewat saluran pipa atau bak penampungan dapat dilakukan dengan salah satunya adalah menggunakan bendung dengan ambang tajam. Pelat untuk ambang tajam ini biasanya terbuat dari baja tahan karat (*Consteel 316*) atau pelat tembaga dengan ketebalan 1 – 2 mm. Bendung dengan ambang-tajam yang biasa dan sering digunakan adalah jenis V-Notch. Bila laju rembesan berkisar antara 5 – 10 lt/dtk biasanya digunakan jenis V-Notch bersudut 22,5° - 45°, walaupun ada kemungkinan penyumbatan. Titik nol pada mistar ukur untuk berbagi sistem di set pada dasar ambang. Papan duga atau *Peil Schaal* hendaknya terbuat dari enamel atau metal tahan karat. Besarnya air rembesan bisa dihitung dengan menggunakan rumus atau dengan cara mengkonversikan ketinggian limpasan air di atas ambang dengan tabel konversi yang telah tersedia. Untuk itu, dimensi V-Notch, ketebalan dan ketajaman ambang serta tata letak alat-alat ukur harus betul-betul sesuai standar. Bila tidak, debit air limpasan di atas ambang harus dikalibrasi dengan gelas ukur atau wadah terkalibrasi.



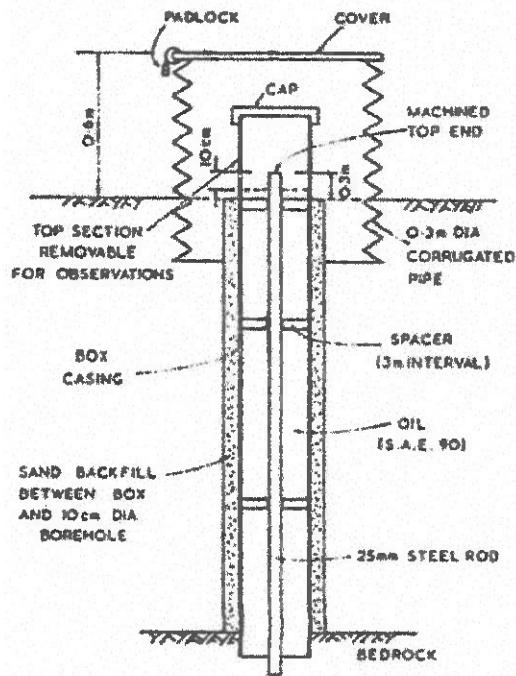
**Gambar 75 V-Notch**

### 6.8.3 Alat Ukur Pergerakan

Alat ukur pergerakan ini bernama Patok Geser (*Surface Monuments*). Alat ini berupa patok/monument dipasang untuk mengukur pergerakan permukaan tanah (vertical dan horisontal) di sekeliling struktur yang diamati, misalnya di bagian puncak dan lereng embung. Patok/ monument tersebut harus cukup kuat tertanam, stabil dan mudah diakses oleh petugas pengukur.

Alat pengukur pergerakan permukaan atau *Surface Movement Devices (SMD)*, digunakan untuk memantau gerakan horisontal dan vertikal dari embung, fondasi, dan bangunan-bangunan pelengkap lainnya. Instrument ini berupa unit/ alat yang sederhana. Umumnya, terdiri dari beton yang dicor ke dalam lubang-lubang bor. Sedangkan baja tulang atau angker

diikatkan dalam "Survey Monument" beton. Kedalaman lubang tergantung dari posisinya, tetapi pada umumnya minimum sebesar 1,20 m.



Gambar 76 Patok Geser Permukaan (*Surface Monuments*)

Suatu titik tetap (*Bench Mark*) pada bangunan yang ada (lama) dapat dipakai sebagai titik pengukuran awal (referensi) pada arah horisontal maupun vertikal. Titik-titik tetap tersebut sebagai titik referensi sebaiknya dibuat di luar dari bagian yang masih dapat dipengaruhi oleh pergerakan dari bangunan yang diukur. Paling tidak diperlukan dua buah titik tetap yang secara periodik diperiksa ketelitiannya. Dengan bertambahnya kemajuan di bidang elektronika maka telah ditemukan alat pengukur jarak dan perpindahan horisontal yang lebih teliti. Cara pengukuran dapat dilakukan dengan dengan cara tertutup, yakni melakukan pengukuran terhadap titik-titik SMD yang diikat pada dua titik referensi (BM). Hasil pengukuran pada 3 arah (X, Y dan Z) pada waktu tertentu dapat diketahui dengan membandingkan dengan hasil pengukuran awal yang telah dibuat. Perlu diperhatikan agar di dalam menentukan titik referensi atau titik-titik BM, lokasinya supaya terletak di luar daerah yang di pengaruhi oleh bangunan tersebut

## **6.9 Struktur Organisasi Pelaksana Operasi dan Pemeliharaan**

Syarat utama agar operasi dan pemeliharaan suatu embung dapat dilaksanakan secara layak, efektif dan efisien adalah adanya wadah berupa organisasi yang dapat mengatur pemberian tugas dan tanggung jawab yang jelas serta prosedur pelaporan yang teratur.

Organisasi pelaksana O & P juga harus didukung oleh staf pelaksana yang memadai secara kuantitas maupun kualitas. Untuk itu diperlukan suatu program pelatihan berikut pelaksanaannya serta didukung dengan sarana dan peralatan yang dibutuhkan guna menunjang pelaksanaan tugas personil pelaksana O & P di lapangan. Jenis dan periode pelatihan yang sesuai perlu dijadwalkan dalam rangka menjaga dan meningkatkan kemampuan personil yang bersangkutan.

Bagian-bagian yang terlibat dan terkait dalam organisasi pelaksana O & P Embung antara lain adalah:

- 1) Bagian Operasional (termasuk Sekuriti)
- 2) Bagian Pemeliharaan Bangunan dan Peralatan
- 3) Bagian Pemantauan dan Pengamatan Embung dan Bangunan

Secara umum, personil pelaksana O & P Embung dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok personil sebagai berikut:

- 1) Personil Tetap : Untuk melaksanakan kegiatan rutin operasi, pemeliharaan, pemantauan dan pengelolaan embung, termasuk di dalamnya petugas sekuritu embung.
- 2) Personil Tidak Tetap : Adalah "pekerja lepas" atau sebagai kontraktor dana tau sub-kontraktor yang melaksanakan sejumlah kegiatan yang berhubungan dengan pekerjaan pemeliharaan/perbaikan.

## **6.10 Perencanaan Biaya O & P Embung**

Biaya O & P Embung adalah segala biaya yang dibutuhkan/dikeluarkan untuk membiayai kegiatan O & P Embung dalam rangka mengoptimalkan fungsi dan manfaat Embung berikut bangunan prasarananya sesuai dengan umur layanan yang telah direncanakan serta menjaga kondisi keamanannya.

Besarnya biaya pokok O & P Embung tergantung kepada dimensi, kondisi dan umur embung beserta bangunan pelengkap dan prasarana lainnya. Dalam rangka menunjang program keamanan embung secara berkesinambungan dan sekaligus menjaga konsistensi layanan

operasionalnya, maka perencanaan biaya O & P embung perlu disiapkan untuk jangka panjang.

Biaya O & P embung biasanya dihitung berdasarkan komponen-komponen yang secara teknik memang memerlukan pemeliharaan. Pada periode-periode tertentu, biaya O & P tahunan embung biasanya meningkat sebagai akibat dari adanya penyusutan, keausan atau kerusakan yang terjadi seiring dengan bertambahnya umur layanannya. Oleh karena itu, biaya pokok tersebut harus ditinjau dan dievaluasi lagi, biasanya setiap tahun oleh personil O & P dan atau setiap periode yang dilaksanakan oleh unit yang memonitor keamanan embung.

Perhitungan dan perencanaan biaya O & P embung untuk setiap tahunnya dapat dilakukan dengan cara membuat daftar atau melakukan inventarisasi terhadap komponen-komponen pokok yang perlu mendapatkan perbaikan, pemeliharaan dan perawatan secara kontinyu, termasuk jenis dan metode pemeliharaan dan atau perbaikan yang akan dilakukan. Evaluasi biaya yang dibutuhkan mencakup biaya langsung dan tak langsung serta biaya tak terduga, sebagai berikut:

#### **1) Biaya Langsung**

Biaya langsung adalah segala biaya yang disediakan dan akan digunakan untuk keperluan operasi dan pemeliharaan embung, antara lain untuk:

- Biaya perawatan /pemeliharaan rutin embung serta bangunan pelengkap dan prasarana lainnya.
- Biaya untuk Operasi dan Pemeliharaan Peralatan.
- Biaya untuk kegiatan pemantauan dan pengamatan, termasuk pembacaan dan perawatan sistem instrumentasi.
- Biaya untuk Upah dan Gaji karyawan, termasuk upah biaya untuk pengawasan.
- Biaya pembelian/penggantian peralatan dan bahan-bahan.
- Biaya untuk pekerjaan perbaikan dan atau rehabilitasi.
- Biaya untuk program pelatihan personil O & P.
- Dan lain-lain.

#### **2) Biaya Tak Langsung**

Adalah segala biaya yang disediakan untuk menunjang kelancaran pekerjaan dan atau kegiatan yang berkaitan dengan penyelenggaraan O & P embung, yang antara lain terdiri dari:

- Biaya Umum
- Biaya Perjalanan Dinas
- Biaya untuk cadangan/rencana pengembangan/rehabilitasi, dll.
- Depresiasi

### 3) Biaya Tak Terduga

Biaya tak terduga adalah dana yang dialokasikan khusus untuk mengantisipasi segala kejadian di luar perhitungan yang dapat menimbulkan kerusakan sehingga mengganggu kelancaran kegiatan O & P embung baik sebagian (partial) maupun secara keseluruhan. Kejadian di luar perhitungan tersebut diantaranya adalah bencana alam dan vandalisme. Antisipasi besar-kecilnya biaya tak terduga ini antara lain bisa diperkirakan dari berbagai faktor, antara lain seperti:

- Tingkat permasalahan yang dijumpai pada saat penyusunan desain dan pelaksanaan konstruksinya.
- Kondisi geoteknik di lokasi embung dan di sekitar genangan embung.
- Kondisi sosial ekonomi dan budaya masyarakat setempat.
- Kecanggihan teknologi dan kualitas peralatan yang digunakan.

Perencanaan biaya O & P jangka panjang dapat disusun berdasarkan atas *data base* serta asumsi-asumsi program pelayanan dan pengembangan untuk jangka panjang serta prakiraan tingkat inflasi. *Data base* tersebut dapat dibuat berdasarkan pengalaman operasional tahunan serta data aktual biaya pokok rutin O & P embung yang sudah berjalan ditambah pengalaman dari embung-embung lain yang sejenis.

## 7 Perhitungan Volume dan Biaya

Penghitungan Volume dan Biaya mengacu kepada *Lampiran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016 Tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum*. Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) adalah perhitungan kebutuhan biaya tenaga kerja, bahan dan peralatan untuk mendapatkan harga satuan atau satu jenis pekerjaan tertentu.

Adapun komponen pekerjaan embung di dalam alur sungai yang termasuk dalam pelaksanaan pembangunan embung tipe urukan seperti tabel berikut:

**Tabel 31 - Jenis pekerjaan untuk setiap komponen embung di dalam alur sungai**

No	Komponen	Jenis Pekerjaan				
		Tanah	Pasangan	Beton	Dewatering	dll.
1	Tubuh embung	✓			✓	✓
2	Bangunan Pengelak	✓	✓	✓	✓	✓
3	Bangunan pelimpah	✓	✓	✓	✓	✓
4	Kolam olak	✓	✓			✓

No	Komponen	Jenis Pekerjaan				
		Tanah	Pasangan	Beton	Dewatering	dll.
5	Bangunan pengambilan	✓	✓			✓

### 7.1 Volume Pekerjaan

Untuk mendapatkan besarnya RAB yang telah direncanakan, sebagai langkah awal adalah dengan menghitung volume pekerjaan yang berkaitan dengan pelaksanaan fisik yang akan dilaksanakan.

Untuk perhitungan kuantitas pekerjaan adalah dilakukan dengan menghitung setiap item pekerjaan berdasarkan gambar perencanaan dimana secara umum jenis pekerjaan tersebut adalah :

1) Pekerjaan tanah

Perhitungan volume dilakukan berdasarkan rerata luasan data potongan penampang desain tanah dengan dikalikan dengan jarak untuk setiap jenis kegiatan ataupun material jenis material yang digunakan dengan satuan kuantitas, yaitu  $m^2$  ataupun  $m^3$ .

2) Pekerjaan bangunan

Perhitungan volume dilakukan berdasarkan rerata luasan data potongan penampang desain bangunan yang mewakili bentuk dengan dikalikan jarak untuk setiap jenis kegiatan ataupun material yang digunakan dengan satuan kuantitas, yaitu  $m^2$  ataupun  $m^3$ .

3) Pekerjaan lainnya

Pekerjaan ini disesuaikan dengan sifatnya yang dihitung dalam bentuk satuan kuantitas, yaitu  $m^3$ ,  $m^2$ , buah, set ataupun lainnya.

### 7.2 Analisa Harga Satuan

Rencana Anggaran Biaya adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tertentu. Untuk membuat RAB konstruksi embung di dalam alur sungai diperlukan data antara lain :

a) Gambar Rencana

Untuk menghitung volume pekerjaan diperlukan gambar rencana yang baik dengan dimensi dan skala yang tepat. Gambar rencana yang diperlukan antara lain : denah, potongan memanjang, potongan melintang, dan detail.

b) Koefisien

Koefisien pada tabel AHSP dapat diambil dari *Lampuran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016 Tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum*.

### 7.2.1 Jenis Harga Satuan

Selain gambar rencana, harga satuan juga diperlukan dalam menghitung RAB suatu konstruksi. Harga satuan yang dimaksud adalah harga satuan bahan, harga satuan upah dan harga satuan peralatan. Harga satuan ini berbeda untuk masing-masing daerah di Indonesia.

a) Harga satuan bahan

Harga atau biaya satuan yang dibutuhkan untuk pengadaan suatu material yang dibutuhkan untuk pelaksanaan konstruksi.

b) Harga satuan upah

Harga atau biaya satuan yang dibayarkan kepada pekerja sebagai upah atas kerja yang dilakukannya (baik langsung ataupun tidak langsung). Upah langsung adalah upah yang langsung dibayarkan kepada pekerja berdasarkan tarif hariannya sesuai dengan lamanya bekerja, sedangkan upah tidak langsung meliputi pajak, asuransi, dan berbagai macam tunjangan.

c) Harga satuan peralatan

Harga atau biaya satuan yang dibutuhkan untuk pengadaan dan operasional semua peralatan yang digunakan untuk melaksanakan pekerjaan konstruksi (tidak termasuk biaya transportasi untuk mendatangkan dan mengembalikan peralatan, biaya mobilisasi, dan biaya demobilisasi).

### 7.2.2 Data Teknis

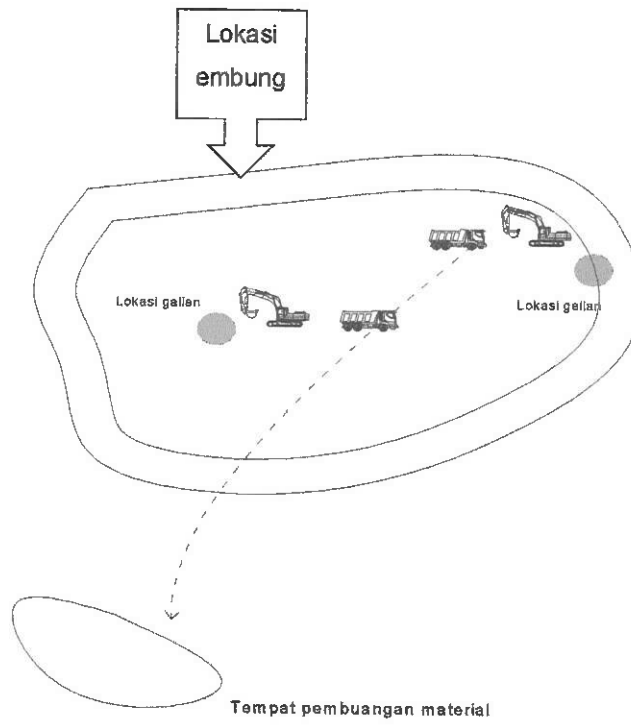
Berikut ini adalah contoh data teknis embung :

a) Kolam embung

- |                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| 1) Lokasi embung                   | : Desa xxx              |
| 2) Nama sungai                     | : kali xxx              |
| 3) Luas daerah aliran sungai (DAS) | : 0.103 km <sup>2</sup> |
| 4) Elv. muka air Maksimum (HWL)    | : + 107,00              |
| 5) Elv. muka air normal            | : + 106,00              |
| 6) Elv. muka air minimum (LWL)     | : + 100,00              |
| 7) Elv. muka air banjir (Q100 th)  | : + 102,00              |

- 8) Luas Daerah Genangan (pada HWL) : 2,71 ha
  - 9) Kapasitas Tampungan Total : 50.832 m<sup>3</sup>
  - 10) Kapasitas Tampungan Efektif : 46.695 m<sup>3</sup>
- b) Tubuh embung
- 1) Tipe embung : Urukan
  - 2) Elv. puncak : + 91
  - 3) Lebar atas/ puncak : 3.5 m
  - 4) Tinggi embung : 10 m
  - 5) Panjang as embung : 135 m
- c) Bangunan pelimpah
- 1) Tipe : Mercu bulat
  - 2) Elv. ambang : + 89.5
  - 3) Lebar ambang : 5,00 m
  - 4) Debit banjir rencana : 3.3 m<sup>3</sup>/s
  - 5) Bahan konstruksi : Pasangan batu kali
- d) Kolam olak
- 1) Tipe : USBR Type III
  - 2) Lebar kolam olak : 3 m
  - 3) Panjang kolam olak : 60.7 m
  - 4) Bahan konstruksi : Pasangan batu kali
- e) Bangunan pengelak
- 1) Tipe : Persegi
  - 2) Elv. dasar beton : + 100,00
  - 3) Dimensi : (2 x 1) m
  - 4) Bahan konstruksi : Beton
  - 5) Panjang saluran : 30 m

### 7.2.3 Analisa Jarak



Gambar 77 - Contoh denah lokasi embung

Tabel 32 Analisa Jarak

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1	Material hasil galian dimuat ke <i>Dump Truck</i>		m <sup>3</sup>	1.00		0
2	<i>Dump Truck</i> angkut material hasil galian sejauh 1 km		m <sup>3</sup>	1.00		0
3	Tanah dihampar, diratakan dan dirapihkan		m <sup>3</sup>	1.00		0

### 7.2.4 Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

Berikut adalah AHSP dengan nilai harga satuan dasar tenaga kerja di daerah tertentu. Untuk setiap daerah, harga dasar tenaga kerja tersebut mungkin akan berbeda satu sama lain dan dapat disesuaikan. Pekerjaan di bawah ini adalah pekerjaan pembangunan embung secara umum, namun bisa disesuaikan lagi dengan desain embung itu sendiri. AHSP di bawah ini adalah berdasarkan Lampiran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016 tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum.

a) Pekerjaan persiapan

1) Mobilisasi dan demobilisasi

L.04 Mobilisasi

Pelaksanaan mobilisasi/demobilisasi harus dilakukan sesuai dengan kebutuhan pelaksanaan pekerjaan yang berdasarkan tuntutan kondisi pekerjaan dan/atau lapangan.

**Tabel 33 AHSP Inverstigasi Lapangan**

L04a

Investigasi Lapangan

Lokasi tempat peralatan mempunyai tingkat kesulitan sedang dengan tersedianya akses jalan kecil

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
A	Tenaga Kerja					
1	Ahli alat berat (ahli madya)	L.14b	OH	1		
2	Pelaksana kegiatan (pemberi tugas)	L.16	OH	1		
3	Staf (kontraktor)	L.16	OH	2		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
B	Bahan					
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
C	Peralatan					
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
D	Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)					
E	Overhead & Profit (Contoh 15%) (15% x D)					
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					

**Tabel 34 AHSP Sewa Lahan**

L.04b

**Sewa Lahan**

Lahan yang diperlukan untuk base camp dan tempat alat berat diperlukan 1,5 ha atau sesuai kebutuhan  
Lama waktu penyewaan harus menghitung 1 bulan sebelum dan sesudah pelaksanaan pekerjaan

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
A Tenaga Kerja						
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
B Bahan						
Jumlah Harga Bahan						
C Peralatan						
1	Sewa lahan	-	ha-bulan	8		
Jumlah Harga Peralatan						
D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)						
E Overhead & Profit (Contoh 15%) (15% x D)						
F Harga Satuan Pekerjaan (D+E)						

**Tabel 35 AHSP Fasilitas**

L.04c

**Fasilitas**

Berdasarkan asumsi kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan diperlukan luas berbagai fasilitas seperti pada koefisien berikut ini

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
A Tenaga Kerja						
1	Petugas K3	L.16	OB	8		
2	Tenaga spesialis (seperti dokter/perawat)	L.16	OB	8		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
B Fasilitas Bangunan						
1	Poliklinik lapangan		m <sup>2</sup>	12		
Jumlah Harga Bahan						
C Peralatan						
1	Perabotan dan layanan: meja, kursi, dll		set	1		
Jumlah Harga Peralatan						
D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)						
E Overhead & Profit (Contoh 15%) (15% x D)						
F Harga Satuan Pekerjaan (D+E)						

**Tabel 36 AHSP Kebutuhan Lain-lain**

L.04d

**Kebutuhan Lain-Lain**

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
A Tenaga Kerja						
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
B Bahan						
1	Perkuatan jalan yang dilalui		LS	1		
2	Biaya pengaturan lalu lintas		LS	1		
3	Biaya transportasi peralatan*		LS	1		
Jumlah Harga Bahan						
C Peralatan						
Jumlah Harga Peralatan						
D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)						
E Overhead & Profit (Contoh 15%) (15% x D)						
F Harga Satuan Pekerjaan (D+E)						

\*d disesuaikan dengan jumlah, volume dan berat peralatan yang diangkut

\*d disesuaikan dengan jumlah pekerja dan jenis pekerjaannya yang disesuaikan dengan RMK3

2) Pembuatan direksi keet dan gudang

**Tabel 37 AHSP Pembuatan Direksi Keet dan Gudang**

L.02 Pembuatan Direksi Keet, Los Kerja dan Gudang

1 m<sup>2</sup> pembuatan direksi keet atap asbes gelombang, dinding triplek, kaca nako

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.2		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.4		
3	Kepala tukang batu	L.03	OH	0.04		
4	Mandor	L.04	OH	0.12		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Kayu Kaso 5/7	M.33.d	m <sup>3</sup>	0.35		
2	Dinding triplek 4mm		lbr	1		
3	Fondasi pasangan batu		m <sup>3</sup>	0.17		
4	GRC pelat, t=4 mm, uk.122 x 244 cm		lbr	1.24		
5	Paku	M.71.b	kg	0.75		
6	Atap gelombang kecil ukuran 80 x 180, 4 mm	M.110.b	lbr	0.3		
7	Paku GRC		kg	0.1		
8	Floor lantai (beton lantai kerja)		m <sup>3</sup>	0.15		
9	Pintu <i>double teakwood</i> rangka kayu		m <sup>3</sup>	0.1		
10	Jendela kaca nako		daun	1		
11	Cat dinding/plafon	M.115.d	m <sup>3</sup>	16.5		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

3) Papan nama

**Tabel 38 AHSP Papan Nama**

LA.03 Pembuatan Papan Nama Pekerjaan

1 m<sup>2</sup> papan nama proyek

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1		
2	Tukang kayu	L.02	OH	1		
3	Kepala tukang kayu	L.03	OH	0.1		
4	Tukang cat dan tulis *	L.02	OH	1.5		
5	Mandor	L.04	OH	0.1		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Multiplik tebal 18 mm **		lbr	1		
2	Kayu 8/12 kelas II		m <sup>3</sup>	0.077		
3	Frame besi L30.30.3 ***		kg	5.8		
4	Paku campuran 5 cm dan 7 cm		kg	1.25		
5	Cat kayu		kg	2.5		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

\* Sesuai kebutuhan cat (abur/tulis dan/atau cat semprot

\*\* Koefisien disesuaikan dengan kebutuhan, dalam contoh ini untuk papan nama ukuran 0,8 x 1,2 m<sup>2</sup>

\*\*\* Disesuaikan kebutuhan, misalnya dapat menggunakan frame kayu atau aluminium panjang 4 m'

4) Pengukuran kembali/uitzet

**Tabel 39 AHSP Pengukuran Kembali/Uitzet**

T.02.a Pengukuran Kembali/Uitzet  
1 m<sup>2</sup> pengukuran kembali/uitzet

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.012		
2	Pembantu juru ukur	L.06	OH	0.004		
3	Juru ukur	L.05	OH	0.004		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Waterpass	E.50	sewa-hr	0.004		
2	Theodolite	E.43a	sewa-hr	0.004		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

5) Pembersihan dan *stripping*/kosrekan

**Tabel 40 AHSP Pembersihan dan *Stripping*/Kosrekan**

T.01.a Pembersihan dan *Stripping* / Kosrekan  
1 m<sup>2</sup> pembersihan dan *stripping*/kosrekan

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.06		
2	Mandor	L.04	OH	0.006		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

b) Pekerjaan tubuh embung

1) Pengadaan dan pemasangan patok kayu

**Tabel 41 AHSP Pengadaan dan Pemasangan Patok Kayu**

T.03.a.1) Pengadaan dan Pemasangan Patok Kayu

1 buah patok kayu (Kaso 5/7), panjang 0,5 m'

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0,025		
2	Juru ukur	L.05	OH	0,0083		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
1*	Patok kayu kaso 5/7 - 0,5 m'	M.03.b	m <sup>3</sup>	0,0018		
2	Paku payung	M.56.e	dus	0,012		
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
1	Roll mieter	E.34.i	buah	0,008		
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per buah (D+E)</b>						

\*Mutu kayu disesuaikan dengan kebutuhan

2) Patok tetap bantu

**Tabel 42 AHSP Pengadaan dan Pemasangan Patok Tetap Bantu (PTB)**

T.03.b) Pengadaan dan Pemasangan Patok Tetap Bantu (PTB)

1 buah patok tetap bantu

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
1*	Galian tanah biasa	T.06a.1)	m <sup>3</sup>	0,273		
2*	Timbunan pasir	T.14c	m <sup>3</sup>	0,003		
3*	Pembesian	B.17.a	kg	2,3		
4*	Bekisting	B.21.b	m <sup>2</sup>	0,4		
5*	Beton mutu (K175, slump (12±2) cm, w/c=0.66	B.05a	m <sup>3</sup>	0,013		
6*	Pen luningan untuk titik acuan pengukuran	M.72	buah	1,05		
7*	Hammer ukuran 10 x 10 cm, dengan tulisan graph	M.127.a	buah	1,05		

\*Disesuaikan dengan kebutuhan

3) Galian tanah biasa

**Tabel 43 AHSP Galian Tanah Biasa Cara Manual**

T.06.a.1) Galian Tanah Biasa Cara Manual

1 m<sup>3</sup> galian tanah biasa sedalam ≤ 1 meter

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0,563		
2	Mandor	L.04	OH	0,0563		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 44 AHSP Galian Tanah Biasa Cara Mekanis**

TM.04.a.1 Galian Tanah Biasa Cara Mekanis

1 m<sup>3</sup> galian tanah biasa sedalam 0 - 2 meter

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.1633		
2	Mandor	L.04	jam	0.0163		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
1	Excavator (standard)	E.11.b	jam	0.0272		
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

4) Galian batu

**Tabel 45 AHSP Galian Batu**

T.08.b.2) Galian Batu

1 m<sup>3</sup> galian batu sedalam 1 - 2 meter

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.2		
2	Mandor	L.04	OH	0.12		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
1	BBM non subsidi	M.137.b	liter	2.5		
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
1	Jack hammer	E.14.a	sewa-hr	0.25		
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

5) Perbaikan fondasi

**Tabel 46 AHSP Perbaikan Pondasi**

p.01d.2) Perbaikan Pondasi\*\*

Pasangan batu 1 pc : 5 ps, menggunakan moten

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.8		
2	Tukang Batu	L.02	OH	0.9		
3	Mandor	L.04	OH	0.18		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
1	Batu belah	M.06.a	m <sup>3</sup>	1.2		
2	Pasir pasang	M.14.c	m <sup>3</sup>	0.544		
3	Portland cement	M.15	kg	135		
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.076		
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

\*\* dapat dilakukan dengan pasangan batu, beton atau grouting

**Tabel 47 AHSP Menggunakan Ready Mixed dan Pompa Beton**

B.13.a

Menggunakan *Ready Mixed* dan Pompa Beton

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.25		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.025		
4	Mandor	L.04	OH	0.1		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan*</b>						
1	Campuran beton <i>ready mixed</i>	M.09.x	m <sup>3</sup>	1.02		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Pompa dan conveyor beton	E.35	Sewa-hr	0.12		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

\* sesuai dengan mutu beton yang digunakan

6) Urukan *backfill*

**Tabel 48 AHSP Urukan *Backfill***

T.14.a

Urukan *Backfill*

1 m<sup>3</sup> timbunan tanah atau urukan tanah kembali termasuk peralatan dan perapihan

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.33	50,000	
2	Mandor	L.04	OH	0.033	100,000	
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan***</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

7) Lapisan pelindung erosi (pasir-kerakal) hulu

**Tabel 49 AHSP Lapisan Pelindung Erosi (Pasir-Kerakal) Udik**

TM.11.03

Lapisan Pelindung Erosi (Pasir-Kerakal) Udik

Sistem penyalir (pasir-kerakal) atau pelindung erosi (pasir-kerakal)

	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
1	Galian pasir atau pasir-kerakal kedalaman 0-2 m	TM.11.1.b	m <sup>3</sup>	1		
2	Pengadaan dan angkutan pasir-kerakal jarak angkut 1 km	TM.11.2.d	m <sup>3</sup>	1		
3	Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan pasir ( <i>filter</i> )	TM.11.3.b	m <sup>3</sup>	1		
<b>Harga Satuan Pekerjaan</b>						

8) Urukan tanah lempung

**Tabel 50 AHSP Timbunan dan Pemadatan Tanah Lempung**

TM.11.01 Timbunan dan Pemadatan Tanah Lempung

	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
1	Galian tanah lempung kedalaman 0-2 m	TM.11.1.a	m <sup>3</sup>	1		
2	Pengadaan dan angkutan tanah lempung 2.2 km	TM.11.2.a	m <sup>3</sup>	1		
3	Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan tanah lempung	TM.11.3.a	m <sup>3</sup>	1		
Harga Satuan Pekerjaan						

9) Sistem penyalir (pasir-kerakal)

TM.11.03 Sistem penyalir (pasir-kerakal) atau pelindung erosi (pasir-kerakal)

10) Urukan filter (pasir)

**Tabel 51 AHSP Urugan Filter**

TM.11.02 Urugan Filter (Pasir)

	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
1	Galian pasir atau pasir-kerakal kedalam 0-2 m	TM.11.1.b	m <sup>3</sup>	1		
2	Pengadaan dan angkutan pasir untuk filter jarak angkut 1 km	TM.11.2.b	m <sup>3</sup>	1		
3	Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan lapisan pasir (filter)	TM.11.3.b	m <sup>3</sup>	1		
Harga Satuan Pekerjaan						

11) Urukan kerikil-kerakal dan/atau pecahan batu maksimum 20 cm

**Tabel 52 AHSP Urugan Kerikil-Kerakal dan/Atau Pecahan Batu Maksimum 20 cm**

TM.11.02 Urugan Kerikil-Kerakal dan/atau Pecahan Batu Maksimum 20 cm

	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
1	Galian pasir atau pasir-kerakal kedalam 0-2 m	TM.11.1.b	m <sup>3</sup>	1		
2	Pengadaan dan angkutan kerikil-kerakal jarak angkut 1 km	TM.11.2.d	m <sup>3</sup>	1		
3	Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan kerikil-kerakal	TM.11.3.b	m <sup>3</sup>	1		
Harga Satuan Pekerjaan						

**Tabel 53 AHSP Galian Tanah Lempung/Pasir Kerakal di Borrow Area**

TM.11.1 Galian Tanah Lempung/Pasir Kerakal di Borrow Area

a Galian tanah lempung kedalaman 0-2 meter

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Excavator (standard)	E.11.b	jam	0.1069		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 54 AHSP Galian atau Pasir-Kerakal Kedalaman 0-2 meter**

b Galian pasir atau pasir-kerakal kedalaman 0-2 meter

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Excavator (standard)	E.11.b	jam	0.1361		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 55 AHSP Pengadaan dan Angkutan Tanah Lempung/Pasir Kerakal di Borrow Area**

TM.11.2 Pengadaan dan Angkutan Tanah Lempung/Pasir Kerakal di Borrow Area

a Pengadaan dan angkutan tanah lempung jarak 2.2 km

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Tanah lempung	M.17.a	m <sup>3</sup>	1		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Dump truck	E.11.b	jam	0.23		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 56 AHSP Pengadaan dan Angkutan Pasir Untuk Filter Jarak 1 km**

b

Pengadaan dan angkutan pasir untuk filter jarak 1 km

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Pasir untuk filter	M.14.a	m <sup>3</sup>	1		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Dump truck	E.11.b	jam	0.2427		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 57 AHSP Pengadaan dan Angkutan Pasir-Kerakal Jarak 1 km**

c

Pengadaan dan angkutan pasir-kerakal jarak 1 km

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Pasir-kerakal	M.14.b	m <sup>3</sup>	1		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Dump truck	E.11.b	jam	0.2427		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 58 AHSP Pengadaan dan Angkutan Kerikil-Kerakal Jarak 1 km**

d

Pengadaan dan angkutan kerikil-kerakal jarak 1 km

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Kerikil-kerakal	M.12.a	m <sup>3</sup>	1		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Dump truck	E.11.b	jam	0.2427		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 59 AHSP Penghamparan, Pemadatan, dan Perapihan Lapisan Tanah Lempung/ Pasir Kerakal**

TM.11.3  
a

Penghamparan, Pemadatan, dan Perapihan Lapisan Tanah Lempung/Pasir Kerakal  
Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan tanah lempung

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.1422		
2	Mandor	L.04	jam	0.01422		
					<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>	
<b>B Bahan</b>						
					<b>Jumlah Harga Bahan</b>	
<b>C Peralatan</b>						
1	Bulldozer	E.05.b	jam	0.02		
2	Sheepfoot roller	E.39.b	jam	0.01		
3	Roller vibro	E.39.f	jam	0.0178		
4	Water tank truck	E.49	jam	0.0078		
					<b>Jumlah Harga Peralatan</b>	
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 60 AHSP Penghamparan, Pemadatan, dan Perapihan Lapisan Pasir (Filter)/ Pasir Kerakal/ Kerikil-Kerakal**

b

Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan pasir (filter)/pasir-kerakal/kerikil-kerakal

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.1422		
2	Mandor	L.04	jam	0.01422		
					<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>	
<b>B Bahan</b>						
					<b>Jumlah Harga Bahan</b>	
<b>C Peralatan</b>						
1	Bulldozer	E.05.b	jam	0.02		
2	Roller vibro	E.39.f	jam	0.0178		
3	Water tank truck	E.49	jam	0.0078		
					<b>Jumlah Harga Peralatan</b>	
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

12) Lapisan geotekstil (woven)

**Tabel 61 AHSP Lapisan Geotekstil (Woven)**

P.09  
b

Lapisan Geotekstil (Woven)

1 m<sup>2</sup> pasang geotekstil, tipe B, tebal sedang

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.16		
2	Tukang tembok	L.02	OH	0.032		
3	Mandor	L.04	OH	0.016		
					<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>	
<b>B Bahan</b>						
1	Geotekstil (tipe B, tebal sedang)	M.122.b	m <sup>2</sup>	1.08		
					<b>Jumlah Harga Bahan</b>	
<b>C Peralatan</b>						
					<b>Jumlah Harga Peralatan</b>	
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

c) Pekerjaan *inlet, pelimpah, dan outlet*

1) Galian tanah biasa

TM.04. galian tanah biasa kedalaman 0-2 m

2) Urukan dan pemadatan

T.14.a. 1 m<sup>3</sup> urukan tanah atau urukan tanah kembali termasuk perataan dan perapihan

3) Pemasangan batu belah

**Tabel 62 AHSP Pasangan Batu Belah (1 pc : 4 pp)**

P.01.c Pasangan Batu Belah (1 pc: 4 pp)  
1 m<sup>3</sup> pekerjaan pasangan batu belah

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.8		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.9		
3	Mandor	L.04	OH	0.18		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Batu belah	M.06.a	m <sup>3</sup>	1.2		
2	Pasir pasang	M.14.c	m <sup>3</sup>	0.52		
3	Portland cement	M.15	kg	163		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.076		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

4) Plesteran

**Tabel 63 AHSP Plesteran (1 pc : 3 pp)**

P.04.I Plesteran (1 pc: 3 pp)  
1 m<sup>3</sup> pekerjaan plesteran

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.8		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.9		
3	Mandor	L.04	OH	0.18		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Batu belah	M.06.a	m <sup>3</sup>	1.2		
2	Pasir pasang	M.14.c	m <sup>3</sup>	0.485		
3	Portland cement	M.15	kg	202		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.076		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

5) Siaran mortar

Tabel 64 AHSP Siaran Mortar

P.03.a

Siaran Mortar

1 m<sup>2</sup> pekerjaan siaran mortar (1 pc : 2 pp)

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.323		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.189		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.019		
4	Mandor	L.04	OH	0.132		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	PC / portland cement	M.15	kg	371		
2	PB / pasir beton	M.14.a	kg	689		
3	Kr / kerikil	M.12.b	kg	1047		
4	Air	M.02	ltr	215		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.25		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

6) Beton

Tabel 65 AHSP Beton Mutu K-225

B.07.a

Beton Mutu K-225

1 m<sup>3</sup> pekerjaan beton mutu k-225

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.323		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.189		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.019		
4	Mandor	L.04	OH	0.132		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	PC / portland cement	M.15	kg	371		
2	PB / pasir beton	M.14.a	kg	698		
3	Kr / kerikil	M.12.b	kg	1047		
4	Air	M.02	ltr	215		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.25		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 66 AHSP Beton Mutu K-300**

B.10.b

Beton Mutu K-300

1 m<sup>3</sup> pekerjaan beton mutu k-300

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.323		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.189		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.019		
4	Mandor	L.04	OH	0.132		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	PC / portland cement	M.15	kg	413		
2	PB / pasir beton	M.14.a	kg	681		
3	Kr / kerikil	M.12.b	kg	1021		
4	Air	M.02	litr	215		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.25		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

7) Pembesian

**Tabel 67 AHSP Pembesian 100 kg dengan Besi Polos Atau Ulir**

B.17

Pembesian 100 kg dengan besi polos atau ulir

100 kg pekerjaan pembesian dengan besi polos atau ulir

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.7		
2	Tukang besi	L.02	OH	0.7		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.07		
4	Mandor	L.04	OH	0.07		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Besi beton (polos/ulir)	M.55.d	kg	105		
2	Kawat ikat	M.66	kg	1.5		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per 100 kg (D+E)</b>						

8) Bekisting

**Tabel 68 AHSP Bekisting Lantai Beton Biasa dengan Multipleks 12 mm atau 8 mm (Tanpa Pemecah)**

B.21.a Bekisting Lantai Beton Biasa dengan Multipleks 12 mm atau 8 mm (tanpa perancah)  
1 m<sup>2</sup> pekerjaan bekisting

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.2		
2	Tukang kayu	L.02	OH	0.1		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.01		
4	Mandor	L.04	OH	0.02		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Multipleks 12 mm atau 8 mm**	M.39.c	lbr	0.128		
2	Kaso 5/7 cm**	M.33.d	m <sup>3</sup>	0.005		
3	Paku 5 cm dan 7 cm	M.71.b	kg	0.22		
4	Minyak bekisting	M.129	litr	0.2		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

CATATAN: \* bahan digunakan berulang kali, yang ke-1, koefisien 0.353 (multipleks) dan 0.014 (kaso)  
yang ke-2, koefisien menjadi 0.203 (multipleks) dan 0.008 (kaso)  
yang ke-3, koefisien menjadi 0.128 (multipleks) dan 0.005 (kaso)  
yang ke-4, koefisien menjadi 0.091 (multipleks) dan 0.003 (kaso)

9) Inlet sadap (dapat berupa pintu sorong baja, flap gate, dll)

Contoh perhitungan Pintu sorong baja

**Tabel 69 AHSP Pintu Air**

H.03.6 Pintu Air  
a Pintu sorong baja b=100; h=100 cm

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	2.58		
2	Tukang	L.02	OH	1.29		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.13		
4	Mandor	L.04	OH	0.26		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Besi pengaku	M.54.g	kg	7.74		
2	Kawat las listrik	M.69	kg	1.72		
3	Campuran beton K-225	B.07.a	m <sup>3</sup>	0.077		
4	Pasangan bata	P.02.b	m <sup>3</sup>	0.155		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Pintu air	M.76.c	bh	1		
2	Tripod tinggi 4-5 cm	E.45	sewa-hr	0.387		
3	Mesin listrik 250A, diesel	E.22	sewa-hr	0.387		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan</b>						

**Tabel 70 AHSP Pintu Sorong Baja B=100; H=150 cm**

b

Pintu sorong baja b=100; h=150 cm

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	2.52		
2	Tukang	L.02	OH	1.26		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.13		
4	Mandor	L.04	OH	0.25		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Besi pengaku	M.54.g	kg	7.56		
2	Kawat las listrik	M.69	kg	1.68		
3	Campuran beton K-225	B.07.a	m <sup>3</sup>	0.076		
4	Pasangan bata	P.02.b	m <sup>3</sup>	0.151		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Pintu air	M.76.c	bh	1		
2	Tripod tinggi 4-5 cm	E.45	sewa-hr	0.378		
3	Mesin listrik 250A, diesel	E.22	sewa-hr	0.378		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan</b>						

**Tabel 71 AHSP Pintu Sorong Baja B=80; H=60 cm**

c

Pintu sorong baja b=80; h=60 cm

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	2.6		
2	Tukang	L.02	OH	1.3		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.13		
4	Mandor	L.04	OH	0.26		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Besi pengaku	M.54.g	kg	7.8		
2	Kawat las listrik	M.69	kg	1.73		
3	Campuran beton K-225	B.07.a	m <sup>3</sup>	0.078		
4	Pasangan bata	P.02.b	m <sup>3</sup>	0.156		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Pintu air	M.76.c	bh	1		
2	Tripod tinggi 4-5 cm	E.45	sewa-hr	0.39		
3	Mesin listrik 250A, diesel	E.22	sewa-hr	0.39		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan</b>						

**Tabel 72 AHSP Pasangan Bata Merah**

P.02.b

Pasangan Bata Merah

1 m<sup>3</sup> pekerjaan bata merah

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.5		
2	Tukang batu	L.02	OH	1.2		
3	Mandor	L.04	OH	0.15		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Bata merah	M.05.c	bh	500		
2	Portland cement	M.15	kg	132		
3	Pasir pasang	M.14.c	m <sup>3</sup>	0.345		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.1		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

10) Pasangan gebalan rumput

**Tabel 73 AHSP Pasangan Gebalan Rumput**

P.12.a

Pasangan Gebalan Rumput

1 m<sup>2</sup> pekerjaan pasangan gebalan rumput

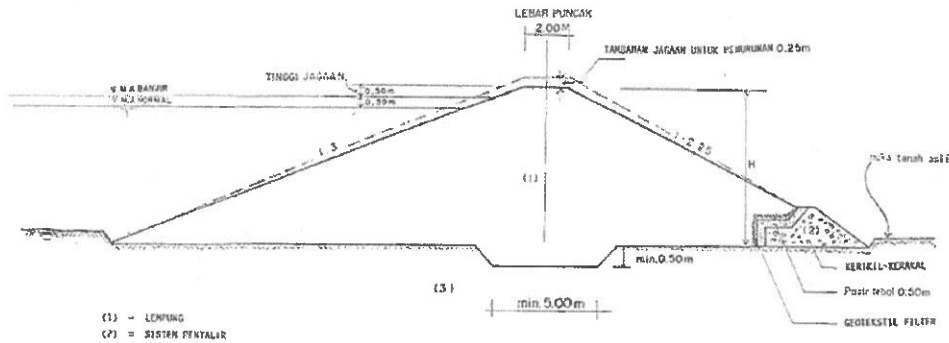
No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.1		
2	Mandor	L.04	OH	0.01		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Gebalan rumput	M.136	m <sup>2</sup>	1.1		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

### 7.3 Rencana Anggaran Biaya

Berikut ini adalah contoh alternatif volume pekerjaan untuk dari berbagai tipe embung.

**Tabel 74 Contoh Volume Pekerjaan**

Embung tipe 1 - Urugan homogen, material utama lempung, diatas fondasi kedap air



Panjang tubuh embung: 100 m

Volume berdasarkan potongan melintang:

- 1 Lempung = 14.541 m<sup>3</sup>
- 2 Sistem penyalir = 651 m<sup>3</sup>
- 3 Filter kerikil - kerakal = 195 m<sup>3</sup>
- 4 Filter pasir = 117 m<sup>3</sup>

Luas filter geotekstil = 397,43 m<sup>2</sup>

Rencana Anggaran Biaya (RAB) pembangunan embung adalah hasil penjumlahan total dari volume pekerjaan dikalikan dengan harga satuan pekerjaan yang diperoleh dari AHSP, dimana satuan pekerjaan ini untuk lebih jelas dapat dilihat di dalam Lampiran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 28/PRT/M/2016 tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum. Berikut ini adalah daftar pekerjaan untuk pembangunan embung.

**Tabel 75 Daftar Pekerjaan Pembangunan Embung di dalam Alur Sungai**

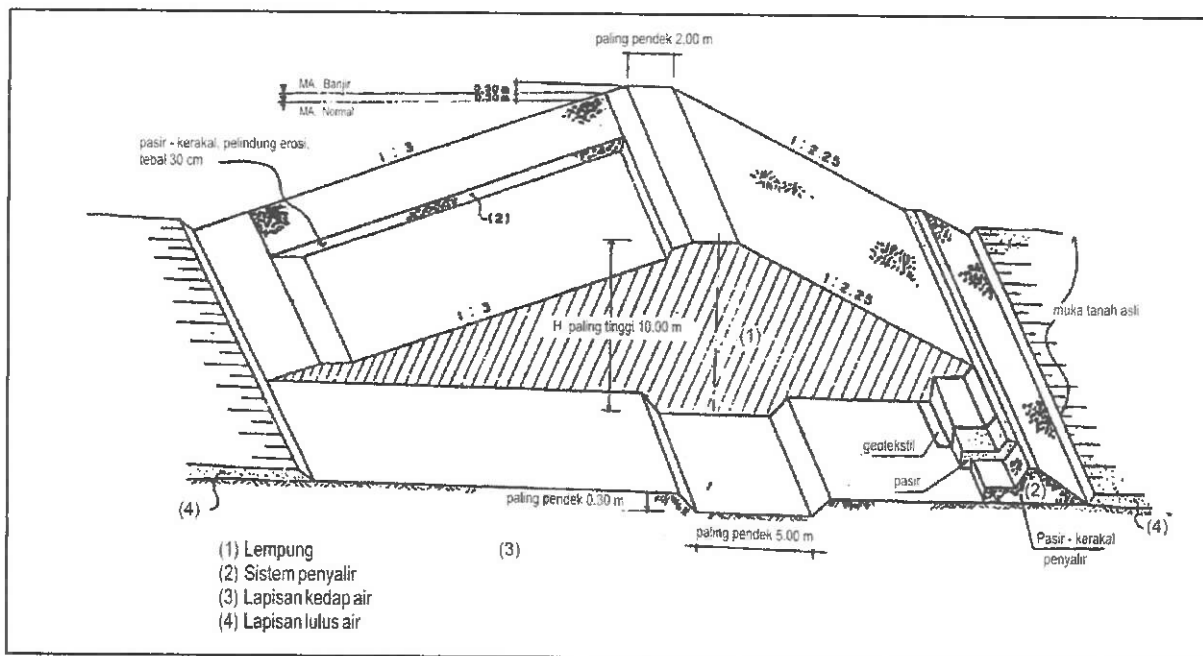
No.	Kode	Jenis Pekerjaan
a		Pekerjaan Persiapan
	1	Mobilisasi dan demobilisasi
	L.04	Mobilisasi
	L.04a	Investigasi Lapangan
	L.04b	Sewa Lahan

No.	Kode	Jenis Pekerjaan
	L.04c	Fasilitas
	L.04d	Kebutuhan Lain-lain
2		Pembuatan Direksi Keet dan Gudang
	L.02	Pembuatan Direksi Keet , Los Kerja, dan Gudang
3		Papan Nama
	LA.03	Pembuatan Papan Nama Pekerjaan
4		Pengukuran Kembali/Uitzet
	T.02.a	Pengukuran Kembali/Uitzet
5		Pembersihan dan Stripping/Kosrekan
	T.01.a	Pembersihan dan Stripping/Kosrekan
b		Pekerjaan Tubuh Embung
1		Pengadaan dan Pemasangan Patok Kayu
	T.03.a.1	Pengadaan dan Pemasangan Patok Kayu
2		Patok Tetap Bantu
	T.03.b	Pengadaan dan Pemasangan Patok Tetap Bantu (PTB)
3		Galian Tanah Biasa
	T.06.a.1	Galian Tanah Biasa Cara Manual
	TM.04.a.1	Galian Tanah Biasa Cara Mekanis
4		Galian Batu
	T.08.b.2	Galian Batu
5		Perbaikan Fondasi
	P.01d.2	Perbaikan Fondasi
	B.13.a	Menggunakan Ready Mixed dan Pompa Beton
6		Urukan Backfill
	T.14.a	Urukan Backfill
7		Lapisan Pelindung Erosi (Pasir-Kerakal) Hulu
	TM.11.03	Lapisan Pelindung Erosi (Pasir-Kerakal) Udik
8		Urukan Tanah Lempung
	TM.11.01	Timbunan dan Pematatan Tanah Lempung
9		Sistem Penyalir (Pasir-Kerakal)
	TM.11.03	Sistem Penyalir (Pasir-Kerakal)
10		Urukan Filter (Pasir)
	TM.11.02	Urukan Filter (Pasir)

No.	Kode	Jenis Pekerjaan
11		Urukan Kerikil-Kerakal dan/atau Pecahan Batu Maksimum 20 cm
	TM.11.02	Urugan Kerikil-Kerakal dan/atau Pecahan Batu Maksimum 20 cm
	TM.11.1	Galian Tanah Lempung/Pasir Kerakal di Borrow Area
	TM.11.2	Pengadaan dan Angkutan Tanah Lempung/Pasir Kerakal di Borrow Area
	TM.11.3	Penghamparan, Pemadatan, dan Perapihan Lapisan Tanah Lempung/Pasir Kerakal
12		Lapisan Geotekstil (Woven)
	P.09	Lapisan Geotekstil (Woven)
c		Pekerjaan <i>Inlet</i> , <i>Pelimpah</i> , dan <i>Outlet</i>
1		Galian Tanah Biasa
	TM.04.a.1	Galian Tanah Biasa Kedalaman 0-2 m
2		Urukan dan Pemadatan
	T.14.a	Urukan Tanah Atau Urukan Tanah Kembali Termasuk Perataan dan Perapihan
3		Pemasangan Batu Belah
	P.01.c	Pasangan Batu Belah (1 pc: 4 pp)
4		Plesteran
	P.04.i	Plesteran (1 pc: 3 pp)
5		Siaran Mortar
	P.03.a	Siaran Mortar
6		Beton
	B.07.a	Beton Mutu K-225
	B.10.b	Beton Mutu K-300
7		Pembesian
	B.17	Pembesian 100 kg dengan besi polos atau ulir
8		Bekisting
	B.21.a	Bekisting Lantai Beton Biasa dengan Multipleks 12 mm atau 8 mm (tanpa pemecah)
9		Inlet sadap (dapat berupa pintu sorong baja, <i>flap gate</i> , dll)
	H.03.6	Pintu Air
	P.02.b	Pasangan Bata Merah
10		Pasangan Gebalan Rumput

No.	Kode	Jenis Pekerjaan
	P.12.a	Pasangan Gebalan Rumput

Berikut ini adalah contoh perhitungan Rencana Anggaran Biaya Pembuatan Embung Tipe – 1 :  
Urugan Homogen, Material Utama Lempung, Di Atas Fondasi Kedap Air



**Gambar 78 Embung Tipe – 1 : Urugan Homogen, Material Utama Lempung, Di Atas Fondasi Kedap Air**

**Tabel 76 Contoh Perhitungan Rencana Anggaran Biaya Embung Tipe – 1 : Urugan Homogen, Material Utama Lempung, Di Atas Fondasi Kedap Air**

No	Uraian	Kode	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
I	<b>PEKERJAAN PERSIAPAN</b>					<b>208,797,078.09</b>
1	Mobilisasi dan demobilisasi	L.04	LS	1	72,289,000.00	72,289,000.00
2	Pembuatan direksi keet dan gudang	L.02	m <sup>2</sup>	20	1,549,124.75	30,982,495.00
3	Papan nama	L.03a	buah	2	696,296.25	1,392,592.50
4	Pengukuran kembali/uitzet	T.02.a	m <sup>2</sup>	6000	2,530.00	15,180,000.00
5	Pembersihan dan striping/kosrekan	T.01.a	m <sup>2</sup>	21267	4,140.00	88,045,380.00
6	Pengadaan dan pemasangan patok kayu	T.03.a.1}	buah	77	3,761	289,593.92
7	Pengadaan dan pemasangan PTB	T.03.b	buah	4	154,504	618,016.67
II	<b>PEKERJAAN EMBUNG</b>					<b>2,646,266,568.44</b>
1	Galian tanah di borrow area	TM.04.a.1	m <sup>3</sup>	18743.1	18,743	351,303,351.52
2	Galian tanah biasa (mekanis)	TM.04.a.1	m <sup>3</sup>	2571.7	13,183	33,902,151.65
3	Galian tanah keras/batu	T.08.b.2)	m <sup>3</sup>	692.4	155,106	107,389,751.02
4	Timbunan backfill	T.14.a	m <sup>3</sup>	176.4	22,770	4,016,628.00
5	Timbunan tubuh embung	TM.11.01	m <sup>3</sup>	16076.0	57,874	930,389,396.05
6	Timbunan penyalir	TM.11.03	m <sup>3</sup>	1105.5	303,091	335,078,946.16
7	Timbunan filter	TM.11.02	m <sup>3</sup>	91.6	216,841	19,853,583.43
8	Timbunan rip-rap	P.05	m <sup>3</sup>	2398.8	319,827	767,187,015.14
9	Lapisan geotekstil (woven)	P.09.b	m <sup>2</sup>	457.4	162,541	74,345,745.46
10	Parapet		buah	114	200,000	22,800,000.00
III	<b>PEKERJAAN SPILLWAY</b>					<b>297,559,974.67</b>
1	Galian tanah biasa (mekanis)	TM.04.a.1	m <sup>3</sup>	274.24	13,183	3,615,266.47
2	Galian tanah keras/batu	T.08.b.2)	m <sup>3</sup>	350.49	155,106	54,362,680.19
3	Pasangan batu dengan mortar	P.01.a.1)	m <sup>3</sup>	261.11	862,500	225,206,490.35
4	Beton K300	B.05.a	m <sup>3</sup>	13	1,090,557	14,375,537.66
IV	<b>PEKERJAAN INTAKE</b>					<b>19,173,496.31</b>
1	Galian tanah biasa (manual)	T.06.a.1)	m <sup>3</sup>	0.5	38,847	19,811.97
2	Instalasi pompa distribusi		LS	1	14,505,304	14,505,303.84
5	Instalasi pipa distribusi ke bak tampung		LS	1	4,648,381	4,648,380.50
V	<b>PEKERJAAN BAK AIR</b>					<b>10,019,329.44</b>
a	<i>Pekerjaan bak air manusia</i>					<b>4,982,618.02</b>
	Galian tanah	T.06.a.1)	m <sup>3</sup>	0.9	38,847	34,962.30
	Pondasi pasangan batu	A.3.2.1.2	m <sup>3</sup>	0.9	635,289	571,759.88
	Pembuatan lantai kerja (sirtu)	A.2.3.1.14	m <sup>3</sup>	0.3	169,050	50,715.00
	Pembesian	B.17.a	kg	195	11,960	2,332,200.00
	Beton 1 : 2 : 3	B.05.a	m <sup>3</sup>	2	960,303	1,920,605.59
	Instalasi keran outlet	AS.1.1.19	bh	1	72,375	72,375.25
b	<i>Pekerjaan bak hewan</i>					<b>3,165,207.83</b>
	Galian tanah	T.06.a.1)	m <sup>3</sup>	0.9	38,847	34,962.30
	Pondasi pasangan batu	A.3.2.1.2	m <sup>3</sup>	0.9	635,289	571,759.88
	Pembuatan lantai kerja (sirtu)	A.2.3.1.14	m <sup>3</sup>	0.3	169,050	50,715.00
	Pembesian	B.17.a	kg	122	11,960	1,459,120.00
	Beton 1 : 2 : 3	B.05.a	m <sup>3</sup>	1.092	960,303	1,048,650.65
c	<i>Pekerjaan bak kebun</i>					<b>1,871,503.60</b>
	Galian tanah	T.06.a.1)	m <sup>3</sup>	0.54	38,847	20,977.38
	Pondasi pasangan batu	A.3.2.1.2	m <sup>3</sup>	0.54	635,289	343,055.93
	Pembuatan lantai kerja (sirtu)	A.2.3.1.14	m <sup>3</sup>	0.18	169,050	30,429.00
	Pembesian	B.17.a	kg	68	11,960	813,280.00
	Beton 1 : 2 : 3	B.05.a	m <sup>3</sup>	0.6912	960,303	663,761.29
VI	<b>Total</b>					<b>3,181,816,446.95</b>
	PPN 10%					<b>318,181,644.70</b>
	<b>Grand Total</b>					<b>3,499,998,091.65</b>
	Pembulatan					<b>3,499,999,000.00</b>

## 8 Pekerjaan Konstruksi

### 8.1 Ketentuan Umum

Pekerjaan yang harus dilakukan pada saat pembangunan embung adalah sebagai berikut:

- a) Pekerjaan Persiapan
  - 1) Mobilisasi dan demobilisasi peralatan konstruksi dan sumber daya
  - 2) Mobilisasi dan demobilisasi fasilitas kontraktor
  - 3) Penyediaan sarana air bersih selama konstruksi
  - 4) Mobilisasi dan demobilisasi peralatan laboratorium
  - 5) Penyediaan sarana listrik dan penerangan
  - 6) Penyediaan sarana dan fasilitas komunikasi
  - 7) Penyediaan foto dan video selama konstruksi
  - 8) Investigasi geologi dan mekanika tanah pada awal konstruksi
  - 9) Penyelenggaraan SMK3 selama konstruksi
- b) Pekerjaan Utama
  - 1) Pekerjaan bangunan pengelak
  - 2) Pekerjaan bangunan penahan/ tubuh embung
  - 3) Pekerjaan bangunan pelimpah
- c) Pekerjaan Pelengkap
  - 1) Pekerjaan bangunan *intake*
  - 2) Pemasangan jaringan pipa pasok air
  - 3) Pembuatan bak air
  - 4) Pemasangan gebalan rumput, dan lain-lain.

Tahapan pelaksanaan konstruksi embung di dalam alur sungai ini adalah sebagai berikut.

- a) Tahap pertama adalah pembangunan bangunan pengelak.
- b) Setelah bangunan pengelak dapat beroperasi, selanjutnya adalah pembangunan *cofferdam* di bagian hulu dan hilir (jika *outlet* bangunan pengelak elevasinya mendekati elevasi dasar sungai pada *cofferdam* hulu) lokasi rencana pembangunan tubuh embung sehingga lokasi rencana pembangunan tersebut akan kering dan dapat dilaksanakan konstruksi embung. *Cofferdam* dapat difungsikan menjadi bagian tubuh embung untuk menambah stabilitas.
- c) Setelah lokasi rencana pembangunan tubuh embung kering, tahap selanjutnya adalah pembangunan bangunan pelimpah dan dilanjutkan dengan pembangunan tubuh embung

dan komponen-komponen pelengkap lainnya. Untuk beberapa pekerjaan konstruksi ini dapat bersifat simultan dengan tetap dilakukan sesuai ketentuan yang berlaku.

- d) Setelah pembangunan tubuh embung dan komponen-komponennya selesai, selanjutnya adalah proses pengisian embung. Bangunan pengelak selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai *intake* atau ditutup perlahan-lahan selama proses pengisian embung.
- e) Proses pengisian embung ini dilakukan pada musim hujan, dengan waktu pengisian embung sesuai dengan besarnya debit *inflow* atau curah hujan.
- f) Pengoperasian embung harus seimbang antara keluaran dan tampungan dalam siklus 1 (satu) tahun.

## 8.2 Jenis Alat yang Diperlukan

Beberapa alat berat yang biasanya dipergunakan dalam pekerjaan konstruksi embung yakni sebagai berikut:

a) *Bulldozer*

- Jumlah : 1 buah  
Kapasitas :  $\leq$  tipe D7  
Penggunaan : Pembersihan semak, rumput, dan pohon,  
Penggusuran dan penghamparan tanah,  
Perataan tanah.



**Gambar 79 Bulldozer**

b) *Wheel Loader*

- Jumlah : 1 buah  
Kapasitas : *Bucket*  $\frac{1}{2}$  - 1 m<sup>3</sup>  
Penggunaan : Menggali dan memuat tanah atau material berbutir, mengangkat, mengangkut, dan membuang pada ketinggian tertentu ke dalam *dump truck* atau tempat pembuangan.



**Gambar 80 Wheel Loader**

c) *Backhoe*

- Jumlah : 1 buah dengan alat penggerak roda ban  
Kapasitas : *Bucket*  $\frac{1}{2}$  - 1 m<sup>3</sup>

Penggunaan : Penggalan tanah yang terletak di bawah tempat kedudukan *backhoe*. Selain itu juga dapat digunakan untuk memuat hasil galian ke dalam *truck*.



**Gambar 81 Backhoe**

d) *Dump Truck*

Jumlah : 2 buah

Kapasitas : 7 ton

Penggunaan : Transportasi material yang akan digunakan untuk konstruksi dan material buangan.



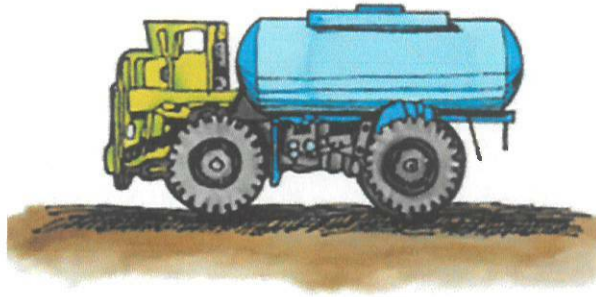
**Gambar 82 Dump Truck**

e) Truk Tangki Air

Jumlah : 1 buah

Kapasitas : 4.000 - 10.000 liter

Penggunaan : Penyiraman tanah / material bagi keperluan pemadatan.  
Penyediaan air bagi kebutuhan konsumsi.



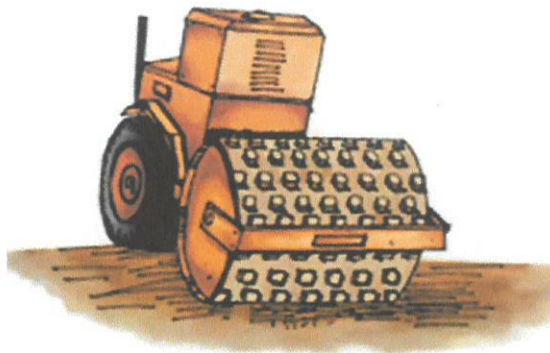
**Gambar 83 Truk Tangki Air**

f) *Sheepfoot Roller*

Jumlah : 1 buah dengan alat penarik beroda ban

Kapasitas : 8 - 10 ton termasuk *ballast*

Penggunaan : Alat pemadat material berlempung.



**Gambar 84 Sheepfoot Roller**

g) *Tandem Roller*

Jumlah : 1 buah

Kapasitas : 8-10 ton termasuk *ballast*

Penggunaan : Alat pemadat berbutir kasar.



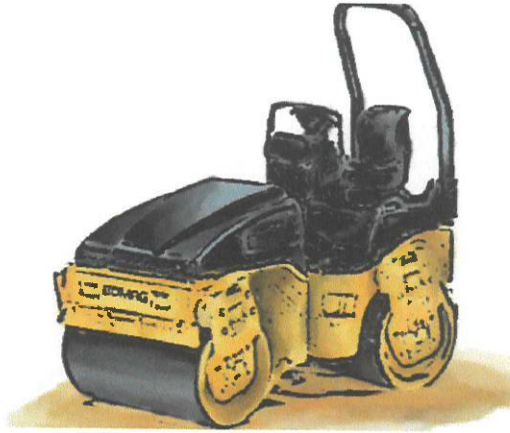
**Gambar 85 Tandem Roller**

h) Tandem Roller Mini

Jumlah : 1 buah

Kapasitas : 1 - 2 ton

Penggunaan : Pemasadatan tanah khususnya di tempat yang sempit.



**Gambar 86 Mini Tandem Roller**

i) Excavator

Jumlah : 1 buah

Penggunaan : Penggalian Tanah



**Gambar 87 Excavator**

j) Pick Hammer

Jumlah : 1 buah

Penggunaan : Penggalian Tanah



[https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/71X2f9axXL\\_SX426.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/71X2f9axXL_SX426.jpg)

**Gambar 88 Pick Hammer**

k) Cangkul

Jumlah : 1 buah

Penggunaan : Penggalian Tanah



<https://static.indopress.id/uploads/2016/11/indopress-Beginilah-Kicauan-Netizen-Sosal-impor-Cangkul.jpg>

**Gambar 89 Cangkul**

l) Stamper

Jumlah : 1 buah

Penggunaan : Pemadatan tanah di tempat yang sempit



<https://www.igmpwz.com/7-0/image>

**Gambar 90 Stamper**

### 8.3 Bahan Bangunan

Material yang diperlukan untuk membangun embung adalah:

- b) Tanah lempung untuk:
  - 1) Urukan homogen tubuh embung,
  - 2) Inti kedap air,
  - 3) Selimut kedap air di dasar, dan
  - 4) Dinding lulus air kolam embung.
- c) Pasir halus hingga kerikil untuk:
  - 1) Urukan *filter*,
  - 2) *Backfil* (penimbunan atau urugan kembali),
  - 3) Semen – tanah,
  - 4) Adukan pasangan batu,
  - 5) Agregat halus beton.
- d) Batu pecah ukuran kecil, kerakal, hingga bongkah (paling besar 20 cm), untuk:
  - 1) Urukan tubuh embung,
  - 2) Urukan salir,
  - 3) Agregat kasar beton,
  - 4) Lapisan pelindung erosi.
- e) Semen untuk pasangan batu dan beton bak air dan bila diperlukan untuk selimut semen-tanah.
- f) Geotekstil untuk *filter* di urukan penyalir.



**Gambar 91 Geotekstil**

- g) Pipa HDPE Ø 1 ¼ " dan Ø 2", dan pipa besi Ø 1 ¼ " untuk jaringan distribusi.
- h) Besi tulangan Ø 8 dan 10 mm untuk penulangan dinding beton bak air.
- i) Kran air dan pelampung.
- j) Geomembran bila diperlukan untuk selimut kolam embung.



**Gambar 92 Geomembran**

Jumlah atau volume setiap jenis material bangunan yang diperlukan dapat dihitung berdasarkan gambar desainnya yang harus dipersiapkan terlebih dahulu.

### 8.3.1 Pasangan Batu



**Gambar 93 Pasangan Batu**

Batu yang akan digunakan untuk pekerjaan pasangan batu ini harus dibersihkan dari bahan yang merugikan, yang dapat mengurangi kelekatan dengan adukan. Sebelum pemasangan, batu harus dibasahi seluruh permukaannya dan diberikan waktu yang cukup untuk proses penyerapan air sampai dengan jenuh.

Untuk struktur pasangan batu yang dibuat dalam galian parit di mana terdapat kestabilan akibat daya lekat tanah atau akibat disediakannya cetakan, harus dilaksanakan dengan mengisi galian atau cetakan dengan adukan setebal 60% dari ukuran maksimum batu yang digunakan dan kemudian dengan segera memasang batu di atas adukan yang belum mengeras. Landasan dari adukan semen paling sedikit setebal 3 cm harus dipasang pada formasi yang telah disiapkan. Landasan adukan ini harus dikerjakan sedikit demi sedikit sedemikian rupa sehingga permukaan batu akan tertanam pada adukan sebelum mengeras. Batu harus ditanam dengan kuat di atas landasan adukan semen sedemikian rupa sehingga satu batu berdekatan dengan lainnya sampai mendapatkan tebal pelapisan yang diperlukan di mana tebal ini akan diukur tegak lurus terhadap lereng. Rongga yang terdapat di antara satu batu dengan lainnya harus diisi adukan dan adukan ini harus dikerjakan sampai hampir sama rata dengan permukaan lapisan tetapi tidak sampai menutupi permukaan lapisan.

Pemasangan batu harus dilaksanakan dengan cara pemasangan adukan mortar kemudian diikuti dengan batu sedemikian sehingga semua batu akan terlapisi dengan adukan mortar. Dalam hal apapun pelaksanaan pemasangan batu tidak boleh dilakukan dengan cara menumpuk batu terlebih dahulu baru dituangkan adukan mortar ke atasnya.

### 8.3.2 Beton

Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus jenis semen portland yang memenuhi SNI 2049:2004 Semen Portland kecuali jenis IA, IIA, IIIA dan IV. Apabila menggunakan bahan

tambahan yang dapat menghasilkan gelembung udara, maka gelembung udara yang dihasilkan tidak boleh lebih dari 5%. Sementara itu, air yang digunakan untuk campuran, perawatan, atau pemakaian lainnya harus bersih, dan bebas dari bahan yang merugikan seperti minyak, garam, asam, basa, gula atau organis. Air harus diuji sesuai dengan dan harus memenuhi ketentuan dalam SNI 6817:2002 *Metode pengujian mutu air untuk digunakan dalam beton*. Campuran beton yang digunakan harus dibuat dan diuji sesuai dengan SNI 2834:2000 *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*.

Beton diklasifikasikan berdasarkan tekanan pada 7 hari dan umur 28 hari dengan ukuran maksimum agregat dan dibuat mengikuti berikut ini.

**Tabel 77 - Klasifikasi beton berdasarkan besarnya tekanan**

Tipe Campuran Beton	Kuat tekan umur 7 hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat tekan umur 28 hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Ukuran agregat maksimum ( mm )	Nilai faktor air semen maksimum (%)	Perkiraan kebutuhan semen (kg/m <sup>3</sup> )
AR $f_c' = 25$ MPa (K-300)	195	300	20	50	400
A $f_c' = 20$ MPa (K-225)	147	225	40 (20)	50	330 (350)
B $f_c' = 15$ MPa (K-175)	114	175	40	50	310
C $f_c' = 10$ Mpa (K-125)	82	125	40	57	250
D $f_c' = 8$ Mpa (K-100)	65	100	40	60	200

**Tabel 78 - Klasifikasi jenis beton**

Tipe	Uraian
AR	Beton bertulang untuk melapis permukaan lantai bendung, mercu bendung, tembok bendung, talang, dan terowongan pengelak.
A	Beton yang digunakan kolam olak/apron bendung.
B	Beton tanpa tulangan, seperti beton siklop, pasangan batu kosong
C	yang diisi adukan, pasangan batu pada bangunan air.
D	Beton tumbuk untuk lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton.
	Beton tumbuk untuk lantai kerja dan pengisi.

Keseragaman kekentalan beton pada setiap adukan adalah perlu. *Slump* adukan beton harus mengikuti tabel berikut ini, setelah beton diendapkan.

**Tabel 79 - Nilai slump beton**

<b>Tipe Campuran</b>	<b>Tipe Konstruksi</b>	<b>Besaran Nilai Slump</b>
AR	Mercu bendung, lantai bendung, talang, dan terowongan pengelak	7,5 – 2,5
A	Unit beton pracetak pelat dan balok	12,5 – 5,0
B	Pelat, dinding, balok dari tembok dan dermaga	15,0 – 7,5
C	Talud pada transisi	12,5 – 5,0
D	Konstruksi massal	5,0 – 2,5
	Lantai kerja	7,5 – 2,5
	Gorong-gorong	7,5 – 5,0
	Fondasi	9,0 – 2,5

Pengambilan contoh, perawatan, dan pengujian dilakukan sesuai dengan SNI 1974:2011 *Cara Uji Kuat Tekan Beton*, SNI 4810:1998 *Metode pembuatan dan perawatan benda uji beton di lapangan*, SNI 2493:2011 *Metode pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium*, SNI 2458:-2008 *Tata cara pengambilan contoh untuk campuran beton segar*.

## **8.4 Konstruksi Tubuh dan Kolam Embung**

### **8.4.1 Penggalan dan Pengurukan Tanah Embung**

#### **8.4.1.1 Galian Tanah Biasa**

Galian tanah biasa adalah pekerjaan galian dengan material hasil galian berupa tanah pada umumnya, yang dengan mudah dapat dilakukan dengan cara manual atau mesin *excavator*. Galian tanah biasa dimaksudkan untuk daerah yang material hasil galiannya terdiri dari tanah, pasir dan kerikil.

#### **8.4.1.2 Galian Tanah Keras/Batu**

Galian Batu harus mencakup galian bongkahan batu atau material lainnya. Penggunaan alat pemecah bertekanan udara, pemboran dan peledakkan harus dipertimbangkan untuk kepraktisan pelaksanaannya.

a) Galian batu tanpa menggunakan bahan peledak

Bila material galian adalah gumpalan (konglomerat) atau batuan lunak, pekerjaan material tersebut tidak cukup padat sehingga masih dapat dibongkar dengan penggaru dan tidak perlu dilaksanakan dengan alat bertekanan udara atau pun diledakkan.

b) Galian batu menggunakan bahan peledak

Apabila dirasa bahwa pekerjaan penggalian tidak praktis dengan menggunakan alat bertekanan udara atau penggaruk hidrolis berkuku tunggal, dan penggalian hanya praktis menggunakan peledakan.

Galian batu termasuk semua batuan padat dan keras di tempat yang sulit dilakukan baik dengan cangkul, *excavator* biasa maupun *pick hammer*, kecuali dengan *excavator* yang dilengkapi dengan *breaker* atau dengan peledakan. Apabila menggunakan peledakan, maka segala peralatan dan material yang diperlukan berikut perizinan dan penanganan peledakan harus sudah diperhitungkan.

#### 8.4.1.3 Pekerjaan Urukan Homogen

Tubuh embung yang didesain dengan tipe ini harus memperhatikan kemiringan lereng dan muka garis freatik atau rembesan. Kemiringan lereng umumnya cukup landai terutama untuk menghindari terjadinya longsor di lereng hulu pada kondisi surut cepat serta menjaga stabilitas lereng hilir urugan pada kondisi rembesan langgeng. Untuk mengontrol rembesan diperlukan pembuatan sistem penyalir di kaki hilir urugan. Garis freatik harus diusahakan agar tidak ke luar lewat lereng hilir.

Material galian yang memenuhi persyaratan yang akan digunakan sebagai material urukan harus bebas dari bahan-bahan organik dalam jumlah yg merusak, seperti daun, rumput, akar dan kotoran.

#### 8.4.1.4 Pekerjaan Urukan Majemuk

Urukan majemuk terdiri atas urukan kedap air, urukan semi kedap air (transisi) dan urukan lulus air.

Urukan kedap air atau inti kedap air umumnya dari lempung atau tanah berlempung, dan ditempatkan vertikal didesain di bagian tengah. Tanah material urukan inti harus mengandung lempung minimal 25% (perbandingan berat). Bagian inti tanah ini dilindungi dengan urukan semi kedap air di bagian hulu dan hilirnya. Sedangkan bagian paling luar terdiri dari urukan lulus air. Dengan susunan seperti itu koefisien kelulusan air dan gradasi material berubah secara bertahap, makin ke luar makin besar.

Untuk mencegah terangkutnya butiran halus material urukan inti ke dalam urukan paling luar yang lulus air oleh aliran rembesan, maka urukan semi kedap air di hulu dan di hilir inti kedap air harus dapat berfungsi sebagai "filter" dan transisi.

Apabila tanah bahan inti tidak dapat diperoleh di tempat, maka inti dapat dibuat dari bahan substitusi, misal beton atau semen tanah. Bila bahan substitusi dipakai maka inti menjadi relatif tipis, tebal minimal 0,60 m, dan disebut dinding diapragma. Urukan hanya boleh diklasifikasikan sebagai "timbunan pilihan" bila digunakan pada lokasi atau untuk maksud urukan pilihan yang telah ditentukan. Urukan pilihan harus terdiri dari bahan tanah atau tanah berbatu yang memenuhi semua ketentuan diatas untuk urukan biasa dan sebagai tambahan harus memiliki sifat-sifat tertentu yang tergantung dari maksud penggunaannya. Dalam segala hal, seluruh urukan pilihan bila dipadatkan sampai 100% kepadatan kering maksimum sesuai dengan SNI 03-1742-1989.

Dalam pekerjaan urukan ini harus dilaksanakan tes uji urukan (*trial embankment*) untuk menentukan efektifitas dari beberapa metode pemadatan dari material yang tersedia untuk pekerjaan urukan. Sasaran hasil dari uji test urukan adalah untuk mengevaluasi efektifitas dari metode pemadatan yang berkaitan dengan jenis dan ukuran dari alat pemadat, jumlah lintasan untuk ketebalan lapisan yang disyaratkan, efek getaran terhadap kadar air dan aspek lain dari pemadatan.

Tidak diizinkan adanya semak, akar, rumput atau material tidak memenuhi syarat lain yang akan dipakai sebagai material urukan. Kelayakan dari setiap bagian fondasi untuk penempatan material urukan dan semua material yang digunakan dalam konstruksi urukan adalah sesuai dengan spesifikasi teknik. Selain itu, apabila ditemukan/dijumpai tanah yang berbeda pada waktu pelaksanaan dikemudian hari, maka percobaan-percobaan lebih lanjut harus dilaksanakan terlebih dahulu. Bila hasil percobaan pemadatan tanah dilaksanakan untuk tanggul pada bangunan yang permanen, percobaan tersebut akan dianggap sebagai suatu bagian pekerjaan dalam penyelesaian pekerjaan tersebut, dan apabila pekerjaan tersebut gagal serta tidak memenuhi persyaratan, pekerjaan permanen yang didasarkan pada percobaan yang gagal tersebut harus dibongkar kembali.

#### **8.4.1.5 Tata Cara Pelaksanaan Penimbunan**

- a) Sebelum pekerjaan penimbunan dilakukan, permukaan tanah harus dibersihkan dan dikupas atau digali hingga mencapai kedalaman yang ditunjukkan dalam gambar. Jika sampai kedalaman tersebut masih terdapat retakan-retakan tanah, maka penggalian dilanjutkan sampai pada elevasi 15 cm di bawah tanpa retakan-retakan. Daerah penimbunan harus bersih dari tunggul-tunggul pohon, akar, rumput, humus-humus dan unsur lain yang bisa membusuk, serta semua lubang-lubang dan bekas-bekas yang terjadi pada permukaan

tanah harus diratakan. Permukaan tanah yang telah dikupas atau digali tersebut, sebelum pelaksanaan pekerjaan urukan harus dibuat alur-alur terbuka sedalam 20 cm dengan jarak antara alur lebih kurang 1 m. Kondisi kadar air permukaan yang akan ditimbun harus dijaga pada kadar air optimumnya, jika kadar airnya berlebih dapat dibiarkan melalui pengeringan secara alami dan jika kekeringan dapat dilakukan pembasahan dengan cara penyemprotan air secukupnya.

- b) Secara berurutan material harus ditempatkan agar supaya menghasilkan distribusi material yang baik.
- c) Penimbunan harus dilakukan lapis demi lapis dengan ketebalan maksimum hamparan material sebelum dipadatkan adalah 30 cm.
- d) Tanah asli harus rapat air dan tidak boleh ada rembesan pada tanah urukan yang dianggap membahayakan.
- e) Ketika masing-masing lapisan material telah dikondisikan untuk kadar air yang diperlukan, kepadatan kering lapangan yang dihasilkan minimal 95% dari kepadatan kering maksimum laboratorium sesuai dengan SNI 03-1742-1989.
- f) Setiap lapis dari material urukan harus memenuhi kadar air untuk pemadatan yang dibutuhkan dengan menggunakan alat *vibrator roller* dengan berat lebih dari 9 ton atau alat pemadat lain yang telah disetujui. Ini akan dapat dipenuhi dengan dilewati alat pemadat kira-kira 6 lintasan setiap lapis atau disesuaikan dengan hasil uji coba urukan/*trial embankment*.
- g) Untuk material yang ditempatkan berdekatan dengan struktur beton, penempatannya harus ditunda atau menunggu hingga struktur telah mencapai umur 28 hari. Material akan ditempatkan sepanjang mungkin disekitar struktur beton untuk memperkecil pembebanan tidak seimbang pada struktur, walaupun telah dipertimbangkan dalam perencanaan.

#### 8.4.2 Pemadatan Tanah Embung

Inti tubuh embung dibuat di atas fondasi kedap air. Apabila ada lapisan fondasi lulus air, diperlukan tindakan:

- a) Menggali habis lapisan fondasi lulus air, bila pelaksanaannya mudah,
- b) Membuat dinding halang untuk memotong lapisan lulus air.

Sebelum pemadatan dilakukan, terlebih dahulu dilakukan tes uji urukan (*trial embankment*) untuk menentukan efektifitas dari beberapa metode pemadatan dari material yang tersedia untuk pekerjaan urukan. Sasaran hasil dari uji test urukan adalah untuk mengevaluasi efektifitas dari metode pemadatan yang berkaitan dengan jenis dan ukuran dari alat pemadat, jumlah lintasan untuk ketebalan lapisan yang disyaratkan, efek getaran terhadap kadar air dan aspek lain dari pemadatan.

Pemadatan tanah harus dilakukan lapis demi lapis menggunakan alat berat dengan cara dan ketentuan sebagai berikut:

#### 8.4.2.1 Tata Cara Pemadatan Tanah Berkohesi (Lempung)

- a) Bersihkan tempat penambangan material urukan (*borrow area*) dari bahan organik, dengan mengupas permukaannya,
- b) Gali dan kemudian angkutlah material urukan ketempat tubuh embung dan tumpahkan bahan di atas tanah yang telah dipadatkan terlebih dahulu,
- c) Hamparkan tanah material urukan menjadi rata (lapisan) dengan ketebalan 25 cm, di atas lapisan tanah yang telah dipadatkan lebih dulu,
- d) Siram lapisan tanah butir (c) untuk mendapatkan kadar air  $-3 \leq w_f \leq 3\%$  OMC dan kriteria kepadatan minimal 90% MDD,
- e) Gilaslah lapisan tanah dengan alat pemadat yang sesuai sehingga tebalnya berkurang dari 25 cm menjadi 15 cm yang dapat dicapai kira-kira 6-8 kali lintasan.
- f) Ulangi pekerjaan (b), (c), (d), dan (e) hingga urukan mencapai elevasi yang dikehendaki.

Apabila tempat pemadatan cukup luas (contoh: tubuh embung) gunakan alat pemadat *sheepfoot roller*, atau bila tidak ada, gunakan *tandem roller*. Bila tempat pemadatan sempit (contoh: di puritan) gunakan alat *stamper*.

#### 8.4.2.2 Tata Cara Pemadatan Tanah Tak Berkohesi

- a) Tata cara seperti di atas harus dilakukan pula untuk tanah jenis ini, kecuali langkah no.(d) tidak diperlukan, sehingga urutannya adalah (a), (b), (c), dan (e), dengan catatan untuk pekerjaan (e) tebal lapisan menjadi 20 cm,
- b) Alat yang diperlukan untuk pemadatan tanah jenis ini adalah *tandem roller* bila tempat cukup luas, dan *stamper* bila tempat sempit,
- c) Alat pemadat zona tanah lempung tidak boleh melintasi urukan tanah tak berkohesi agar urukan tidak terkotori lempung.

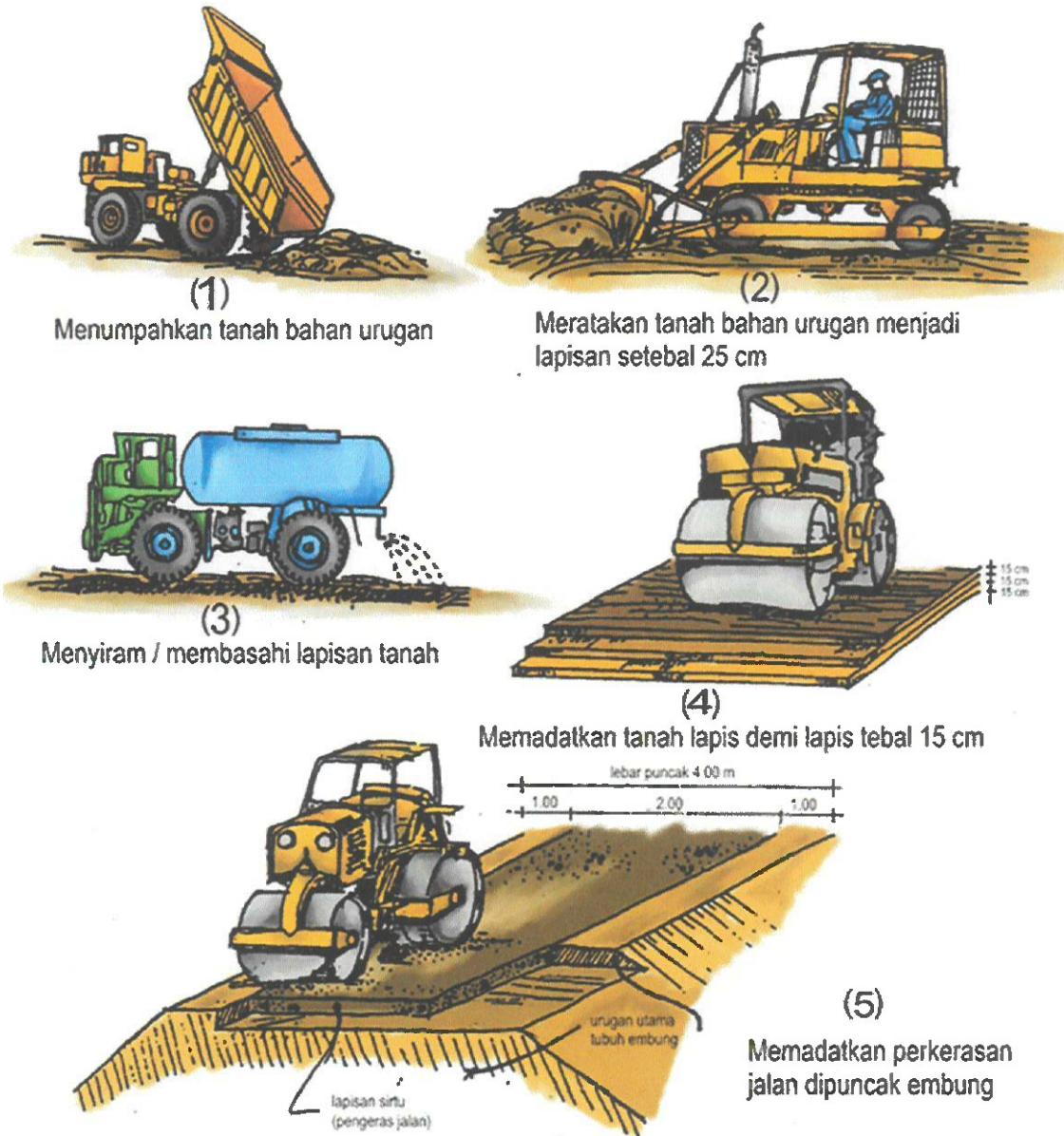
#### 8.4.2.3 Tata Cara Pemadatan Tanah Ekspansif

Jika tanah untuk urukan diindikasikan merupakan tanah ekspansif maka dapat dipilih salah satu dari beberapa cara berikut:

- a) Jika terdapat tanah non-ekspansif, maka material urukan dapat diganti atau jika tidak mencukupi jumlahnya maka dapat dicampur dengan tanah ekspansif yang ada.
- b) Jika terdapat bahan tambahan seperti kapur, semen atau *fly-ash* maka salah satu bahan

tersebut dapat dicampur dengan tanah non-ekspansif sebesar 5% - 7% untuk menurunkan indeks plastisitas dan potensi mengembang. Pencampuran dilakukan sebaik mungkin dengan menggunakan *backhoe*.

- c) Jika tidak tersedia bahan tambahan atau biaya yang terlalu mahal maka setelah tubuh embung dapat ditutup menggunakan geomembran sebagai penghalang kelembaban horisontal pada tanah ekspansif.
- d) Jika tanah ekspansif tetapi tidak bersifat dispersif dapat menggunakan urukan batu/rip-rap untuk memberikan beban ke tubuh embung, sehingga sifat kembang susutnya berkurang.



Gambar 94 Prosedur Pemadatan Tanah

Berdasarkan gambar di atas, dapat dilihat bahwa :

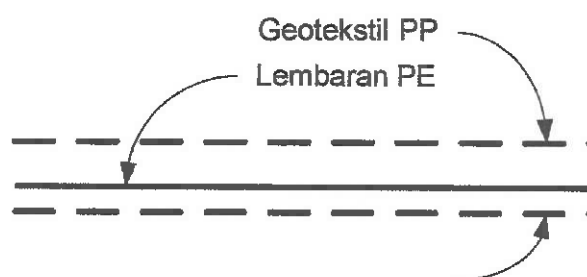
- b) Gambar (1) sampai Gambar (4) – Prosedur Pemadatan Tanah Lempung
- c) Gambar (5) – Pemadatan Jalan di Puncak Hamparan campuran pasir, kerikil, kerakal (sirtu) di puncak tubuh embung, lebar minimal 2 m, tebal 30 cm. Kemudian gilas sehingga tebalnya menjadi 20 cm.

#### 8.4.2.4 Tata Cara Konstruksi dan Penempatan Geomembran

Konstruksi dan penempatan geomembran harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

##### 1. Sifat fisik

- a) Material geomembran bersifat kedap air dengan konstruksi komposit berupa bahan polyethylene yang berada di antara dua lembar teranyam (*woven*) atau tak teranyam (*nonwoven*) polypropylene atau bahan polyester. Geomembran harus lembam terhadap bahan kimia dan hidrokarbon dan harus tahan terhadap lumut, akar, sinar ultra violet, serangga dan binatang pengerat.



Gambar 95 Konstruksi komposit geomembran

- b) Geomembran harus memenuhi persyaratan nilai-nilai gulungan rata-rata minimum (*minimum average roll values*) untuk sifat-sifat yang perlihatkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 80 Persyaratan minimum sifat-sifat geomembran

Sifat	Persyaratan	Metoda Pengujian
Lebar, m (feet)	2,74 (9)	-
Tebal, mm (mils)	0,36 (14)	ASTM D5199
Grab tensile strength, kN (lbs.), pada saat putus atau perpanjangan 100% (tergantung mana yang terjadi lebih dulu)	756,16 (170)	ASTM D4632
Grab elongation saat putus, %	20	ASTM D4632
Kuat tusuk, kN (lbs.)	311,36 (70)	ASTM D4833

Sifat	Persyaratan	Metoda Pengujian
Kuat pecah, kPa (psi.)	1722,5 (250)	ASTM D3786
Sobekan trapezoid, kN (lbs.)	177,92 (40)	ASTM D4533
Permittivity	0 max	ASTM D4491

Nilai gulungan rata-rata minimum geomembran menyatakan hasil uji rata-rata dari suatu bagian geomembran pada arah yang terlemah yang diambil menurut ASTM D 4354 dan pengujiannya berdasarkan metoda uji di atas.

Contoh-contoh Geomembran harus diambil untuk diuji, tetapi contoh tidak boleh diambil dari ujung gulungan sejarak 1,52 m (5 feet) dari ujung tersebut. Panjang minimum contoh geomembran adalah 0,91 m (3 feet) dengan lebar gulungan penuh. Minimum satu sampel diambil untuk masing-masing bagian. Banyaknya contoh yang diambil tergantung pada perekayasa yang ditunjuk.

Kontraktor harus mengajukan contoh geomembran yang akan digunakan, yang dipilih berdasarkan persyaratan sifat-sifat material sebagaimana yang telah dibahas terdahulu, sebelum diaplikasikan di lapangan. Maksimal 3 buah produk geomembran dievaluasi dan diuji oleh pemberi tugas. Masing-masing kontraktor diharuskan menyertakan informasi produk dan sertifikat analisis.

## 2. Persyaratan pengujian

Uji laboratorium untuk memenuhi persyaratan-persyaratan di atas belum tercakup dalam Standar Nasional Indonesia (SNI), sehingga harus mengacu pada standar-standar yang dikeluarkan oleh ASTM (*American Society for Testing and Materials*), PGI (*PVC Geomembrane Institute*) dan GRI (*Geosynthetic Research Institute*).

## 3. Pengepakan (*packaging*)

Persyaratan pengepakan terdiri dari hal-hal berikut:

- a) material geomembran dipak dalam gulungan-gulungan dengan panjang dan lebar seperti yang telah ditentukan dalam rencana, sebagaimana yang diatur oleh perekayasa, atau seperti yang tercantum di dalam perintah pembelian yang diberikan oleh pemberi kerja;
- b) penyerahan material sebagai satu potongan per gulungan;
- c) penggabungan potongan-potongan material pada gulungan tidak diijinkan;
- d) gulung material geomembran (dengan ukuran yang sama) ke dalam bentuk silinder yang

sesuai untuk mempermudah penanganan dan pembukaan gulungan;

- e) bungkus masing-masing gulungan bahan ke dalam kontainer yang sesuai untuk melindungi bahan tersebut dari kerusakan akibat sinar ultraviolet dan kelembaban selama penyimpanan dan penanganan.

#### 4. Pemberian etiket dan label

Tandai masing-masing gulungan dengan etiket atau label yang dilekatkan dengan aman di luar gulungan pada salah satu ujung gulungan. Etiket atau label tersebut harus mencantumkan hal-hal berikut:

- a) nomor gulungan yang unik, dinyatakan secara berurutan;
- b) nomor tempat atau nomor kendali dari pabrik, jika ada;
- c) nama pabrik pembuat;
- d) nama merek produk;
- e) nomor katalog bahan dari pabrik, jika ada;
- f) lebar gulungan dalam meter;
- g) panjang gulungan dalam meter.

#### 5. Konstruksi dan penempatan geomembran

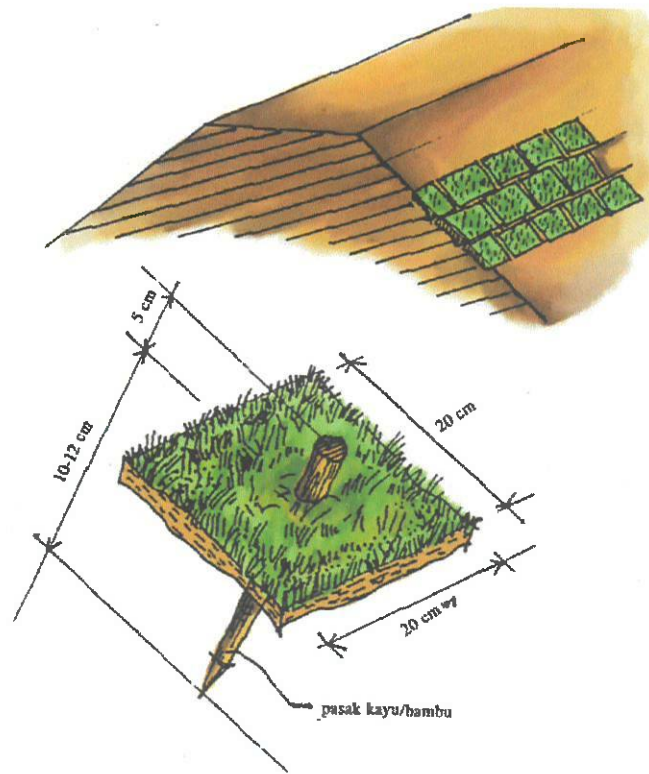
- a) Geomembran harus dipasang dan dihamparkan secara tepat sesuai dengan Gambar Rencana atau petunjuk Direksi (Pengawas Lapangan), persyaratan-persyaratan dalam pedoman ini, serta rekomendasi dan persyaratan pemasangan yang dikeluarkan oleh pihak pabrik.
- b) Peralatan untuk menempatkan geomembran, baik secara mekanik maupun manual, harus mampu menangani keseluruhan gulungan geomembran dan dapat membaringkan geomembran tanpa menimbulkan kerutan dan lipatan pada posisi yang sudah ditentukan. Peralatan yang digunakan harus sesuai dengan rekomendasi pihak pabrik atau persetujuan pihak perekayasa.
- c) Permukaan tanah tempat geomembran akan digelar haruslah bersih dari benda-benda tajam/runcing dan tak yang dapat menimbulkan kerusakan pada geomembran.
- d) Permukaan tanah harus rata, Ketidakrataan permukaan tidak boleh melebihi 10 cm.
- e) Geomembran tidak boleh dipasang pada saat kondisi cuaca, yang tidak memungkinkan di mana terjadi hujan lebat atau cuaca/udara yang sangat panas. Pemasangan geomembran termasuk penyambungan/penjahitan (*seaming*) harus dilakukan pada suhu antara 4 °C (40 °F) sampai dengan 40 °C (104 °F). Instalasi juga tidak boleh dilakukan pada saat udara

sangat lembab dan angin bertiup sangat kencang.

- f) Sambungan berupa *overlap* harus setidaknya selebar 61 cm (24 inci). Geomembran yang terentang dari parit vertikal sampai tanah dasar harus juga di-*overlap* minimum 61 cm (24 inci). Sambungan berupa jahitan tidak diperkenankan kecuali jika sambungan tersebut dilakukan di pabrik dan telah terbukti kedap air.
- g) Penimbunan material urukan setelah penggelaran geomembran harus dilakukan dengan baik sehingga geomembran tidak mengalami beban melebihi tegangan ijin material. Material urukan harus disebarakan secara merata tiap lapis dengan tinggi urukan tidak melebihi 50 cm dan penimbunannya harus dilakukan pada satu arah dan dimulai dari satu titik tertentu. Peralatan konstruksi tidak boleh berada langsung di atas geomembran dan baru dapat diijinkan beroperasi di atasnya bila tinggi urukan telah mencapai paling tidak 30 cm. Kerusakan geotekstil selama penimbunan material urukan harus diperbaiki atas petunjuk Direksi (Pengawas Lapangan).

#### **8.4.3 Pemasangan Gebalan Rumput**

- a) Tempelkan gebalan rumput pada permukaan lereng hilir urukan tubuh embung. Sambungan vertikal tidak boleh dalam satu garis lurus. Ukuran gebalan 20 x20 cm.
- b) Pasang pasak bambu/ kayu, Ø 10-15 mm panjang 15 cm, pada gebalan rumput untuk memperkuat ikatannya dengan urukan.
- c) Pemasangan dilakukan sedapat mungkin dimulai dari baris atas dan dilanjutkan dengan baris di bawahnya.



Gambar 96 Susunan gebalan rumput

### 8.5 Konstruksi Pengelak

Bangunan pengelak digunakan untuk mengalirkan air sungai yang ada agar tidak mengganggu proses pembuatan tubuh embung. Proses pengelakan sungai pada pelaksanaan pembangunan embung ini direncanakan pada musim kemarau untuk memudahkan dalam pengelakannya.

Bangunan pengelak harus mampu menampung debit sungai selama proses pelaksanaan. Oleh karena itu, pekerjaan bangunan pengelak ini harus dilakukan saat periode debit sungai kecil, yaitu pada musim kemarau.

Berikut ini adalah tahapan dari pelaksanaan konstruksi bangunan pengelak.

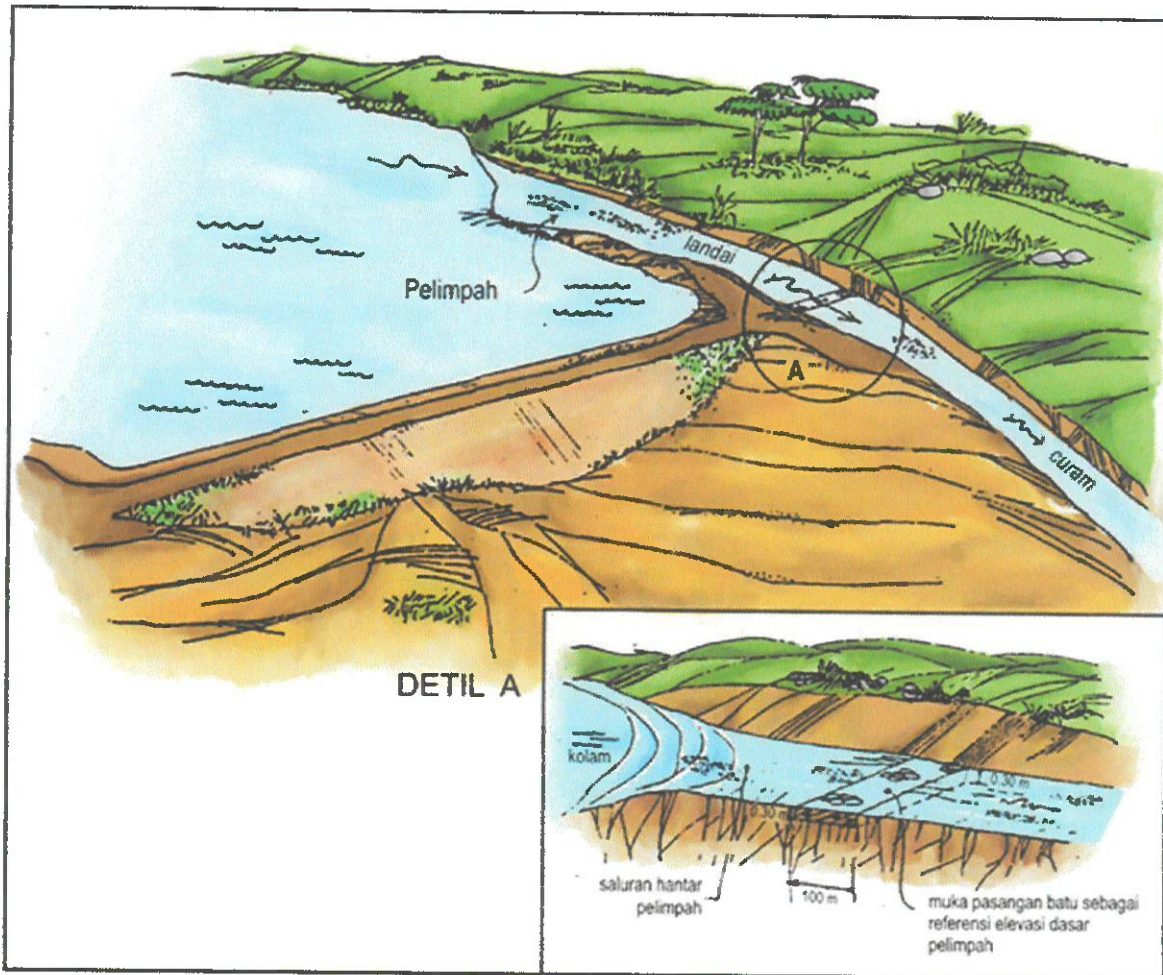
- Dilakukan penggalian rencana saluran pengelak, tetapi saluran tersebut belum disambungkan dengan sungai yang akan dialihkan.
- Apabila penggalian sudah selesai, selanjutnya aliran dialihkan melalui saluran pengelak secara bertahap bersamaan dengan pembangunan *cofferdam* sehingga seluruh alirannya teralihkan ke saluran pengelak.
- Dibuat *cofferdam* sesuai dengan periode ulang yang ditentukan untuk pembangunan tubuh embung dan *spillway*.
- Setelah *cofferdam* selesai dibangun, maka lokasi pembangunan embung akan kering dan pelaksanaan konstruksi pelimpah, tubuh embung, dan kelengkapannya dapat dilaksanakan.

- e) Selanjutnya adalah pengisian embung (*impounding*), bangunan pengelak bisa ditutup perlahan bersamaan dengan pengisian embung dan selanjutnya bisa dimanfaatkan sebagai bangunan pengambilan.

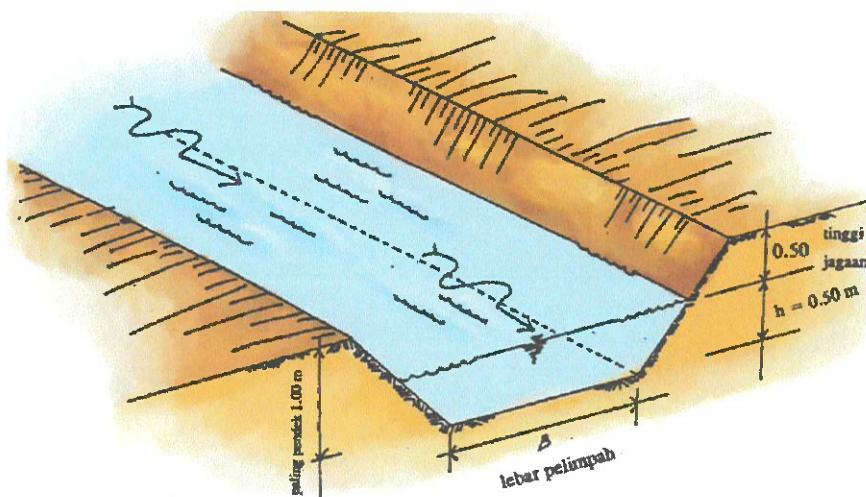
## 8.6 Konstruksi Pelimpah

Konstruksi pelimpah dapat memperhatikan alur pekerjaan sebagai berikut:

- a) Gali saluran pelimpah di bukit tumpu dengan *dozer* atau *ripper*, terpisah dari tubuh embung, kapasitas  $Q_{50}$ . Saluran ini bermula dari kolam embung dan turun menuju alur di hilir tubuh embung.
- b) Tanam rumput – pelindung erosi dari jenis:
  - 3) Jenis yang tumbuh rendah dan rapat (*encephalum sp*) di bagian saluran yang landai (hulu).
  - 4) Jenis yang tumbuh tinggi (gajah) di bagian saluran yang curam (hilir).
- c) Buat pelat beton/ pasangan batu (ukuran: tebal 30 cm, lebar 100 cm) rata dengan dasar saluran dan tempatkan di saluran bagian hulu sebagai referensi elevasi dasar pelimpah (detil A).



Gambar 97 Pelimpah tanah di samping tubuh embung



Gambar 98 Dimensi saluran pelimpah

Lebar saluran pelimpah (B dalam meter) untuk berbagai debit (Q dalam  $m^3/s$ ) dan kemiringan dasar (i).

**Tabel 81 Hubungan debit dan kemiringan dasar untuk lebar saluran pelimpah  
\*tambahkan kolam olak**

Debit (m <sup>3</sup> /s)	Kemiringan dasar saluran					Keterangan
	0,001	0,002	0,004	0,005	0,0075	
5	35	18	12	8	7	Dasar dan dinding saluran dilindungi terhadap erosi dengan rumput rendah (misal: encephalum Sp).
10	-	35	22	16,50	13	
15	-	-	32	23	18	
20	-	-	42	32	25	
25	-	-	-	38	32	
30	-	-	-	46,50	37	

Sumber: SNI 8063:2015

## 8.7 Konstruksi Sistem Distribusi

Berikut langkah – langkah pekerjaan yang dilakukan untuk pembangunan sistem distribusi:

- a) Alat sadap terapung, dibuat dengan cara ujung pipa utama dilubangi (*perforated*) sepanjang 1,5 m dan dibungkus dengan *filter* geotekstil, kemudian digantungkan pada pelampung (misal bola plastik).
- b) Pipa utama, dari bahan HDPE Ø 2" dipasang pada galian kemudian diurug kembali. Di bawah tubuh embung pipa diberi lembaran karet 30 cm x 30 cm setiap jarak 5 m kemudian diurug lempung plastik dipadatkan dalam keadaan basah.
- c) Pipa sekunder, ada 3 buah semua dari bahan HDPE Ø 1 1/4". Pipa ini dipasang dalam parit yang ditimbun kembali, langsung disambungkan pada pipa utama, dan masing-masing menuju ke tiga buah bak air.
- d) Bak air, ada 3 jenis, yaitu:
  - 1) Bak air bersih untuk penduduk di pemukiman, berukuran : lebar 1 m, panjang 2 m, tinggi 150 cm.
  - 2) Bak air untuk hewan ternak dibuat di tempat penggembalaan, berukuran lebar 1 m, panjang 2 m, tinggi 0,6 m.
  - 3) Bak air untuk tanaman dibuat di kebun, berukuran lebar 0,8 m, panjang 9 m, serta tinggi 0,6 m.
- e) Penguras, berupa pipa bercabang, dipasang sebuah di kaki hilir tubuh embung dan selanjutnya dipasang di pipa utama pada setiap jarak maksimal 100 m, dan minimal dipasang dua buah.

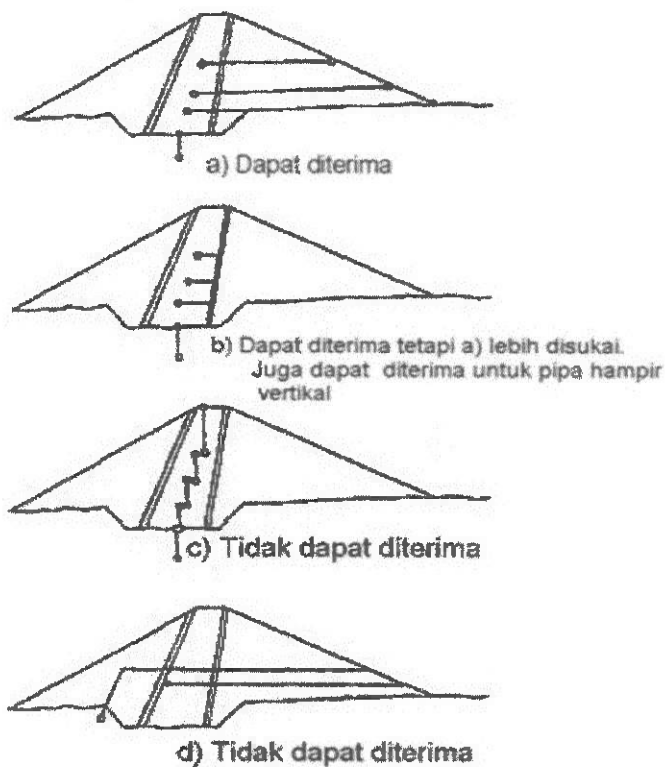
## **8.8 Pemasangan Instrumentasi**

### **8.8.1 Instrumentasi Bangunan Baru**

Terdapat banyak pilihan dalam desain pemasangan sistem instrumentasi untuk bangunan baru. Beberapa pertimbangan yang harus diperhatikan dalam pemasangan instrumen dapat diuraikan sebagai berikut:

- a) Pemasangan tabung, dan kabel instrumen dalam inti embung harus dipasang horizontal seperti diperlihatkan pada Gambar 99 (a) dan ditarik sampai dengan lereng udik ke dalam rumah instrumen.
- b) Cara pemasangan seperti Gambar 99 (b) yaitu menarik horizontal sampai dengan perbatasan antara inti, dan filter bisa saja dilakukan, tetapi tidak dianjurkan.
- c) Pemasangan tabung, dan kabel secara vertikal, dan horizontal seperti diperlihatkan pada Gambar 99 (c) tidak diperkenankan karena akan mempersulit proses pemadatan waktu konstruksi. Pemasangan secara vertikal dapat saja dilakukan melalui zona lain dari tubuh embung.
- d) Tabung horizontal, dan kabel jangan diperpanjang secara horizontal penuh melalui bagian udik, inti (Gambar 99 (d)), dan keluar melalui bidang permukaan hilir embung tidak dianjurkan.

Selain itu, keterlibatan instrumentasi dalam konstruksi embung dapat (hampir tak terelakkan) menyebabkan keterlambatan pada jadwal pelaksanaan. Penjadwalan pemasangan kabel harus dikoordinasikan dengan kegiatan lain untuk menghindari kerusakan pada kabel oleh alat konstruksi. Instrumen harus cukup terlindung, dan di tempatkan dengan tanda-tanda yang jelas misalnya dengan pemasangan bendera.



**Gambar 99 Contoh penempatan tabung, dan kabel yang diperkenankan, dan tidak diperkenankan**

### 8.8.2 Instrumentasi Bangunan yang Ada

Pemasangan instrumen di permukaan embung, dan penggantian sensor yang tidak tertanam pada umumnya tidak menimbulkan kesulitan dalam pemasangan. Akan tetapi, satu-satunya pilihan untuk pemasangan atau penggantian instrumen pada lapisan di bawah permukaan embung atau tanggul adalah dengan pengeboran. Tekanan air atau udara yang digunakan pada waktu pengeboran dalam lubang bor dapat merusak embung karena hidrofraktur. Hidrofraktur adalah proses yang dapat menimbulkan terbentuknya retakan, bidang geser, jalur rembesan, dan atau kondisi merusak lain yang dapat terjadi selama proses pengeboran. Inti kedap terutama sangat rentan atau mudah rusak pada waktu dilakukan pengeboran. Oleh. Oleh karena itu, dari segi praktis pengeboran dalam embung atau fondasi menggunakan tekanan udara (termasuk udara dengan busa) tidak diperbolehkan.

### 8.9 Pelaksanaan Pengisian Awal Embung

Pengisian awal embung dilakukan setelah pelaksanaan konstruksi embung selesai. Permohonan pengisian embung harus sudah memenuhi persyaratan teknis sebagai berikut.

- a. Laporan akhir pelaksanaan konstruksi
- b. Rencana pengisian awal embung
- c. Rencana pengelolaan embung

Izin pengisian awal embung paling sedikit memuat:

- a) Identitas Pembangun embung
- b) Lokasi embung yang dibangun
- c) Jenis dan tipe embung yang dibangun
- d) As built drawing
- e) Rencana pengisian awal embung
- f) Ketentuan hak dan kewajiban

Dalam jangka waktu 1 (satu) tahun sejak diterbitkannya izin pengisian awal embung, Pembangun embung wajib melaksanakan pengisian awal embung sesuai dengan rencana pengisian awal embung.

Kegiatan yang dilakukan saat pengisian awal embung di dalam alur sungai antara lain:

**a) Penutupan pintu pengelak**

Waktu penutupan pintu pengelak hendaknya dipilih saat cuaca cerah dan debit sungai kecil agar kenaikan muka air tidak berjalan terlalu cepat. Sebelum pelaksanaan penutupan sebaiknya dilakukan pencarian informasi prakiraan cuaca dari instansi yang mengurus bidang klimatologi dan geofisika untuk memilih waktu penutupan yang tepat. Disamping itu dengan perkiraan debit sungai yang akan terjadi, diperhitungkan butuh berapa lama elevasi muka air embung akan naik sampai ketempat peralatan yang akan memasang/menurunkan pintu pengelak, atau mencapai mulut *intake* bangunan pengeluaran sehingga air dapat segera dimanfaatkan untuk mengecek respons perilaku embung terhadap beban yang diterima. Penutupan pintu pengelak dilakukan dengan cara mengangkat pintu pengelak dari tempat penyimpanan ke tempat yang disediakan pada mulut pengelak. Pengangkatan dapat dilakukan dengan alat angkat bergerak (*mobile crane*) atau dengan kabel dan alat angkat yang diletakkan di puncak embung.

Untuk pengangkatan dengan *mobile crane*, perlu disediakan jalan akses untuk menuju dan meninggalkan lokasi penutupan pintu. Masalah yang sering dihadapi kadang-kadang kondisi medan yang tidak memungkinkan atau sulit untuk menyiapkan jalan akses ini. Untuk pengangkatan dengan menggunakan kabel dan alat angkat yang diletakkan di puncak embung, adalah penyaluran beban pintu pengelak ke alat angkat di puncak embung lewat kabel, kadang-kadang tidak berjalan dengan mulus. Karenanya, sebelum pelaksanaan penutupan, lebih dulu perlu dilakukan uji coba untuk memastikan bahwa pengangkatan pintu dapat berjalan lancar. Pada pintu pengelak, kadang-kadang disiapkan lubang untuk menyalurkan air guna pemberian air ke daerah hilir selama pengisian embung sekaligus untuk mengurangi kecepatan kenaikan muka air embung. Lubang kemudian disambung dengan katup/kelep dan pipa ke arah hilir. Dalam hal ini perlu dipersiapkan suatu cara untuk

penutupan katup, apakah dengan penyelaman atau dengan cara lain. Setelah pintu pengelak ditutup, biasanya masih akan terjadi kebocoran dari sekeliling pintu yang dapat mengganggu pekerjaan pembetonan. Untuk itu, perlu disiapkan pipa drainase guna menyalurkan aliran bocoran ke arah hilir. Ukuran pipa tergantung besarnya debit bocoran, biasanya berkisar 7 sampai 10 cm. Pipa drainase nantinya akan tertanam didalam beton *plugging*; setelah beton mengeras, aliran didalam pipa dimatikan.

**b) Pembetonan bangunan pengelak (*plugging*)**

Setelah pintu pengelak berhasil ditutup, segera dilakukan pembetonan di dalam terowongan pengelak yang secara permanen akan menahan beban tekanan air dalam embung, karena pintu pengelak didesain untuk menahan beban tekanan air yang tidak setinggi muka air embung dalam kondisi penuh. Apabila terowongan atau gorong-gorong/*conduit* pengelak nantinya dimanfaatkan untuk saluran *intake*, kadang-kadang diperlukan pembetonan di dua tempat, yaitu pembetonan hulu yang terletak di hulu pertemuan terowong pengelak dengan saluran *intake*, dan pembetonan utama yang terletak di bagian tengah terowongan, tepatnya pada garis lurus poros atau as memanjang *grouting* tirai. Apabila saluran pengelak berupa *conduit*, pembetonan hulu dapat dilakukan melalui lubang yang disiapkan pada bagian atas *conduit*. Cara ini dapat dilakukan apabila terdapat jalan akses menuju lubang pembetonan dan kenaikan muka air embung tidak terlalu cepat, karena waktu yang tersedia untuk pembetonan hanya selama muka air embung belum mencapai lubang pembetonan. Sebelum dilaksanakan pembetonan, lebih dahulu harus dilakukan pekerjaan persiapan, yang mencakup:

- Pembersihan permukaan beton di dalam terowongan atau conduit tempat pembetonan akan dilakukan; permukaan harus benar-benar bersih dari semua kotoran.
- Penyiapan material campuran beton.
- Penyiapan cetakan untuk beton
- Penyiapan pipa drainase dan pipa untuk pemberian air ke hilir selama pengisian embung sekaligus untuk menjaga agar muka air embung tidak terlalu cepat naik yang sekaligus difungsikan sebagai pengeluaran darurat (*emergency release*)
- Penyiapan peralatan pembetonan, antara lain: pencampur beton/mixer, mobil pengangkut beton, pompa beton, pompa beton *booster*, pipa penyalur, *vibrator*, dan lain-lain.
- Penyiapan sistem pendinginan (*cooling system*) beton. Pendinginan beton dapat dilakukan dengan cara menurunkan suhu beton sebelum pengecoran (*pre-cooling*). Cara ini biasa dilakukan dengan memberi balok-balok es pada air untuk pencampuran beton. Cara kedua adalah pendinginan yang dilakukan setelah beton dicor (*post- 21 cooling*), yang dilakukan dengan memberi sirkulasi air di dalam beton. Untuk ini perlu

disiapkan jaringan pipa sirkulasi air yang nantinya akan tertanam di dalam beton plugging.

- Penyiapan pipa grouting kontak untuk mengisi celah antara permukaan beton dengan lapisan beton pelindung (*concrete lining*) terowongan atau conduit bagian atas
  - Penyiapan sistem ventilasi dan sistem penerangan
  - Untuk menahan air balik dari hilir, kadang-kadang perlu disiapkan pula *coffer dam* hilir.
- Untuk kemudahan pelaksanaan pembetonan dan mengurangi panas yang timbul pada beton baru, biasanya pengecoran dilakukan dalam dua atau tiga tahap pengecoran dengan selang waktu satu hari. Setelah pembetonan selesai, segera dilakukan pekerjaan pemasangan hidromekanikal pada mulut intake dan di dalam terowongan yang meliputi antara lain: kisi-kisi/saringan, pintu, pipa aerasi, pipa pelindung (*lining*), katup, dan lain-lain.

**c) Pemantauan, pengawasan dan pengendalian pelaksanaan pengisian**

Pemantauan, pengawasan dan pengendalian pelaksanaan pengisian dilaksanakan sesuai dengan rencana pemantauan, rencana pengawasan dan rencana pengendalian pelaksanaan pengisian. Pemantauan pengisian awal embung dilakukan antara lain terhadap:

- Perilaku embung dan beban luar
- Fungsi dari peralatan atau komponen-komponen embung
- Hal-hal lain yang dapat mengancam fungsi dan keamanan embung
- Keselamatan penduduk sekitar embung dan embung akibat penggenangan embung

**d) Evaluasi pelaksanaan pengisian**

Evaluasi pelaksanaan pengisian awal embung harus dilakukan oleh Pembangun embung atau pihak yang ditugasi untuk mengetahui kesiapan dan keamanan operasi embung baik ditinjau dari aspek teknis maupun non teknis. Pada dasarnya embung baru boleh dioperasikan apabila:

- embung telah aman untuk dioperasikan, baik untuk embungnya sendiri maupun daerah hulu dan daerah hilir embung
- sistem yang mendukung operasi embung telah siap untuk melakukan operasi dan pemeliharaan embung.

**e) Melaksanakan kegiatan lain untuk persiapan operasi**

Sebelum embung dioperasikan, sistem yang akan mendukung operasi embung harus telah disiapkan lebih dahulu, antara lain:

- Pengelola embung yang akan melaksanakan pengelolaan embung dan embungnya
- Unit pengelola embung atau organisasi O&P yang akan membantu Pengelola embung dalam melaksanakan pengelolaan embung dan embungnya

- Kesiapan dan kecukupan sumber daya manusia (SDM) unit pengelola embung atau organisasi O&P ditinjau dari jumlah dan kompetensinya
- Tersedianya dana yang cukup untuk pengelolaan atau untuk O&P embung dan embungnya
- Tersedianya panduan O&P termasuk pola operasi embung
- Tersedianya sarana dan prasarana O&P yang memadai
- Telah terpenuhinya persyaratan administratif dan persyaratan teknis untuk pengajuan permohonan izin operasi.

### **8.10 Kelengkapan Dokumen Pasca Konstruksi**

Dokumen-dokumen yang harus disiapkan setelah pelaksanaan konstruksi pelaksanaan adalah sebagai berikut.

- Kontrak, Rencana Mutu Kontrak (RMK), addendum kontrak (jika embung dibangun secara kontraktual), perhitungan MC.0, dan perhitungan MC.100.
- Gambar perencanaan (Shop Drawing, Construction Drawing, As Built Drawing)
- Laporan harian/ mingguan/ bulanan
- Foto dokumentasi pelaksanaan (0%, 50%, dan 100%)
- Berita acara serah terima pekerjaan
- Manual Operasi dan Pemeliharaan
- Surat kepemilikan aset

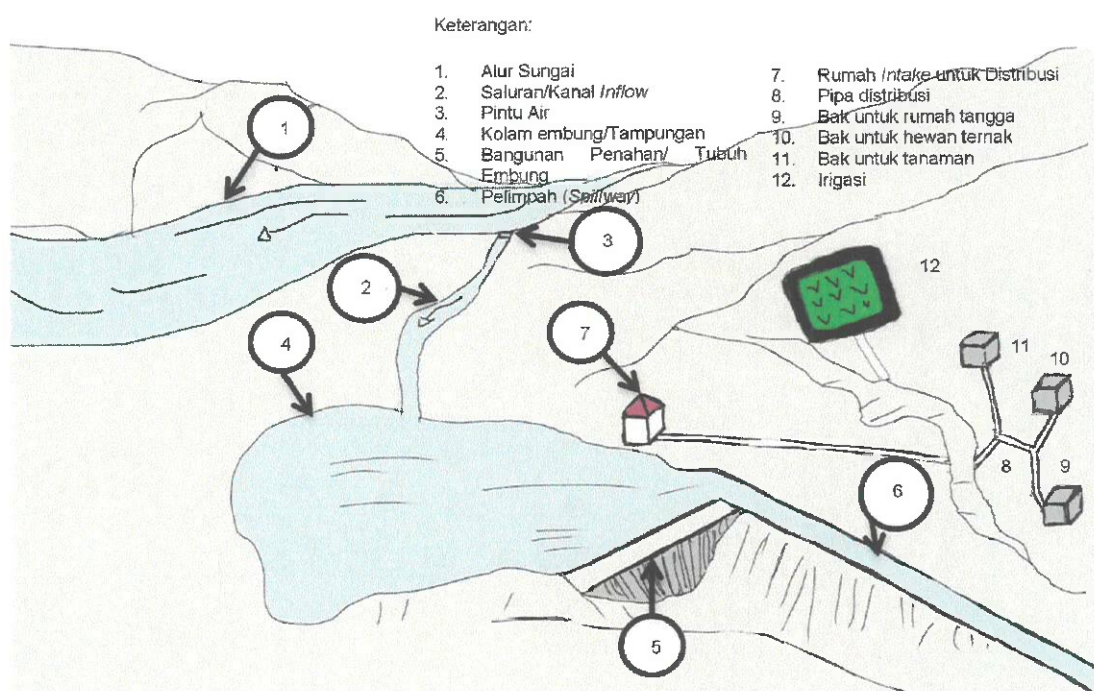
## BAB II

### Embung di Luar Alur Sungai

#### 1 Umum

Embung di luar alur sungai dengan bangunan penahan ini sama halnya dengan embung di dalam alur sungai. Hanya saja bangunan penahan pada embung jenis ini dibangun pada lembah diantara dua tebing yang dimana di lembah tersebut tidak terdapat alur sungai, namun dengan dibangunnya bangunan penahan di lokasi ini dapat menghasilkan tampungan.

Embung di luar alur sungai dengan bangunan penahan terdiri atas berbagai komponen seperti yang tertera pada gambar berikut ini.

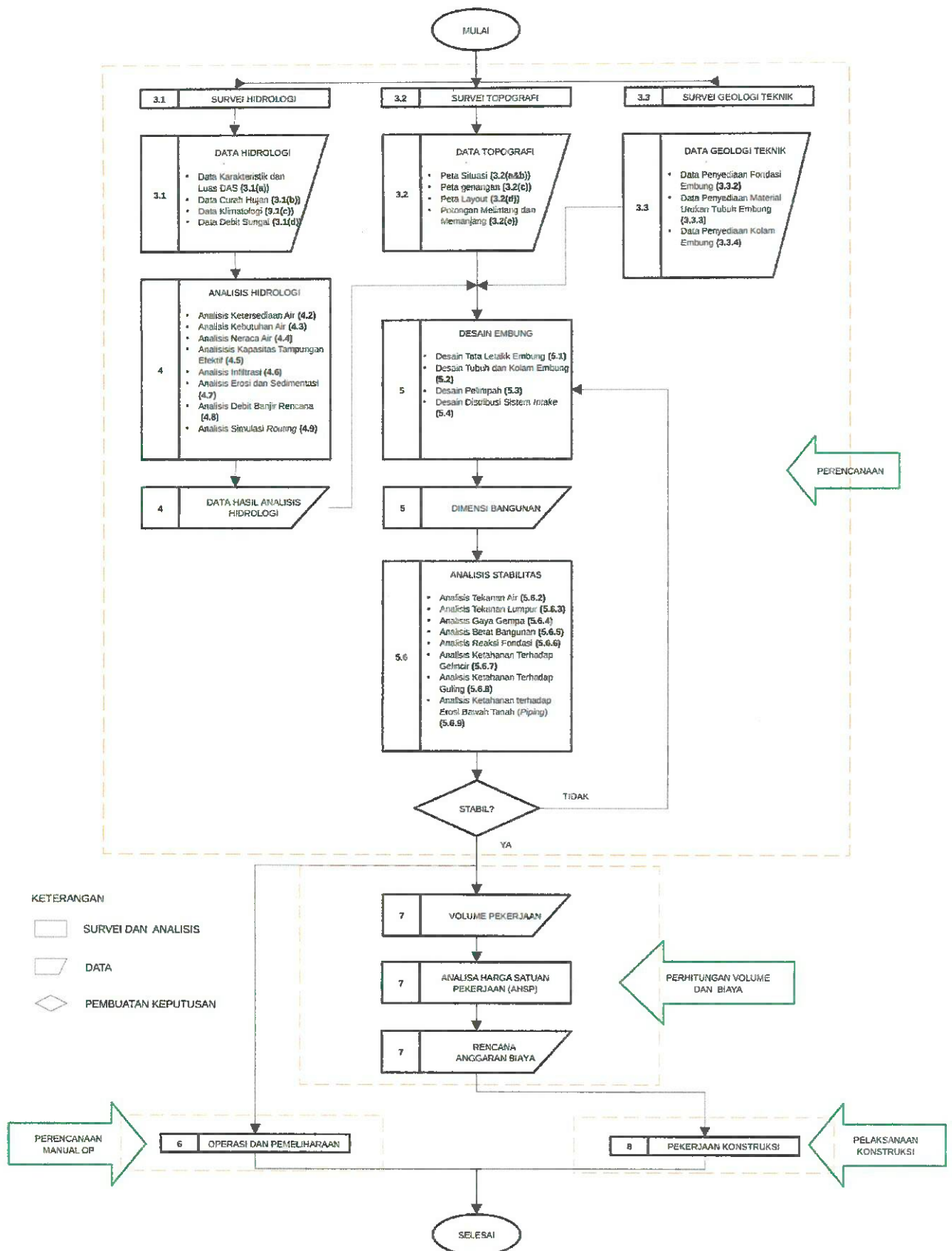


**Gambar 1 Kolam Embung di Luar Alur Sungai dengan Bangunan Penahan**

Bangunan utama dari embung di luar alur sungai adalah tubuh embung dan kolam embung. Tubuh embung adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi tampungan air. Kolam embung adalah cekungan yang digunakan untuk menampung suplai aliran air dan air hujan serta digunakan untuk menjaga kualitas air tanah, mencegah banjir, estetika, dan pengairan. Sedangkan komponen lainnya seperti pelimpah, intake, pipa distribusi, dan bak distribusi adalah bangunan pelengkap.

## 2 Proses Desain Embung di Luar Alur Sungai

Berikut ini adalah skema proses dalam mendesain embung di luar alur sungai:



Gambar 2 Skema Proses Desain Embung di Luar Alur Sungai

### 3 Survei dan Pengumpulan Data

#### 3.1 Data Hidrologi

Data yang dibutuhkan dalam analisa hidrologi ini adalah data sekunder dan data primer hasil pengukuran berupa :

- a) Data karakteristik dan luas DAS yang diperoleh dari peta topografi (Rupabumi skala 1:25.000), peta jenis tanah, peta tutupan lahan (yang dihasilkan dari interpretasi citra dengan umur data 3-5 tahun)
- b) Data Curah Hujan diperoleh dari satu atau lebih pos curah hujan terdekat dan atau data satelit dengan periode minimal harian.
- c) Data Klimatologi diperoleh dari pos klimatologi terdekat dan atau data satelit.
- d) Data Debit Sungai dapat diperoleh dari sungai terdekat dengan lokasi embung (jika ada).

Ketersediaan data hidrologi dalam suatu DAS sangat mempengaruhi pemilihan metode/pendekatan analisis debit banjir rencana yang akan digunakan untuk perencanaan maupun *review study* embung. Data hidrologi yang dimaksud meliputi:

- a) Data hujan jam-jam-an dan atau harian
- b) Data debit jam-jam-an dan atau harian
- c) Data tinggi muka air jam-jam-an dan atau harian
- d) Data evaporasi
- e) Data evapotranspirasi

Disamping data hidrologi, diperlukan juga data penunjang lainnya seperti:

- a) Peta DEM (*Digital Elevation Model*)
- b) Peta tata guna lahan, tanah, topografi/ RBI (Rupa Bumi Indonesia)
- c) Data hubungan elevasi – tampungan, elevasi dan lebar pelimpah, dimensi *outlet*, dan sistem pengoperasian (jika menggunakan pintu air)

#### 3.2 Data Topografi

Pemetaan situasi (peta skala besar) dan penyelidikan geoteknik dilakukan setelah penentuan lokasi embung. Hal yang harus diperhatikan pada waktu pemetaan adalah sebagai berikut:

- a) Pemetaan situasi dilakukan meliputi seluruh daerah tadah hujan dan lokasi embung. Pemetaan situasi masuk dalam Kategori Peta RBI skala besar adalah skala 1:5.000, 1:2.500 dan 1:1000. Peta RBI skala besar ini bisa dibuat dengan menggunakan teknologi citra satelit resolusi sangat tinggi, foto-udara konvensional, pesawat nir awak (*Unmanned Aircraft System / UAS* atau drone), *Light Imaging Detecting and Ranging (Lidar)* dan survey terestris (BIG,2017). Untuk panduan dapat digunakan spesifikasi teknis peta rupabumi skala 1 : 10.000 (sampai spesifikasi teknis peta skala besar diterbitkan).
- b) Peta situasi minimal dibuat dengan skala 1 : 1 000 dengan perbedaan kontur ketinggian maksimum 1 meter. Ketinggian hendaknya mengacu pada bidang permukaan laut rata-rata (*Mean Sea Level / MSL*) atau di atas permukaan laut (dpl)

- c) Peta genangan minimal dibuat dengan skala 1 : 2 000. Metode yang digunakan adalah
  - Area genangan dapat menggunakan hasil pemotretan udara
  - Untuk kedalaman dapat dilakukan survey batimetri sesuai dengan SNI 8283:2016 (Metode pengukuran kedalaman menggunakan alat perum gema untuk menghasilkan peta batimetri) atau sejenisnya.
- d) Peta *layout* minimal dibuat dengan skala 1 : 1 000, sesuai dengan kaidah kartografi dan mengacu kepada SNI 6502.2-2010 (Spesifikasi penyajian peta rupa bumi 25.000) dan disesuaikan dengan skala peta.
- e) Potongan melintang dan memanjang minimal dibuat dengan skala 1 : 100. Ketelitian vertikal mengacu ke Perka BIG no 15 tahun 2004 tentang pedoman ketelitian peta dasar

### 3.3 Penyelidikan Geologi Teknik

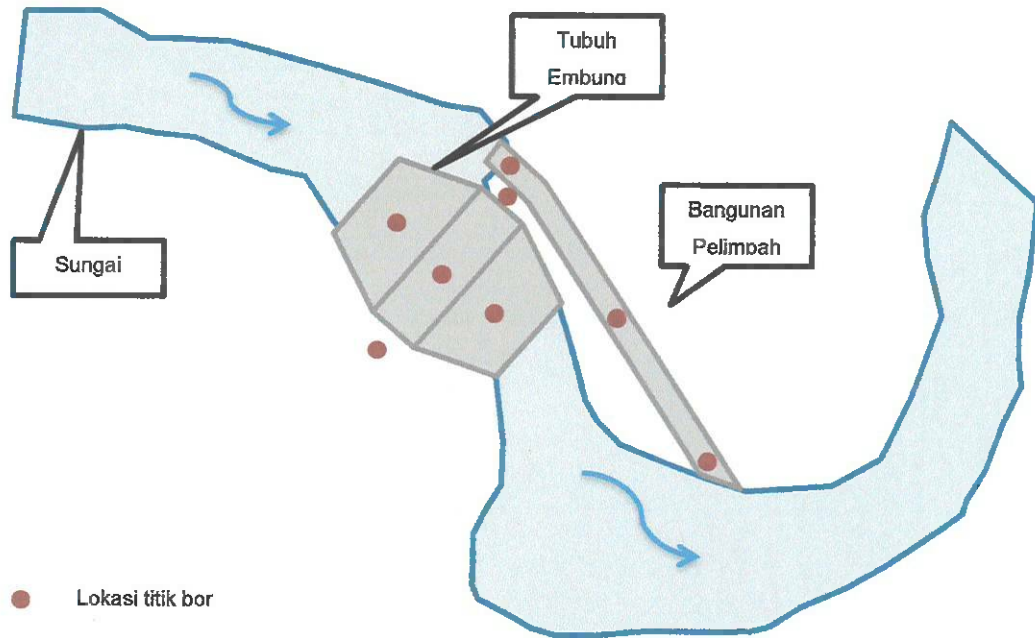
#### 3.3.1 Umum

Penyelidikan geoteknik bertujuan untuk menilai karakteristik fondasi dan bahan urukan (*borrow area*) dan kedua tumpuan urukan yang dapat dilakukan merupakan penyelidikan tanah sederhana dengan memilih salah satu metode sesuai kebutuhan dan kemampuan alat. Penyelidikan geoteknik dilakukan dengan survei di lapangan dan pengujian di laboratorium. Penyelidikan geoteknik dengan survei lapangan dapat dilakukan menggunakan dengan salah satu metode berikut ini:

- a) Pemboran tangan;
- b) Sondir tangan yang mengacu pada SNI 4153:2008;
- c) Pembuatan sumur uji atau parit uji sesuai SNI 03-6376-2000.

Jumlah minimal titik bor yang harus dilakukan dalam pembangunan embung adalah 8 titik bor (atau disesuaikan dengan kondisi lapangan) dengan kedalaman pemboran adalah hingga mencapai tanah keras yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Lokasi titik bor yang perlu dilakukan dalam pembangunan embung adalah sebagai berikut :

1. Pada lokasi rencana tubuh embung, jumlah minimal titik bor yang diperlukan adalah 5 buah, yaitu di lokasi puncak tubuh embung, bagian hulu tubuh embung, bagian hilir tubuh embung, tumpuan kanan, dan tumpuan kiri tubuh embung.
2. Pada lokasi rencana bangunan pelimpah, jumlah minimal titik bor yang diperlukan adalah 3 buah, yaitu di bagian hulu, hilir dan tengah rencana bangunan pelimpah.



**Gambar 3 Lokasi Pemboran**

Jika daerah embung berupa tanah maka harus dilakukan pengambilan contoh tanah dan diuji di laboratorium yang meliputi:

a) Sifat fisik sebagai berikut:

- 1) Kadar air asli sesuai SNI 1965:2008;
- 2) Berat jenis sesuai tanah sesuai SNI 1964:2008;
- 3) Distribusi butir sesuai SNI 3962:1995;
- 4) Atterberg sesuai dengan SNI 1966:2008;

b) Sifat teknik:

- 1) Standar proctor sesuai dengan SNI 2832:1992 dengan batas  $-2\% \leq OMC \leq +2\%$ ;
- 2) Kuat geser sesuai dengan SNI 2813:2008;
- 3) Konsolidasi sesuai dengan SNI 2455:2015;
- 4) Permeabilitas sesuai dengan SNI 1965:2008.

Jika daerah embung berupa batu maka perlu pengamatan struktur batuan untuk menilai sifat lulus air dan stabilitasnya.

Hasil survei dan pengujian tersebut dapat dikorelasikan dengan hasil pengukuran geolistrik yang dilakukan berdasarkan SNI 2528:2012 atau SNI 2818:2012 sehingga dihasilkan formasi batuan pada lokasi tubuh embung, pelimpah dan bahan urukan.

### 3.3.2 Fondasi Embung

Kondisi fondasi harus berupa tanah keras (nilai SPT > 15 kali/30cm, nilai sondir > 45 kg/cm<sup>2</sup>). Fondasi embung dibagi menjadi dua kelompok besar (batu dan tanah) yaitu:

a) Batu

Jenis batu dapat berupa batuan beku, batuan sedimen atau batuan malihan. Batu yang digunakan untuk fondasi umumnya merupakan batuan yang stabil, kecuali bila terdapat struktur yang rentan terhadap pergerakan. Struktur adalah bidang diskontinuitas atau batuan hancur yang arah dan kemiringannya tidak menguntungkan. Fondasi jenis ini dapat mendukung bangunan dari urukan tanah, maupun pasangan atau beton.

b) Tanah

(a) Tanah berkohesi

Tanah berkohesi merupakan tanah berbutir halus misalnya lempung

(b) Tanah tak berkohesi

Tanah tak berkohesi atau berbutir kasar misalnya pasir.

Jika tanah fondasi embung memiliki permeabilitas tinggi seperti gambut atau bertanah lunak, maka tanah harus diberi perkuatan terlebih dahulu misalnya dengan cerucuk, kemudian bagian kolam embung juga dilapisi dengan geotekstil. Selain itu untuk fondasi dengan jenis kapur atau karang juga perlu diberikan perkuatan sesuai dengan kondisi lapangan.

Pemilihan jenis fondasi harus memperhatikan sifat umum tanah tak berkohesi yaitu pada saat mendapat beban maka akan mengalami konsolidasi, tetapi jika proses konsolidasi tidak seragam maka akan menimbulkan retak pada bangunan di atasnya.

Tanah juga mempunyai kekuatan geser rendah, sehingga bangunan yang menumpang di atasnya berpotensi rusak karena longsor. Bangunan yang cocok untuk fondasi tanah ini adalah tipe

urukan. Jika lapisan tanah tidak terlalu tebal, sebaiknya lapisan tersebut digali habis sampai dengan lapisan batu.

Tanah berbutir kasar (alluvial)

Tanah ini bersiat mudah lulus air tetapi kuat geser relatif lebih tinggi dibandingkan tanah kohesif.

### 3.3.3 Material Urukan Tubuh Embung

Tubuh embung bisa berupa urukan, pasangan batu atau beton, tergantung bahan bangunan yang tersedia di tempat seperti terlihat pada tabel klasifikasi material urukan. Material urukan untuk tubuh embung bisa dibagi dalam tiga jenis sebagai berikut:

a) Tanah berkohesi (lempung)

Material ini bisa dipadatkan sedemikian rupa agar permeabilitasnya menjadi cukup rendah. Lempung merupakan hasil pelapukan batuan yang ada di permukaan tanah.

Ketebalannya bervariasi dari beberapa sentimeter sampai beberapa meter. Lempung dapat digali dari kolam tanpa menimbulkan efek negatif, tetapi jika lapisan tersebut terlalu tipis maka penggalian akan menyebabkan batuan dasar tersingkap dan bisa meningkatkan infiltrasi (kehilangan) air. Lempung sangat cocok untuk urukan homogen tubuh embung, inti kedap air, dan selimut (*blanket*) kedap air di dasar dan dinding kolam.

b) Tanah tak berkohesi (lanau, pasir halus hingga kasar)

Tanah jenis ini mudah dipadatkan tetapi bersifat sangat lulus air dan mudah tererosi, sehingga disarankan untuk digunakan sebagai urukan "*filter*" dan "*backfill*".

c) Pecahan batu

Pecahan batu adalah batu keras yang terpecah-pecah akibat proses alami atau perbuatan manusia sehingga mudah dipakai sebagai material bangunan.

Pecahan batu bisa digunakan sebagai bahan urukan, pasangan batu, dan beton untuk tubuh embung. Pecahan batu bisa dipakai sebagai material urukan asal dilengkapi dengan tirai atau zona kedap air. Bongkah yang diameternya melebihi 50 cm biasanya harus dipecah agar mudah dikerjakan.

Pecahan batu buatan diambil dari singkapan-singkapan batuan. Pengambilan dan pemecahan bisa dilakukan dengan tenaga manusia bila batumannya banyak mengandung retakan. Jika batumannya masif perlu digunakan alat berat atau bahan peledak.

Tabel 1 Klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS

Pembagian utama		Simbol kelompok	Nama tipe	
Tanah berbutir kasar lebih dari 50% tidak lolos/tertahan pada saringan no.200	Kerikil 50% atau lebih fraksi kasar tidak lolos saringan no.4	Kerikil bersih	GW	Kerikil bergradasi baik, campuran kerikil-pasir dengan sedikit atau tanpa bahan halus
			GP	Kerikil bergradasi jelek, campuran kerikil-pasir, dengan sedikit/tanpa material halus
			GM	Kerikil lanauan, campuran kerikil-pasir-lanau yang agak kasar
			GC	Kerikil lempungan, campuran kerikil-pasir-lempung yang agak kasar
	Pasir lebih 50% dari fraksi kasar lolos saringan no.4		SW	Pasir bergradasi baik, pasir kerikilan, dengan sedikit/tanpa material halus
			SP	Pasir bergradasi jelek, pasir kerikilan, dengan sedikit/tanpa material halus
			SM	Pasir lanauan, campuran pasir-lanauan
			SC	Kerikil lempungan, campuran pasir-lempung yang agak kasar
			ML	Lanau inorganik dan pasir, batu berdebu yang amat halus/kerikil lumpuran halus, plastisitas rendah
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan No. 200	Batas cair 50% atau kurang		CL	Lempung inorganik dengan plastisitas rendah-sedang, lempung lanauan, pasiran, kerikilan dan lempung kurus
			OL	Lanau organik dan lempung lanauan organik dengan plastisitas rendah
	HH		Lanau inorganik, pasir halus atau lanau bermika/diatomae, lanau elastis	
	CH		Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk	
	OH		Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Batas cair lebih dari 50%				
Tanah organik tinggi		Pt	Tanah gambut, rawang ( <i>muck</i> ) dan jenis tanah organik tinggi yang lain.	

Arti simbol :

- |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| G = kerikil           | S = pasir             |
| C = lempung           | M = lanau             |
| O = organik           | Pt = Gambut           |
| W = bergradasi baik   | P = bergradasi jelek  |
| H = batas cair tinggi | L = batas cair rendah |

Tabel 2 Klasifikasi sifat material urukan

No. Kalom- pok	Jenis tanah	Kisaran sifat tanah				Tingkat ketahanan terhadap erosi buluh (1) tertinggi (6) terendah	Tingkat ketahanan terhadap peretakan (1) tertinggi (6) terendah	Tingkat pentingnya kontrol kadar air untuk	
		Ukuran butir median D50 (mm)	Indek plastis itas %	Batas cair	Persen- tase lempung (0,005 mm)			Tingkat pentingnya kontrol	Konsekuensi kontrol kadar air yang tidak memadai
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
I	Pasir dan kerikil dengan tanah berbutir halus yang plastis	0.15-5.0	8-15	20-50	5-30	(3) Ketahanan sedang. Pemadatan yang lebih berat dan indek plastisitas.	(3) Ketahanan sedang. Retak hanya timbul pada kombinasi kondisi luar biasa	(5) Keruntuhan akibat peretakan atau erosi buluh hanya bisa terjadi akibat kombinasi kondisi jelek yang luar biasa.	
II	Pasir dan kerikil dengan tanah berbutir halus yang tidak plastis	0.15-5.0	0-8	10-30	0-15	(5) Ketahanan rendah sampai sedang. Pemadatan yang lebih berat dan indek plastisitas yg lebih tinggi akan menambah ketahanan.	(4) Ketahanan sedang	(3) Sangat mungkin runtuh akibat erosi buluh. Bisa runtuh akibat peretakan.	

III	Lanau inorganik berkompresibilitas rendah dan pasir halus lanauan	0.03-0.15	0-10	10-45	0-25	(6)	Pasir berukuran butir seragam dengan $IP < 6$ ketahanannya rendah. Material bergradasi baik dengan $IP > 6$ ketahanannya sedang.	(2)	kerentanan tinggi. Makin halus & makin seragam dengan $IP < 6$ ketahanannya rendah. Material bergra-dasi baik dengan $IP > 6$ ketahan-annya sedang.	(2)	Besar kemungkinan runtuh akibat erosi buluh dan peretakan
-----	---	-----------	------	-------	------	-----	--	-----	---	-----	---

Tabel 3 Klasifikasi sifat material urukan (lanjutan)

No. Kelompok	Jenis tanah	Kisaran sifat tanah				Tingkat ketahanan terhadap erosi buluh (1) tertinggi (6) terendah	Tingkat ketahanan terhadap peretakan (1) tertinggi (6) terendah	Tingkat pentingnya kontrol kadar air untuk pemadatan		
		Ukuran butir median D50 (mm)	Indek plastisitas %	Batas cair	Persentase lempung (0,005 mm)			Tingkat penting ya kontrol	Konsekuensi kontrol kadar air yang tidak memadai	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(8)			(9)	
IV	Lanau inorganik dan lempung berplastisitas rendah sampai sedang	0.10	10-25	20-50	10-40	IP < 15 ketahanan sedang	(1)	Material dengan D50 > 0.02 mm dan IP < 15 kerentanannya paling tinggi	(2)	Sangat mudah runtuh akibat peretakan. Mungkin runtuh akibat erosi buluh
							(5)	Material dengan D50 > 0.02 mm dan IP < 15 ketentanannya paling tinggi	(4)	Mungkin runtuh akibat peretakan atau erosi buluh hanya bila ada kombinasi kondisi luar biasa.
V	Lempung inorganik	0.02	25-40	40	30	Tahan erosi buluh. Ketahanan tidak banyak	(6)	Tipis kemungkinan retak. Penurunan purna - konstruksi	(6)	Kemungkinan retak oleh erosi buluh maupun peretakan paling kecil.

	berplastisitas tinggi							menurun oleh pepadatan yang kurang memadai		tinggi tetapi kemampuan berubah bentuknya		
--	-----------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--

### 3.3.4 Kolam Embung

Aspek geoteknik kolam embung yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

#### a) Infiltrasi air

Infiltrasi air bisa terjadi melalui rongga antar butir atau melalui retakan. Penanganan dari kemungkinan terjadinya infiltrasi air tersebut dapat didiskusikan dengan ahli geoteknik/geologi.

- 1) Infiltrasi melalui rongga antar butir terjadi pada tanah tak berkohesi, misalnya pasir, lanau, tanah berkohesi yang permeabilitasnya tinggi atau batu pasir.
- 2) Infiltrasi melalui retakan terjadi pada batu yang mengandung banyak retakan yang bersifat terbuka dan saling berhubungan. Rongga-rongga dalam batu gamping yang terbentuk karena pelarutan kimia dan meninggalkan rongga-rongga yang saling berhubungan dalam batu gamping juga dapat menyebabkan infiltrasi.

Infiltrasi melalui fondasi tubuh embung dapat menyebabkan stabilitas tubuh embung terganggu karena rembesan. Rembesan melalui fondasi lanau atau pasir dapat menyebabkan terjadinya proses erosi buluh.

Sedangkan infiltrasi yang terjadi pada dinding kolam menyebabkan kehilangan air kolam. Besarnya kehilangan air tergantung pada sifat lulus air material dasar dan dinding kolam. Untuk kebutuhan praktis, sifat lulus air dalam hubungannya dengan kehilangan air tersebut, dibagi menjadi tiga kelas yaitu: kedap air, semi lulus air dan lulus air.

#### b) Stabilitas dinding embung

Pada umumnya, material urukan di daerah depresi (cekungan) terdapat di dalam lembah calon kolam embung. Penggalan material dari dasar embung akan menambah kapasitas tampung embung. Kemiringan galian harus dibuat dengan mempertimbangkan kondisi geotekniknya. Dinding embung bisa terdiri atas tanah atau batu, atau keduanya.

- 1) Bila dinding embung terdiri atas tanah, maka lereng kolam harus disesuaikan dengan sudut lereng alam dalam kondisi jenuh (lihat bagian a pada gambar galian dan stabilitas dinding embung).
- 2) Bila dinding embung terdiri atas batu, maka perlu diperhatikan kemiringan bidang diskontinuitasnya. Yang dimaksud dengan bidang diskontinuitas adalah semua struktur yang menyebabkan masa batuan terpisah atau bahkan terpecah-pecah. Bidang itu bisa berupa pelapisan atau kekar.

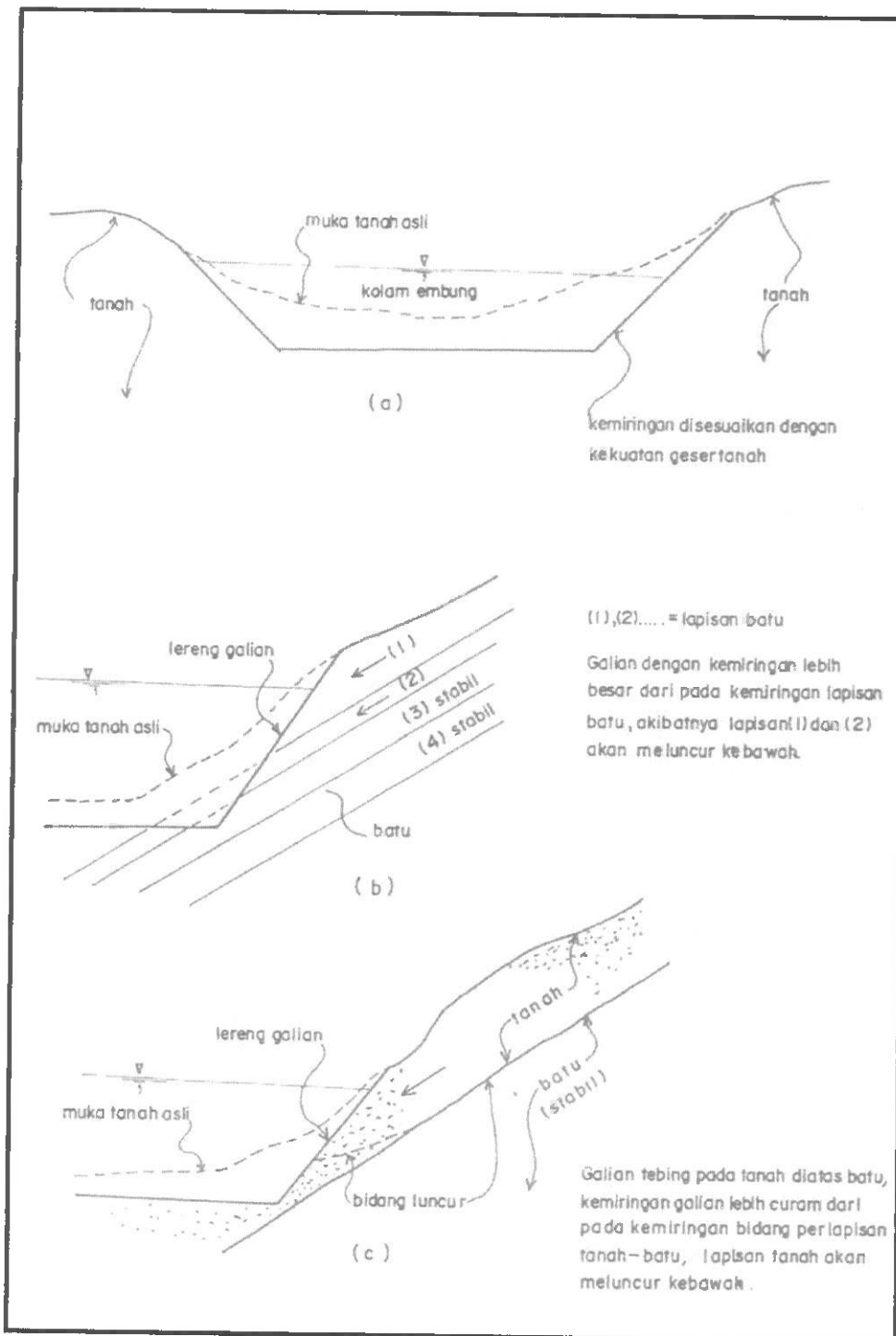
Apabila bidang diskontinuitas miring ke arah embung dengan sudut kemiringan berkisar antara  $20^\circ$  sampai dengan  $80^\circ$  maka lereng cenderung tidak stabil dan berpotensi longsor ke dalam embung. Galian pada batu seperti itu harus dibuat dengan kelandaian minimal sebesar kemiringan bidang diskontinuitasnya (lihat bagian b pada gambar galian dan stabilitas dinding embung).

- 3) Bila dinding embung terdiri atas lapisan tanah yang menumpang di atas batu, maka galian pada lapisan tanah akan potensial longsor. Longsoran ini terjadi akibat lereng

kehilangan tumpuannya sehingga lapisan tanah bergerak meluncur di atas batu (longsor planar). Kejadian semacam ini hanya dapat dicegah dengan cara menempatkan bangunan penahan, atau menggali lapisan tanah sesuai kemiringan batuan dasarnya (lihat bagian c pada gambar galian dan stabilitas dinding embung).

- 4) Kedalaman penggalian di calon lokasi embung yang akan digunakan sebagai material urukan supaya memperlihatkan lapisan tanah atau batumannya. Penggalian yang terlalu dalam dapat mengakibatkan bocoran dasar embung.

Ketiga hal tersebut di atas harus pula dipertimbangkan dalam mendesain kemiringan galian dinding saluran pelimpah dan galian lainnya.



Gambar 4 Galian Dan Stabilitas Dinding Embung

## 4 Analisis Hidrologi

### 4.1 Umum

Secara umum analisis hidrologi merupakan bagian dari analisis awal dalam perencanaan bangunan-bangunan pengairan. Dari analisis hidrologi, diperoleh informasi penting antara lain ketersediaan air, kebutuhan air, debit banjir rencana, elevasi muka air normal dan elevasi muka air banjir. Analisis hidrologi untuk perencanaan embung, meliputi tiga hal, yaitu:

- a) aliran masuk (*inflow*) yang mengisi embung,
- b) tampungan embung, dan
- c) banjir desain untuk menentukan kapasitas dan dimensi bangunan pelimpah (*pelimpah*).

Untuk menghitung semua besaran ini, lokasi dari rencana embung harus ditentukan dan digambarkan pada peta. Hal ini dilakukan supaya penetapan dari hujan rata-rata dan evapotranspirasi yang tergantung dari lokasi dapat ditentukan. Luas daerah tadah hujan atau cekungan harus sudah dihitung. Luas genangan embung harus diperkirakan dan elevasi dasar alur di tempat embung serta elevasi tertinggi di daerah cekungan juga harus ditentukan.

### 4.2 Analisis Ketersediaan Air

Dihitung berdasarkan analisis curah hujan, evapotranspirasi, hujan limpasan, dan ketersediaan air rata-rata bulanan

#### 4.2.1 Umum

Analisis hujan limpasan harus dilakukan dengan memperhatikan hal - hal sebagai berikut :

- a) Jika tersedia data debit pada sungai yang mempunyai karakteristik DAS yang sejenis dengan DAS embung yang akan dihitung, maka perhitungan mengacu pada SNI 6738:2015, Perhitungan debit andalan sungai dengan kurva durasi debit.
- b) Jika hanya tersedia data hujan dengan data debit terbatas, gunakan analisis hujan-debit limpasan misalnya menggunakan metode NRECA yang terkalibrasi. Jika tidak ada sama sekali kalibrasi, maka diperlukan asumsi penyesuaian parameter agar mewakili kondisi sesungguhnya.
- c) Jika tidak ada data hujan, maka mengacu pada Peta Ketebalan Aliran bulanan yang dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial atau mengacu pada "*Petunjuk Teknis Perhitungan Debit Banjir Pada Bendungan<sup>1</sup>*" menggunakan data satelit pada lokasi bersangkutan dengan kalibrasi pada pos hujan terdekat yang diperkirakan memiliki karakteristik yang sama.

Setelah itu bandingkan antara besar tampungan, kebutuhan air, dan ketersediaan air. Dari ketiga hal tersebut dipilih yang paling kecil sebagai kapasitas tampung efektif (KTE).

#### 4.2.2 Analisis Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah jumlah kehilangan air dari suatu daerah yang meliputi evaporasi dan transpirasi melalui permukaan tanah, permukaan vegetasi, permukaan air bebas dan lainnya. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam menghitung evapotranspirasi adalah metode Penmann (modifikasi).

$$ET = C[W \cdot R_n + (1 - W)f(u)(e_a - e_d)]$$

Keterangan :

- ET* adalah evapotranspirasi dalam (mm/hari)  
*C* adalah faktor koreksi akibat keadaan iklim siang/malam  
*W* adalah faktor bobot tergantung dari temperature udara dan ketinggian tempat  
*R<sub>n</sub>* adalah radiasi neto ekivalen dengan evaporasi (mm/hari)  
*f(u)* adalah fungsi kecepatan angin  
(*e<sub>a</sub>*-*e<sub>d</sub>*) adalah selisih tekanan uap jenuh dan aktual pada temperatur rata-rata udara

Perhitungan Evapotranspirasi ini mengacu kepada "SNI 7745:2012 : Tata Cara Perhitungan Evapotranspirasi dengan Metode Penman Monteith".

#### 4.2.3 Potensi Ketersediaan Air

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam menghitung potensi ketersediaan air yaitu metode NRECA.

Dalam metode NRECA terdapat dua tampungan yaitu tampungan kelengasan (*moisture storage*) dan tampungan air tanah (*groundwater storage*). Tampungan kelengasan ditentukan oleh hujan dan evapotranspirasi aktual. Tampungan air tanah ditentukan oleh kelebihan kelengasan (*excess moisture*).

Data masukan yang diperlukan dari metode hujan-limpasan NRECA adalah sebagai berikut.

- a) Hujan Rata-rata dari suatu DAS (*P*)
- b) Evapotranspirasi Potensial dari DAS (*PET*)  
Jika data yang ada adalah evapotranspirasi standar (*ET<sub>o</sub>*) maka  $PET = C_f \times ET_o$ , dimana *C<sub>f</sub>* adalah faktor tanaman.
- c) Kapasitas Tampungan Kelengasan (*NOM*)  
Diperkirakan nilai  $NOM = 100 + (0.2 \times \text{hujan rata-rata tahunan (mm)})$ , dimana nilai *C* = 0.2 untuk DAS yang hujannya terjadi terus-menerus sepanjang tahun, dan *C* < 0.2 untuk DAS yang mempunyai tipe hujan musiman.
- d) Persentase limpasan yang keluar dari DAS di sub *surface* atau infiltrasi (*PSUB*)  
Parameter *PSUB* adalah parameter model yang menggambarkan bagian dari kelebihan hujan dan menjadi imbuhan. Sisanya mengalir sebagai aliran langsung yang terdiri dari aliran permukaan dan bawah permukaan. Tampungan air tanah menampung air imbuhan tersebut yang dikeluarkan menjadi aliran dasar di sungai. Besarnya aliran dasar yang dikeluarkan adalah *GWF* kali jumlah tampungan, dengan sendirinya *GWF* nilainya lebih kecil dari satu. Makin besar *GWF* makin banyak air yang dikeluarkan dari tampungan sehingga air tampungan akan cepat habis, begitu pula sebaliknya. Kombinasi parameter *PSUB* dan *GWF* memegang

peranan penting dalam menentukan hidrograf aliran di sungai yang merupakan penjumlahan antara debit aliran langsung dan aliran dasar.

Nilai PSUB berkisar antara 0.1 – 0.5

Nilai median berkisar antara 0.6

- e) Persentase limpasan tampungan air tanah menuju ke sungai (GWF)

Nilai GWF berkisar antara 0.5 – 0.9

- f) Nilai awal dari tampungan kelengasan tanah (*Soil Moisture Storage*)

- g) Nilai awal dari tampungan air tanah (*Ground Water Storage*)

Pemilihan parameter NRECA yang paling optimum didasarkan pada parameter dari DAS masing-masing. Data masukan yang diperlukan dari model hujan-limpasan NRECA adalah sebagai berikut :

- a) Hujan rata-rata bulanan dari suatu DAS.

- b) Evapotranspirasi potensial bulanan dari DAS (PET).

- c) Kapasitas tampungan kelengasan (NOM) dapat diperkirakan sebagai berikut :

$$\text{NOM} = 100 + c \times \text{hujan rata-rata tahunan (mm)}.$$

dengan :

$c \geq 0,20$  bila cekungan mengalami hujan terus-menerus sepanjang tahun.

$c < 0,20$  bila cekungan mengalami hujan musiman.

Harga nominal dapat dikurangi hingga 25 % untuk daerah dengan tetumbuhan dan penutup tanah yang tipis.

- d) Persentasi limpasan yang keluar dari DAS di sub surface (PSUB). Nilai PSUB sebagai parameter yang menggambarkan karakteristik tanah permukaan berkisar antara 0.3 sampai dengan 0.9 tergantung pada sifat lulus air lahan.

- PSUB = 0,50 untuk daerah dengan hujan sepanjang tahun.

-  $0,50 < \text{PSUB} \leq 0,90$  untuk daerah dengan akuifer permeable yang besar.

-  $0,30 < \text{PSUB} \leq 0,50$  untuk daerah dengan akuifer terbatas dan lapisan tanah yang tipis

- e) Persentasi limpasan tampungan air tanah menuju ke sungai (GWF) yang berkisar 0.2 sampai dengan 0.8.

- GWF = 0,50 untuk daerah tangkapan hujan yang normal/biasa

-  $0,50 < \text{GWF} \leq 0,80$  untuk daerah yang memiliki aliran menerus yang kecil

-  $0,20 < \text{PSUB} \leq 0,50$  untuk daerah yang memiliki aliran menerus yang dapat diandalkan.

- f) Nilai awal dari tampungan kelengasan tanah (SMSTOR) dan air tanah (GWSTOR).

- g) Faktor tanaman (CROPF).

Urutan langkah perhitungan untuk limpasan bulanan adalah sebagai berikut :

- a) Perhitungan hujan wilayah dan evapotranspirasi potensial standar di daerah pengaliran (P dan Eto).

- b) Menentukan parameter model : NOM, PSUB, GWF dan nilai awal tampungan kelengasan tanah (SMSTOR) dan tampungan air tanah (GWSTOR) yang akan digunakan dalam proses kalibrasi atau penyetaraan.

- c) Perhitungan Angka tampungan tiap bulan (*storage ratio*) :  $S_r = SMSTOR/NOM$ , dimana untuk bulan ke 1  $SMSTOR =$  angka awal tampungan dan untuk bulan selanjutnya adalah  $SMSTOR (n) = SMSTOR (n-1) + S(n-1)$ ,  $S(n-1)$  adalah perubahan tampungan pada bulan sebelumnya.
- d) Perhitungan angka perbandingan antara hujan dan evapotranspirasi potensial :  $R = P/PET$
- e) Perhitungan evapotranspirasi actual (AET), dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ini :  $AET = k_1 \times PET$ .  
 $k_1$  adalah koefisien evapotranspirasi yang tergantung pada nilai  $R$  dan  $S_r$ , dengan persamaan regresi sebagai berikut :  $k_1 = P/PET ( 1 - 0,5 \times S_r) + 0,5 \times S_r$ , bila  $R < 1$  dan  $S_r < 2$   $k_1 = 1$  bila  $P/PET \geq 1$  atau  $S_r \geq 2$ .
- f) Menghitung ratio kelebihan kelengasan (*extrat*) :  
Untuk  $S_r \leq 0$ , maka  $extrat = 0$   
Untuk  $S_r > 0$ , maka  $extrat = 0,5 \times ( 1 + \text{Tanh} (x))$   
 $x = (S_r - 1)/0,52$   
 $\text{tanh} = \{\exp (x) - \exp(-x)\} / \{\exp (x) + \exp (-x)\}$
- g) Perhitungan kelebihan kelengasan (*excm*), perubahan tampungan ( $S$ ) dan perkolasi (*rech*) dengan rumus sebagai berikut :  
 $excm = extrat ( P - AET)$   
 $S = P - AET - excm$   
 $rech = PSUB \times excm$
- h) Perhitungan angka awal dan akhir tampungan air tanah (*Begin and End Storage Groundwater*) :  
Untuk bulan ke 1,  $BSG = GWSTOR$ .  
Untuk bulan berikutnya  $BSG(n) = ESG(n-1) - GF(n-1)$ .  
 $ESG = rech + BSG$   
 $GF =$  limpasan air tanah
- i) Perhitungan limpasan, Limpasan dibagi menjadi 2 bagian, yaitu limpasan langsung (*DRF*) dan limpasan air tanah (*GF*).  
 $DRF = excm - rech$   
 $GF = GWF \times ESG$   
Total limpasan tiap bulan adalah sebagai berikut :  $Q = GF + DRF$  (mm)

Model NRECA dibangun sesuai dengan karakteristik DAS kajian. Oleh karena itu, diperlukan kalibrasi parameter agar hasil debit sintesis yang dihasilkan memiliki tingkat keandalan yang baik. Parameter yang dikalibrasi ialah PSUB, GWF, GWS, Storage dan Croft.

Perhitungan limpasan metode NRECA dibagi menjadi dua bagian yaitu perhitungan limpasan langsung (*Direct runoff*) dan air tanah yang menuju ke sungai (*Groundwater*).

Urutan prosedur perhitungan untuk metode NRECA adalah sebagai berikut.

- a) Perhitungan hujan rata-rata dan evapotranspirasi potensial standar di daerah pengaliran ( $P$  dan  $ET_o$ ).

- b) Menentukan parameter metode: NOM, PSUB, GWF, dan nilai awal tampungan kelengasan tanah (*soil moisture storage*) dan tampungan air tanah (*ground water storage*) yang akan digunakan dalam proses kalibrasi atau penyelarasan.

- c) Perhitungan angka tampungan tiap bulan (*storage ratio*)

$$\text{Storage Ratio} = \frac{\text{Soil moisture storage}}{\text{NOM}}$$

Untuk bulan pertama *soil moisture storage* = angka awal tampungan dan untuk bulan selanjutnya adalah  $\text{soil moisture storage}_{(n)} = \text{Soil moisture storage}_{(n-1)} + S_{(n-1)}$ .

$S_{(n-1)}$  adalah perubahan tampungan pada bulan sebelumnya.

- d) Perhitungan angka perbandingan antara hujan dan evapotranspirasi potensial.

$$R = P/PET$$

- e) Perhitungan evapotranspirasi aktual (AET), dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ini.

$$AET = kl \times PET$$

kl adalah koefisien evapotranspirasi yang tergantung pada nilai R dan Sr, dengan persamaan regresi sebagai berikut.

$$kl = \frac{P}{PET} (1 - 0.5 \times Sr) + 0.5 \times Sr \quad \text{jika } R < 1 \text{ dan } Sr < 2$$

$$kl = 1 \quad \text{jika } R > 1 \text{ atau } Sr > 2$$

- f) Menghitung rasio kelebihan lengasan (*excess ratio*)

$$\text{excess ratio} = 0 \quad \text{jika } Sr < 0$$

$$\text{excess ratio} = 0.5 \times (1 + \tanh((Sr - 1)/0.52)) \quad \text{jika } Sr > 0$$

- g) Perhitungan kelebihan kelengasan (*excess moist*), perubahan tampungan (S) dan perkolasi dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{excess moisture} = \text{excess ratio} \times (P - AET)$$

$$S = P - AET - \text{excess moist}$$

$$\text{Perkolasi} = \text{PSUB} \times \text{excess moist}$$

- h) Perhitungan angka awal dan akhir tampungan air tanah (BSG dan ESG)

$$BSG = \text{Ground Water Storage} \quad \text{untuk bulan pertama}$$

$$BSG_n = ESG_{n-1} - GF_{n-1} \quad \text{untuk bulan berikutnya}$$

$$ESG = \text{Perkolasi} + BSG$$

$$GF = \text{limpasan air tanah}$$

- i) Perhitungan Limpasan

$$\text{Direct Runoff} = \text{excess moist} - \text{perkolasi}$$

$$\text{Limpasan air tanah} = GWF \times ESG$$

- j) Total Limpasan tiap bulan adalah

$$Q = GF + \text{Direct Runoff} \text{ (mm)}$$

#### 4.2.4 Pemodelan Hidrologi dan Penentuan CN

Prosedur perhitungan hujan limpasan, debit puncak, dan volume tampungan dapat dihitung menggunakan perangkat lunak pemodelan hidrologi seperti Win TR55 ([www.nrcs.usda.gov](http://www.nrcs.usda.gov)) atau perangkat lunak sejenis yang biasa digunakan untuk Daerah Aliran Sungai (DAS) kecil dan terdapat keterbatasan data untuk menentukan CN. Perhitungan dalam Win TR55 menggunakan

metode hidrograf sintetik SCS. Perhitungan debit puncak menggunakan Win TR55 membutuhkan input data seperti luas DAS, Curve Number, data hujan maksimum tahunan, dan hujan jam – jam-an. Output yang dihasilkan pada perangkat lunak pemodelan hidrologi adalah nilai debit puncak, waktu konsentrasi, dan Hidrograf banjir. Selain itu, analisa ini diperlukan juga untuk perhitungan ketersediaan air dengan menggunakan *software* HEC-HMS.

Penentuan CN dimaksudkan untuk mengestimasi limpasan yang terjadi berdasarkan kondisi tanah pada lokasi DAS dan faktor penutup lahan. Untuk daerah yang tidak tersedia peta topografi dan peta hidrogeologi dapat mengacu pada tabel.

**Tabel 4 Nilai CN Untuk Urban Area**

Cover description	Average percent impervious area %	Curve numbers for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
<i>Fully developed urban areas (vegetation established)</i>					
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.) <sup>1/2</sup> :					
Poor condition (grass cover < 50%) .....		68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50% to 75%) .....		49	69	79	84
Good condition (grass cover > 75%) .....		39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way) .....		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way) .....		98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of-way) .....		83	89	92	93
Gravel (including right-of-way) .....		78	85	89	91
Dirt (including right-of-way) .....		72	82	87	89
Western desert urban areas:					
Natural desert landscaping (pervious areas only) <sup>1/2</sup> .....		63	77	85	88
Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders) .....		96	96	96	96
Urban districts:					
Commercial and business .....	85	89	92	94	95
Industrial .....	72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size:					
1/8 acre or less (town houses) .....	65	77	85	90	92
1/4 acre .....	38	61	75	83	87
1/3 acre .....	30	57	72	81	86
1/2 acre .....	25	54	70	80	85
1 acre .....	20	51	68	79	84
2 acres .....	12	46	65	77	82
<i>Developing urban areas</i>					

Sumber: *Urban Hydrology for Small Watersheds, United States Department of Agriculture (USDA), June 1986*

Tabel 5 CN Untuk Daerah Agrikultur (1)

Cover description			hydrologic soil group			
Cover type	Treatment <sup>1</sup>	Hydrologic condition <sup>2</sup>	A	B	C	D
Fallow	Bare soil	—	77	86	91	94
	Crop residue cover (CR)	Poor	76	85	90	93
		Good	74	83	88	90
Row crops	Straight row (SR)	Poor	72	81	88	91
		Good	67	78	85	89
	SR + CR	Poor	71	80	87	90
		Good	64	75	82	85
	Contoured (C)	Poor	70	79	84	88
		Good	65	75	82	86
	C + CR	Poor	69	78	83	87
		Good	64	74	81	85
	Contoured & terraced (C&T)	Poor	66	74	80	82
		Good	62	71	78	81
Poor		65	73	79	81	
Small grain	SR	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	SR + CR	Poor	64	75	83	86
		Good	60	72	80	84
	C	Poor	63	74	82	85
		Good	61	73	81	84
	C + CR	Poor	62	73	81	84
		Good	60	72	80	83
	C&T	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
C&T + CR	Poor	60	71	78	81	
	Good	58	69	77	80	
Close-seeded or broadcast legumes or rotation meadow	SR	Poor	66	77	85	89
		Good	58	72	81	85
	C	Poor	64	75	83	86
		Good	55	69	78	83
	C&T	Poor	63	73	80	83
Good	51	67	76	80		

<sup>1</sup> Average runoff condition, and  $I_p=0.28$

<sup>2</sup> Crop residue cover applies only if residue is on at least 5% of the surface throughout the year.

<sup>3</sup> Hydraulic condition is based on combination factors that affect infiltration and runoff, including (a) density and canopy of vegetative areas, (b) amount of year-round cover, (c) amount of grass or close-seeded legumes, (d) percent of residue cover on the land surface (good  $\geq 30\%$ ), and (e) degree of surface roughness.

Sumber: *Urban Hydrology for Small Watersheds, United States Department of Agriculture (USDA), June 1986*

Tabel 6 CN Untuk Daerah Agrikultur (2)

Cover description	Hydrologic condition	Curve numbers for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing. <sup>2</sup>	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	60	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow—continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.	—	30	58	71	78
Brush—brush-wood-grass mixture with brush the major element. <sup>3</sup>	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30 <sup>4</sup>	48	65	73
Woods—grass combination (orchard or tree farm). <sup>5</sup>	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods. <sup>6</sup>	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30 <sup>4</sup>	55	70	77
Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.	—	59	74	82	86

<sup>1</sup> Average runoff condition, and  $I_a = 0.2S$ .

<sup>2</sup> Poor: <50% ground cover or heavily grazed with no mulch.

Fair: 50 to 75% ground cover and not heavily grazed.

Good: > 75% ground cover and lightly or only occasionally grazed.

<sup>3</sup> Poor: <50% ground cover.

Fair: 50 to 75% ground cover.

Good: >75% ground cover.

<sup>4</sup> Actual curve number is less than 30; use CN = 30 for runoff computations.

<sup>5</sup> CN's shown were computed for areas with 50% woods and 50% grass (pasture) cover. Other combinations of conditions may be computed from the CN's for woods and pasture.

<sup>6</sup> Poor: Forest litter, small trees, and brush are destroyed by heavy grazing or regular burning.

Fair: Woods are grazed but not burned, and some forest litter covers the soil.

Good: Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil.

Sumber: *Urban Hydrology for Small Watersheds*, United States Department of Agriculture (USDA), June 1986

Tabel 7 CN Untuk Daerah Kering

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition #	A #	B	C	D
Herbaceous—mixture of grass, weeds, and low-growing brush, with brush the minor element.	Poor		80	87	93
	Fair		71	81	80
	Good		62	74	85
Oak-aspen—mountain brush mixture of oak brush, aspen, mountain mahogany, bitter brush, maple, and other brush.	Poor		66	74	79
	Fair		48	57	63
	Good		30	41	48
Pinyon-juniper—pinyon, juniper, or both; grass understory.	Poor		75	85	89
	Fair		58	73	80
	Good		41	61	71
Sagebrush with grass understory.	Poor		67	80	85
	Fair		51	63	70
	Good		35	47	55
Desert shrub—major plants include saltbush, greasewood, creosotebush, blackbrush, bursage, palo verde, mesquite, and cactus.	Poor	63	77	85	88
	Fair	55	72	81	86
	Good	49	68	79	84

<sup>1</sup> Average runoff condition, and  $I_a = 0.2S$ . For range in humid regions, use table 2-2c.

<sup>2</sup> Poor: <30% ground cover (litter, grass, and brush overstory).

Fair: 30 to 70% ground cover.

Good: > 70% ground cover.

<sup>3</sup> Curve numbers for group A have been developed only for desert shrub.

Sumber: *Urban Hydrology for Small Watersheds, United States Department of Agriculture (USDA), June 1986*

Dengan mengacu pada “*Buku Petunjuk Teknis Perhitungan Debit Banjir Pada Bendungan*”, Karakteristik DAS secara umum yang mempengaruhi parameter SCS-CN adalah jenis tanah, jenis tutupan vegetasi, penggunaan lahan, kondisi hidrologi, kondisi kelengasan tanah sebelumnya (AMC), dan iklim pada DAS. Metode SCS ini sendiri mengestimasi kelebihan hujan sebagai fungsi dari hujan kumulatif, tutupan lahan, tata guna lahan, kelembapan tanah. Persamaannya dapat ditulis menjadi:

$$P_e = \left\{ \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \right\}$$

$$I_a = \lambda \cdot S$$

$$S = \left\{ \frac{25400 - 254 \text{ CN}}{\text{CN}} \right\}$$

Keterangan :

$P_e$  : kelebihan hujan kumulatif (mm)

$P$  : hujan kumulatif (mm)

$I_a$  : kehilangan awal air (mm)

S :potensi tampungan di dalam DAS (mm)

$\lambda$  :koefisien

CN : Curve Number

Hubungan  $I_a$  dan S diturunkan secara empiris dimana nilai  $\lambda$  diambil sebesar 0,2. Sehingga pada DAS yang berbeda nilai  $\lambda$  dapat berbeda-beda. Untuk DAS dengan sub-DAS yang memiliki jenis tanah dan tutupan lahan yang berbeda, maka nilai komposit CN ditentukan berdasarkan :

$$CN_c = \frac{CN_1A_1 + CN_2A_2 + \dots + CN_iA_i \dots + CN_nA_n}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Keterangan :

CN<sub>i</sub> : nilai CN pada sub-DAS i,

A<sub>i</sub> : luas pada sub-DAS i, dan

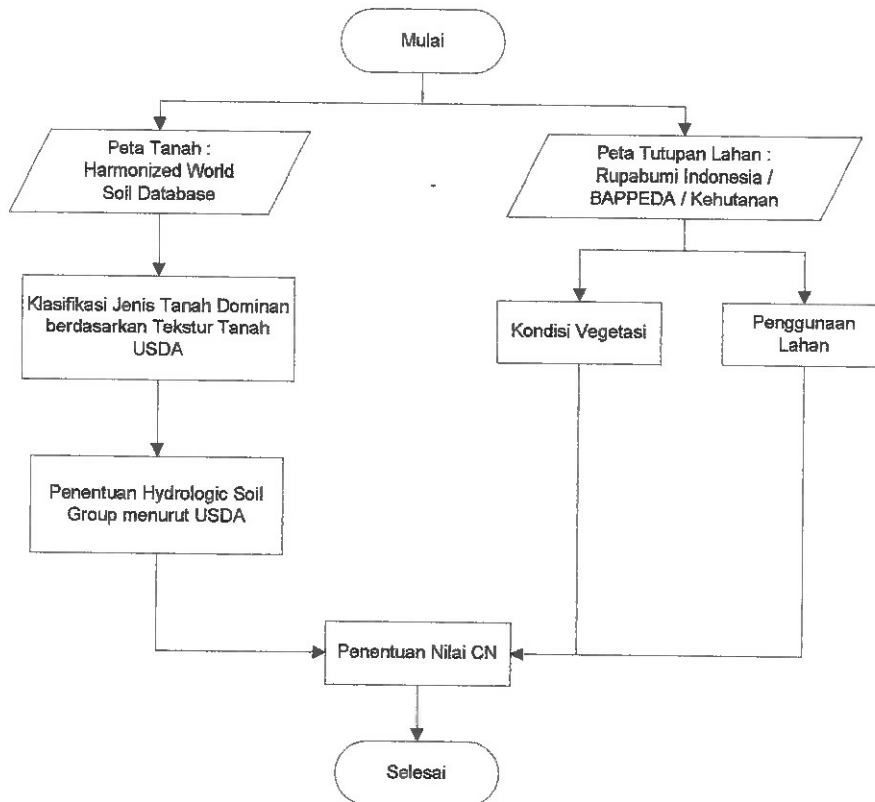
n : jumlah sub-DAS.

Penentuan nilai CN dimulai dengan pengumpulan data. Untuk menentukan jenis tanah, peta yang diperlukan adalah peta tanah. Peta tanah yang digunakan adalah Peta *Harmonized World Soil Database*(HWSD).

Jenis tanah hidrologi sendiri lebih dikenal sebagai Hydrologic Soil Grup (HSG) yang terbagi menjadi 4 kelompok mulai dari jenis tanah A (sangat berpotensi menyerap air), B (potensi menyerap air termasuk moderat), C (potensi menyerap air kurang) dan D (potensi menyerap air sangat kurang).

Nilai dari HSG ini ditentukan dengan menggunakan peta HWSD (*Harmonized World Soil Database*). Peta ini dapat diakses dari <http://webarchive.iiasa.ac.at>. Peta HWSD merupakan database raster 30 arc-second dengan lebih dari 1600 pemetaan tanah yang berbeda yang menggabungkan pembaruan informasi regional dan nasional yang ada di seluruh dunia (SOTER, ESD, Soil Map of China, WISE) dengan informasi yang terdapat dalam 1: 5000.000 skala FAO-UNESCO Tanah Peta Dunia (FAO, 19711981).

Peta HWSD sudah memiliki informasi mengenai tekstur tanah dominan menurut USDA (United States Department of Agriculture). Informasi tersebut di transformasikan sebagai kelompok kelas HSG berdasarkan kelas tekstur dari USDA.



**Gambar 5 Diagram Alir Penentuan HSG Menggunakan Peta HWSD**

Sumber: Buku Petunjuk Teknis Perhitungan Debit Banjir Pada Bendungan

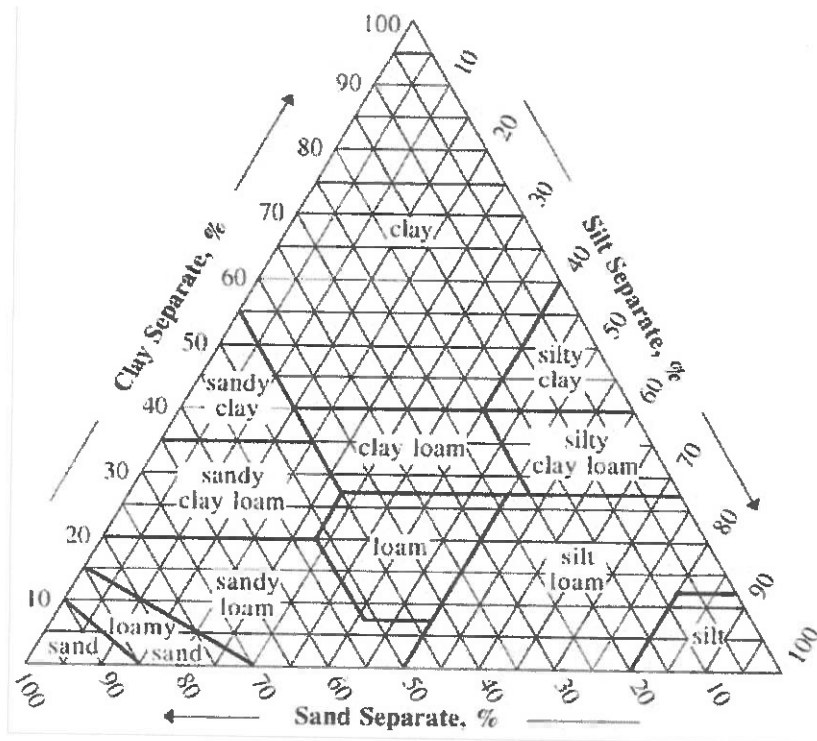
Hydrologic Soil Group (HSG) menurut NRCS dibagi menjadi empat kelas, yaitu A, B, C, dan D. Kriteria pengelompokan HSG menurut USDA adalah sebagai berikut :

**Tabel 8 Nilai HSG Berdasarkan Klasifikasi Tanah USDA**

HSG	Tekstur Tanah
A	Sand, loamy sand or sandy loam
B	Silt or loam
C	Sandy clay loam
D	Clay loam, silt clay loam, sandy clay or clay

(Sumber: SCS-USDA, 1986)

Tanah secara luas diklasifikasikan sebagai *sand* (pasir), *silt* (lanau), *clay* (lempung) berdasarkan ukuran butir yang menurun sesuai urutannya seperti yang ditunjukkan dalam gambar di bawah ini. Nilai CN diambil dari tabel Klasifikasi Nilai CN Berdasarkan HSG. Dengan mengacu pada tabel di atas, dimana diketahui kondisi vegetasi (*Hydrologic Conditions/% impervious area*) , jenis penggunaan lahan yang diambil dari peta tutupan lahan yang tersedia, lalu sesuaikan dengan HSG yang telah ditentukan.



**Gambar 6 Klasifikasi Tekstur Tanah**

(Sumber: NRCS-USDA, 2017)

**Tabel 9 Klasifikasi Nilai CN Berdasarkan HSG**

No	Land Use Description/Treatment	Hydrologic Conditions/% impervious area	Hydrologic Soil Groups			
			A	B	C	D
<b>Urban</b>						
1	Residential:					
	Average lot size 1/8 acre or less	65	77	85	90	92
	1/4 acre	38	61	75	83	87
	1/3 acre	30	57	72	81	86
	1/2 acre	25	54	70	80	85
	1 acre	20	51	68	79	84
	2 acre	12	46	65	77	8
2	Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)		98	98	98	98
3	Streets and roads:					

No	Land Use Description/Treatment	Hydrologic Conditions/% impervious area	Hydrologic Soil Groups			
			A	B	C	D
	Paved with curbs and storm sewers (excluding right-of-way)		98	98	98	98
	Paven, open ditch (including right-of-way)		82	89	92	93
	Gravel (including right-of-way)		76	85	89	91
	Dirt (including (right-of-way)		72	82	87	89
4	Western desert areas:					
	Natural desert landscaping (pervious areas only)		63	77	85	88
	Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1-2 inch sand or gravel mulch and basin borders)		96	96	96	96
5	Urban districts:					
	Commercial and business areas	85	89	92	94	95
	Industrial districts	72	81	88	91	93
6	Developing areas:					
	Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation)		77	86	91	94
	Idle lands					
7	Open spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.					
	Grass cover on 75% or more of the area	Good	36	61	74	80
	Grass cover on 50% to 75% of the area	Fair	49	69	79	84
Agricultural						
	Cultivated lands:					
8	Fallow:					
	Bare soil Straight row		77	86	91	94

No	Land Use Description/Treatment	Hydrologic Conditions/% impervious area	Hydrologic Soil Groups			
			A	B	C	D
	Crop residue cover	Poor	76	85	90	93
9	Row crops					
	Straight row	Poor	72	81	88	91
	Straight row	Good	67	78	85	89
	Crop residue cover Straight row	Poor	71	80	87	90
	Crop residue cover Straight row	Good	64	75	82	85
	Contoured	Poor	70	79	84	88
	Contoured	Good	65	75	82	86
	Crop residue cover Contoured	Poor	69	78	83	87
	Crop residue cover Contoured	Good	64	74	81	85
	Contoured & terraced	Poor	66	74	80	82
	Contoured & terraced	Good	62	71	78	81
	Crop residue cover Contoured & terraced	Poor	65	73	79	81
	Crop residue cover Contoured & terraced	Good	61	70	77	80
10	Small grain:					
	Straight row	Poor	65	76	84	88
	Straight row	Good	63	75	83	87
	Crop residue cover Straight row	Poor	64	75	83	86
	Crop residue cover Straight row	Good	60	72	80	84
	Contoured	Poor	63	74	82	85
	Contoured	Good	61	73	81	84
	Crop residue cover Contoured	Poor	62	73	81	84
	Crop residue cover Contoured	Good	60	72	80	83
	Contoured & terraced	Poor	61	72	79	82

No	Land Use Description/Treatment	Hydrologic Conditions/% impervious area	Hydrologic Soil Groups			
			A	B	C	D
	Contoured & terraced	Good	59	70	78	81
	Crop residue cover Contoured & terraced	Poor	60	71	78	81
	Crop residue cover Contoured & terraced	Good	58	69	77	80
11	Close-seeded legumes or rotation meadow					
	Straight row	Poor	66	77	85	89
	Straight row	Good	58	72	81	85
	Contoured	Poor	64	75	83	85
	Contoured	Good	55	69	78	83
	Contoured & terraced	Poor	63	73	80	83
	Contoured & terraced	Good	51	67	76	80
	Uncultivated lands:					
12	Pasture or range:	Poor	68	79	86	89
		Fair	49	69	79	84
		Good	39	61	74	80
	Contoured	Poor	47	67	81	88
	Contoured	Fair	25	59	75	83
	Contoured	Good	6	35	70	79
13	Meadow-continuous grass, protected from grazing, and generally mowed for hay	Good	30	58	71	78
	Brush-brush weed grass mixture with brush being the major element	Poor	48	67	77	83
		Fair	35	56	70	77
		Good	30	48	65	73

No	Land Use Description/Treatment	Hydrologic Conditions/% impervious area	Hydrologic Soil Groups			
			A	B	C	D
14	Farmsteads-buildings, lanes, driveways, and surrounding lots		59	74	82	86
<b>Woods and Forest</b>						
15	Woods or forest land	Poor	45	66	77	83
		Fair	36	60	73	79
		Good	25	55	70	77
16	Woods-grass combination (orchard or tree farm)	Poor	57	73	82	86
		Fair	43	65	76	82
		Good	32	58	72	79
Arid and Semiarid rangelands :						
17	Herbaceous	Poor		80	87	93
		Fair		71	81	89
		Good		62	74	85
18	Oak-aspen	Poor		66	74	79
		Fair		48	57	63
		Good		30	41	48
19	Pinyon-juniper	Poor		75	85	89
		Fair		58	73	80
		Good		41	61	71
20	Sagebrush with grass understory	Poor		67	80	85
		Fair		51	63	70
		Good		35	47	55
21	Desert shrub	Poor	63	77	85	88
		Fair	55	72	81	86
		Good	49	68	79	84

(Sumber: Mishra dkk, 2003)

#### 4.2.5 Ketersediaan Air Rata-Rata Bulanan

Berdasarkan hasil perhitungan ketersediaan air bulanan menggunakan N-RECA atau FJ Mock maka didapat tabel ketersediaan air bulanan.

Selain itu, debit andalan dan debit rata-rata bulanan juga perlu dihitung mengacu kepada *SN/ Debit Andal dan Teknik Generating Data Debit dari Metode Hujan Limpasan*.

### 4.3 Analisis Kebutuhan Air

#### 4.3.1 Kebutuhan Air Rumah Tangga

Kebutuhan air rumah tangga dihitung berdasarkan kategori seperti yang dilihat pada Tabel 10 Kebutuhan air rumah tangga.

**Tabel 10 Kebutuhan air rumah tangga**

No	Kategori Kota	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Kebutuhan Air Bersih (L/O/H)
1	Semi Urban (Ibu Kota Kecamatan/ Desa)	3000 – 20.000	60 - 90
2	Kota Kecil	20.000 – 100.000	90 – 110
3	Kota Sedang	100.000 – 500.000	100 – 125
4	Kota Besar	500.000 – 1.000.000	120 – 150
5	Kota Metropolitan	> 1.000.000	150 – 200

Sumber: *Ditjen Cipta Karya, 2006*.

#### 4.3.2 Kebutuhan Air Peternakan

Besar kebutuhan air peternakan dapat dihitung berdasarkan jenis hewan seperti terlihat pada Tabel 11 Kebutuhan air peternakan.

**Tabel 11 Kebutuhan air peternakan**

No	Jenis Hewan	Kebutuhan Air (Lt/Ekor/Hari)
1	Sapi/ Kerbau	40
2	Domba/ Kambing	5
3	Babi	6
4	Unggas	0.6

Sumber: *Jurnal Teknosains, 2015*.

Khusus untuk peternakan sapi perah dapat dihitung juga menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$DWI = 15,99 + (1,58 \times DMI) + (0,9 \times HS) + (0,05 \times 10^{-5} \times Nal) + (1,20 \times T)$$

Sumber: *Murphy, et. al, 1983*

Keterangan :

DWI = *Dry Water Intake* (kg/hari)

DMI = *Dry Matter Intake* (kg/hari)

HS = Hasil Susu (kg/hari)

Nal = *Natrium Intake* (kg/hari)

T = Suhu (°C)

Sedangkan untuk sapi kering kandang dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$FWI = -10,34 + (0,2296 \times DMD) + (0,2212 \times DMI) + (0,03944 \times CPD^2)$$

*Sumber: Holter and Urban, 1992.*

Keterangan :

FWI = *Free Water Intake* (kg/hari)

DMD = *Dry Matter percent of Diet* (kg/hari)

CPD = *Crude Protein percent of Diet* (kg/hari)

#### **4.3.3 Kebutuhan Air Perkebunan/Pertanian**

Kebutuhan air untuk pertanian dan perkebunan diatur berdasarkan KP-01:2013 Jaringan Irigasi.

#### **4.3.4 Kebutuhan Air Lainnya**

Kebutuhan air lainnya yang dimaksud adalah kebutuhan air untuk fasilitas umum seperti sekolah, sarana ibadah, taman, tempat rekreasi, dan lain-lain sesuai layanan setempat yang diperlukan.

Kebutuhan air dihitung sesuai NSPK yang berlaku.

### **4.4 Analisis Neraca Air**

Kebutuhan pembangunan embung disesuaikan dengan kebutuhan permasalahan air yang terjadi dilapangan. Pembangunan embung untuk memenuhi kebutuhan air harus mempertimbangkan neraca air di lokasi tersebut. Neraca air atau keseimbangan air mempertimbangkan ketersediaan air dan kebutuhan air yang ada.

Ketersediaan air diperkirakan berdasarkan besarnya potensi air atau curah hujan yang akan mengisi embung. Besarnya curah hujan harus cukup untuk memenuhi kebutuhan minimal daerah layanan. Kebutuhan air diperkirakan berdasarkan klasifikasi daerah dan kebutuhan air perkapita.

Apabila embung yang dibangun ditujukan juga untuk menyelesaikan permasalahan banjir, maka harus mempertimbangkan beban banjir atau limpasan yang terjadi dan seberapa besar beban banjir yang akan dikurangi.

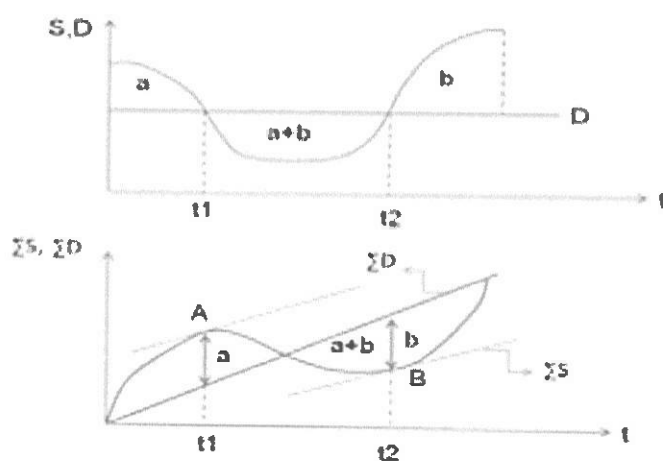
#### 4.5 Analisis Kapasitas Tampungan Efektif (KTE)

Kapasitas tampung harus dapat memenuhi kebutuhan air utama suatu desa yang ditentukan berdasarkan jumlah kepala keluarga (KK), luas irigasi/kebun yang harus diairi, jumlah hewan/peternakan yang membutuhkan air, dll. Selain kebutuhan air utama, harus diperhitungkan juga kebutuhan tampung diantaranya cadangan untuk mengantisipasi kehilangan air karena penguapan dan resapan (infiltrasi), serta perlu disediakan ruangan untuk sedimen (tampungan mati - *dead storage*) yang kemudian diproyeksikan 20 tahun kedepan.

Pendekatan dan metoda yang dapat digunakan dalam memperkirakan kapasitas tampung suatu embung dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metoda salah satunya dengan metoda Grafis (*Ripple Method*). Dengan diketahuinya ketersediaan air (inflow) dan kebutuhan air (outflow), maka volume kapasitas tampung yang dibutuhkan pada kondisi dimana kebutuhan melebihi ketersediaan dapat diketahui dengan memplot kumulatif besarnya inflow dan outflow. Selisih terbesar, antara kedua kurva tersebut merupakan kapasitas yang dibutuhkan. Berikut tahapan dalam pembuatan diagram kurva massa:

- Membuat kurva kumulatif dari inflow yang masuk ke embung.
- Kemiringan dari kurva masa memberikan nilai dari inflow (S) pada suatu waktu.
- Kemiringan dari kurva kebutuhan memberikan besaran laju kebutuhan (D).
- Perbedaan antara garis tangen (a+b) ke garis kebutuhan ( $\Sigma D$ ) pada titik puncak (A) dan titik terendah (B) dari kurva masa ( $\Sigma S$ ) memberikan laju yang harus dikeluarkan dari embung selama perioda kritis (Lihat gambar Diagram Kurva Massa (Rippl, 1883)**Error! Reference source not found.**).

Maksimum kumulatif antara kurva ketersediaan dan kurva kebutuhan merupakan tampungan/*storage* aktif yang diperlukan.



Gambar 7 Diagram Kurva Massa (Rippl, 1883)

#### 4.6 Analisis Infiltrasi

Parameter yang digunakan pada analisis infiltrasi didapat dari pengukuran laju infiltrasi air kedalam tanah yang salah satunya menggunakan infiltrometer cincin ganda sesuai dengan SNI 7752:2012.

#### 4.7 Analisis Erosi dan Sedimentasi (Tampungan Mati)

Kapasitas tampungan efektif (*life storage*) dapat ditentukan dengan menghitung terlebih dahulu besarnya sedimentasi (*dead storage*). Hal ini dikarenakan besarnya *life storage* merupakan selisih antara kapasitas tampungan total dengan *dead storage*. Besarnya *dead storage* ditentukan oleh total laju erosi yang terjadi selama kapasitas layanan embung yang direncanakan. Terjadinya erosi dan sedimentasi tergantung dari beberapa faktor yaitu karakteristik hujan, kemiringan lereng, tanaman penutup dan kemampuan tanah untuk menyerap dan melepas air ke dalam lapisan tanah dangkal, dampak dari erosi tanah dapat menyebabkan sedimentasi di sungai sehingga dapat mengurangi daya tampung sungai. Sejumlah material erosi yang dapat mengalami secara penuh dari sumbernya hingga mencapai titik kontrol dinamakan hasil sedimen (*sediment yield*). Hasil sedimen tersebut dinyatakan dalam satuan berat (ton) atau satuan volume ( $m^3$ ) dan juga merupakan fungsi luas daerah pengaliran. Dapat juga dikatakan hasil sedimen adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu.

Analisis erosi dan sedimentasi dapat menggunakan metode USLE, MUSLE, dan RUSLE, sedangkan untuk data yang terbatas biasanya digunakan metode USLE. Untuk menghitung perkiraan besarnya erosi yang terjadi di suatu DAS dapat digunakan metode USLE, dengan formulasi :

$$E = R \times K \times LS \times C \times P$$

Keterangan :

*E* adalah perkiraan besarnya erosi jumlah (ton/ha/tahun)

*R* adalah faktor erosivitas hujan

*K* adalah faktor erodibilitas lahan

*LS* adalah faktor panjang – kemiringan lereng

*C* adalah faktor tanaman penutup lahan atau pengelolaan tanaman

*P* adalah faktor tindakan konservasi lahan

Adapun faktor-faktor yang memengaruhi besarnya erosi memiliki penjelasan sebagai berikut:

##### a) Erosivitas Hujan (R)

Erosivitas hujan adalah kemampuan air hujan sebagai penyebab terjadinya erosi yang bersumber dari laju dan distribusi tetesan air hujan, dimana keduanya mempengaruhi besarnya energi kinetik air hujan. Berdasarkan data curah hujan bulanan, faktor erosivitas hujan (R) dapat dihitung dengan :

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_{30}$$
$$EI_{30} = 6.119 \times P^{1.21} \times D^{-0.47} M^{0.55}$$

Keterangan :

- R adalah indeks erosivitas
- P adalah curah hujan bulanan (cm)
- D adalah jumlah hari hujan
- M adalah curah hujan maksimum dalam satu bulan (cm)

b) Erodibilitas Tanah (K)

Nilai erodibilitas tanah ditentukan oleh tekstur, struktur, permeabilitas tanah dan kandungan material organik dalam tanah. Penentuan nilai K dapat menggunakan persamaan berikut :

$$K = \frac{1.292\{(2.1M^{1.14}10^{-4}(12-a))+(3.25(b-2))+(2.5(c-3))\}}{100}$$

Keterangan :

- K adalah faktor erodibilitas tanah
- M adalah parameter ukuran butir
- a adalah persentase material organik = % C × 1.724
- b adalah kelas struktur tanah
- c adalah kelas kecepatan permeabilitas tanah

Untuk menyelesaikan persamaan tersebut, digunakan beberapa rumus.

**Tabel 12 Kelas struktur tanah (b)**

Struktur Tanah	Nilai b
Granuler sangat halus	1
Granuler halus	2
Granuler sedang sampai kasar	3
Masif kubus, lempeng	4

**Tabel 13 Kelas kecepatan permeabilitas tanah (c)**

Tingkat permeabilitas tanah	Kecepatan permeabilitas (cm/jam)	Nilai c
Sangat lambat	< 0.5	1
Lambat	0.5 – 2	2
Lambat sampai sedang	2 – 6.3	3
Sedang	6.3 – 12.7	4
Sedang sampai cepat	12.7 – 25.4	5
Cepat	> 25.4	6

Berdasarkan nilainya, tingkat erodibilitas (K) juga memiliki klasifikasi seperti pada tabel berikut ini.

**Tabel 14 Kelas tingkat erodibilitas**

Kelas	Nilai K	Tingkat Erodibilitas
1	0.00 - 0.10	Sangat rendah
2	0.11 - 0.21	Rendah
3	0.22 - 0.32	Sedang
4	0.33 - 0.44	Agak tinggi
5	0.45 - 0.55	Tinggi
6	0.56 - 0.64	Sangat tinggi

c) Panjang – Kemiringan Lereng (LS)

$$LS = L + \left(\frac{S}{9}\right)^{1.4}$$

$$L = \left(\frac{X}{22.1}\right)^m$$

$$S = \frac{(0.43+0.30 S+0.0435)S^2}{6.613}$$

Keterangan :

LS adalah faktor panjang – kemiringan lereng

L adalah panjang lereng erosi (m)

X adalah panjang lereng erosi di lapangan (m)

m adalah nilainya berkisar antara 0.2 sampai 0.5

m = 0.5 jika kelerengan  $\geq 5\%$

m = 0.4 jika kelerengan  $< 5\%$  dan  $> 30\%$

m = 0.3 jika kelerengan  $\leq 3\%$  dan  $\geq 1\%$

m = 0.2 jika kelerengan  $< 1\%$

S adalah kemiringan lereng

s adalah nilai kecuraman/kemiringan lereng di halaman (%)

Nilai s merupakan kelas lereng dan diperoleh dari tabel berikut ini.

**Tabel 15 Kelas lereng (s)**

Kelas	Lereng	Kemiringan (%)
1	Datar	0 - 3
2	Landai	3 - 8
3	Miring	8 - 15
4	Agak curam	15 - 30
5	Curam	30 - 45
6	Sangat curam	$\geq 45$

d) Tanaman Penutup Lahan atau Pengelolaan Tanaman (C)

Dalam penentuan indeks pengelolaan tanaman ini ditentukan dari peta tata guna lahan dan keterangan tata guna lahan pada peta topografi ataupun data yang langsung diperoleh dari lapangan. Penentuan nilai faktor C ini dapat menggunakan tabel berikut ini.

**Tabel 16 Indeks pengelolaan tanaman**

No.	Macam penggunaan	Nilai C	No.	Macam penggunaan	Nilai C
1	Tanah terbuka tanpa tanaman	1,0			
2	Sawah	0,01		-serasah banyak	0,001
3	Tegalan tidak dispesifikasi	0,7	20	-serasah kurang	0,005
4	Ubi kayu	0,8		Hutan produksi	
5	Jagung	0,7		-tebang habis	0,5
6	Kedelai	0,399		-tebang pilih	0,2
7	Kentang	0,4	21	Semak belukar/ padang rumput	0,3
8	Kacang tanah	0,2	22	Ubi kayu + kedelai	0,181
9	Padi	0,561	23	Ubi kayu + kacang tanah	0,95
10	Tebu	0,2	24	Padi + sorghum	0,35
11	Pisang	0,6	25	Padi + kedelai	0,417
12	Akar wangi (sereh wangi)	0,4	26	Kacang tanah + gude	0,495
13	Rumput bede (tahun pertama)	0,287	27	Kacang tanah + kacang tunggak	0,571
14	Rumput bede (tahun kedua)	0,002	28	Kacang tanah + mulsa jerami 4 ton/ha	0,049
15	Kopi dengan penutup tanah buruk	0,2	29	Padi + mulsa jerami 4 ton/ha	0,096
16	Talas	0,85	30	Kacang tanah + mulsa jagung 4 ton/ha	0,128
	Kebun campuran	0,1	31	Kacang tanah + mulsa crotalaria 3 ton/ha	0,136
17	-kerapatan tinggi	0,2	32	Kacang tanah + mulsa kacang tunggak	0,259
	-kerapatan sedang	0,5	33	Kacang tanah + mulsa jerami 2 ton/ha	0,377
	-kerapatan rendah		34	Padi + mulsa crotalaria 3 ton/ha	0,387
18	Perladangan	0,4	35	Pola tanam tumpang gilir **) +mulsa jerami	0,079
19	Hutan alam		36	Pola tanam berurutan ***) + mulsa sisa	0,357
			37	Alang-alang mumi subur	0,001

e) Konservasi Tanah (P)

Penentuan indeks konservasi tanah ditentukan dari interpretasi jenis tanaman dari tata guna lahan dievaluasi dengan kemiringan lereng serta pengecekan di lapangan. Penentuan nilai faktor P ini dapat menggunakan tabel berikut ini.

**Tabel 17 Indeks konservasi tanah**

No	Tindakan Khusus Konservasi Tanah	Nilai P
1	Teras bangku	
	a. Konstruksi baik	0.04
	b. Konstruksi sedang	0.15
	c. Konstruksi kurang baik	0.35
	d. Teras tradisional	0.4
2	Stip tanaman rumput bahia	0.4
3	Pengelolaan tanah dan penampakan	
	a. Kemiringan 0-8%	0.5
	b. Kemiringan 9-20%	0.7
	c. Kemiringan lebih dari 20%	0.9
4	Tanpa tindakan konservasi	1

*Sediment Delivery Ratio* (SDR) adalah perbandingan antara sedimen yang terukur di outlet dan erosi di lahan, biasanya besar SDR cenderung berbanding terbalik terhadap luas DAS-nya. Berikut ini adalah persamaan SDR yang dapat digunakan.

1. The USDA SCS (1979), Blackhand Prairie, T

$$SDR = 0,51A^{-0,11}$$

Keterangan :

A = Luas DAS

2. Vanoni (1975), menggunakan data 300 DAS di dunia

$$SDR = 0,421A^{-0,125}$$

Keterangan :

A = Luas DAS

3. Auerswald (1992) dalam Arsyad (2006)

$$SDR = -0,02 + 0,385 A^{-0,2}$$

Keterangan :

A = Luas DAS

Besarnya hasil sedimen ditentukan berdasarkan rumus DPMA (1984) dalam Asdak (2004):

$$Y = E(SDR)W_s$$

Keterangan:

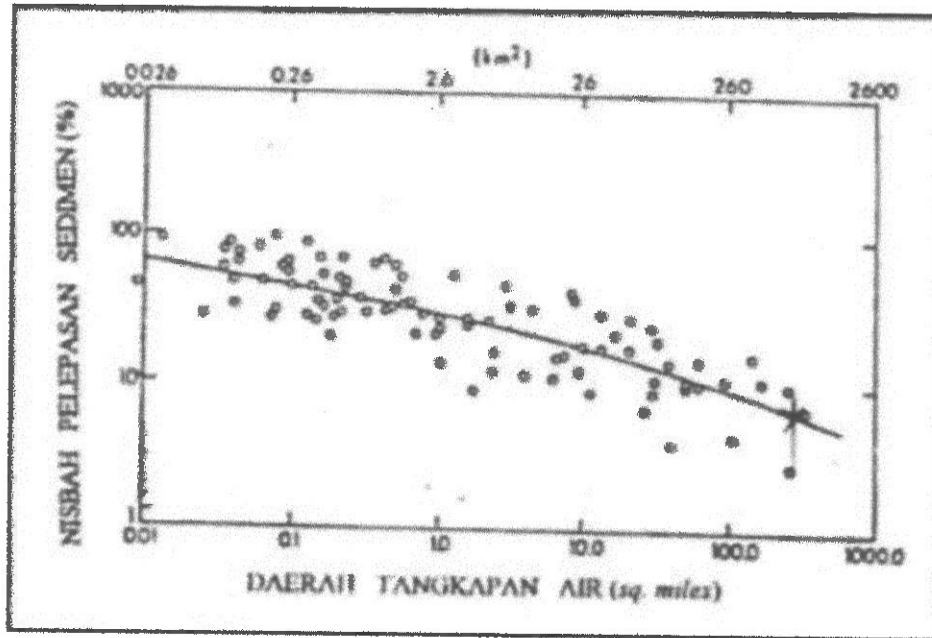
Y = Besarnya laju sedimen

E = Erosi total

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

$W_s$  = Luas daerah tangkapan air

4. Besarnya SDR juga dapat ditentukan berdasarkan grafik hubungan antara luas DAS dan besarnya SDR sebagaimana yang dikemukakan oleh Roehl (1962) dalam Asdak (2004). Grafik hubungan luas DAS dan nilai SDR ini dikembangkan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dalam kurun waktu yang sangat panjang dan melibatkan sejumlah karakteristik DAS diseluruh sunia.



**Gambar 8** Besarnya angka SDR berdasarkan luas DAS

Setelah menentukan besarnya sedimen SDR, selanjutnya adalah menghitung *Sediment Yield* (SY) yang merupakan jumlah sedimen yang terakumulasi pada outlet sebuah *catchment*. Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan besar SY.

$$SY = SDR \times A \times E$$

Keterangan :

SY = *Sediment Yield*

E = Laju erosi (ton/ha/tahun)

A = Luas DAS (ha)

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

Volume dari *Dead Storage* dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$V_{DS} = SY \times U$$

Keterangan:

$V_{DS}$  = *Volume Dead Storage* (ton)

SY = *Sediment Yield*

U = Umur layanan embung (tahun)

## 4.8 Analisis Debit Banjir Rencana

### 4.8.1 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi dilakukan untuk mencari distribusi dengan data yang tersedia dari pospos hujan yang ada. Analisis frekuensi dapat dilakukan dengan seri data hujan maupun data debit. Jenis distribusi frekuensi yang banyak digunakan dalam hidrologi adalah: - Distrbusi Gumbel - Distrbusi Log Pearson tipe III - Distribusi log Normal - Distrbusi Normal. Untuk analisis frekuensi ini mengacu pada "*Petunjuk Teknis Perhitungan Debit Banjir Pada Bendungan*<sup>2</sup>". Dalam analisis curah hujan, dilakukan validasi data hujan. Validasi data adalah langkah pemeriksaan untuk memastikan bahwa data tersebut telah sesuai kriteria yang ditetapkan dengan tujuan untuk memastikan bahwa data yang akan dimasukkan ke dalam basis data telah diketahui dan dapat dijelaskan sumber dan kebenaran datanya.

Dalam melakukan validasi data yang menjadi rujukan adalah Prosedur dan Instruksi Validasi Data yang tertuang dalam Permen PU Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 04/PRT/M/2009 tentang Sistem Manajemen Mutu Departemen Pekerjaan Umum.

Tahapan dalam validasi data hidrologi meliputi 2 (dua) uji yaitu uji konsistensi dan uji keseragaman.

#### a) Uji konsistensi

Uji konsistensi adalah proses pengujian data pada suatu pos pengamatan hidrologi guna mengetahui bahwa dalam kurun rentang waktu tertentu tidak mengalami perubahan secara signifikan yang antara lain diakibatkan adanya perpindahan pos, naturalisasi sistem air, dampak perubahan *land use*, kesalahan pencatatan oleh penjaga pos, perubahan titik referensi (kontrol), alat/gelas ukur dan lain-lain.

#### b) Uji keseragaman

Uji keseragaman adalah proses pengujian data secara keseluruhan/sebagian, untuk mengetahui data tersebut berasal dari satu populasi data yang sama atau tidak.

#### c) Uji Outlier

Uji outlier adalah proses pengujian data untuk mengetahui data ekstrim menggunakan uji regresi linear.

### 4.8.2 Debit Banjir

Besarnya debit banjir rencana ditentukan oleh intensitas hujan, yaitu tinggi air persatuan waktu (mm/jam). Analisis debit banjir rencana dapat menggunakan berbagai metode seperti Snyder, SCS, dan lain lain. Prosedur perhitungannya mengacu pada "SNI 2415:2016 Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana" dan "*Petunjuk Teknis Perhitungan Debit Banjir Pada Bendungan*"

---

<sup>2</sup> Ditjen SDA Kementrian PUPR, 2017

#### 4.9 Analisis Simulasi Routing

Analisis simulasi *routing* dilakukan berdasarkan analisis keseimbangan air yang masuk ke dalam embung (*inflow*) dan air yang keluar dari embung (*outflow*). Dengan dilakukannya *routing* untuk ketersediaan air, maka akan dapat diketahui tinggi muka air dari embung dan dapat digunakan sebagai pola operasi embung, sedangkan jika embung diperuntukkan sebagai pengendali banjir juga, maka perlu dilakukan *routing* terhadap banjir.

Tahapan dalam perhitungan neraca air adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi sumber air (*inflow*) berupa: curah hujan, aliran sungai, air tanah atau CAT

Sumber air pada embung dapat bervariasi tergantung karakteristik embung tersebut. Analisis sumber air (*inflow*) atau analisis ketersediaan air di DTA embung dilakukan untuk mengetahui potensi air permukaan di DTA embung. Data terkait hidrologi dikumpulkan selama minimal 10 (sepuluh) tahun terakhir. Tentukan besarnya *inflow* pada berbagai kondisi sebagai batas, yaitu:

- a. Kondisi basah atau normal atas dengan tingkat keandalan *inflow* 35%
- b. Kondisi normal dengan tingkat keandalan *inflow* sebesar 50%
- c. Dan kondisi kering atau normal bawah dengan tingkat keandalan 65%

Metode yang dapat digunakan dalam perhitungan ketersediaan air diantaranya adalah Metode Mock yang dimodifikasi, Metode Sacramento, Metode NRECA, dan metode lainnya. Perhitungan ini perlu dilakukan kalibrasi dengan data pengukuran atau yang tersedia pada data AWLR.

2. Identifikasi aliran keluar (*outflow*): aliran sungai, evaporasi, infrastruktur air

Perhitungan aliran keluar disesuaikan dengan karakteristik embung. Jika pada embung terdapat infrastruktur air yang mengatur air keluar sesuai dengan kebutuhan air maka perlu dilakukan perhitungan kebutuhan air berdasarkan data kebutuhan RKI, data kebutuhan domestik, data kebutuhan non-domestik, data pertanian, data peternakan dan data lainnya (misalnya PLTA). Periode prediksi data adalah minimal 20 tahun ke depan atau sesuai dengan RTRW di mana embung berada.

Neraca air embung merupakan perbandingan antara ketersediaan air embung dan kebutuhan air di suatu wilayah yang terjangkau dari embung untuk melihat kapasitas sumber daya air embung.

3. Simulasi neraca air dengan pola operasi

Persamaan dasar simulasi neraca air di embung merupakan fungsi dari masukan, keluaran dan tampungan embung yang dapat disajikan dalam persamaan sebagai berikut:

$$I - O = \frac{ds}{dt}$$

dengan:

I : debit masuk (m<sup>3</sup>/det)

O : debit keluar (m<sup>3</sup>/det)

$ds/dt$  :  $\Delta S$  adalah perubahan tampungan (m<sup>3</sup>/det)

atau secara rinci dapat ditampilkan sebagai berikut:

$$S_{t+1} = S_t + R_t - E_t - L_t - O_t - O_s$$

dengan:

$S_t$  : tampungan embung pada periode t

$S_{t+1}$  : tampungan embung pada periode t+1

$I_t$  : masukan embung pada periode t

$R_t$  : hujan yang jatuh diatas permukaan embung pada periode t

$E_t$  : kehilangan air akibat evaporasi pada periode t

$L_t$  : kehilangan air akibat rembesan dan bocoran

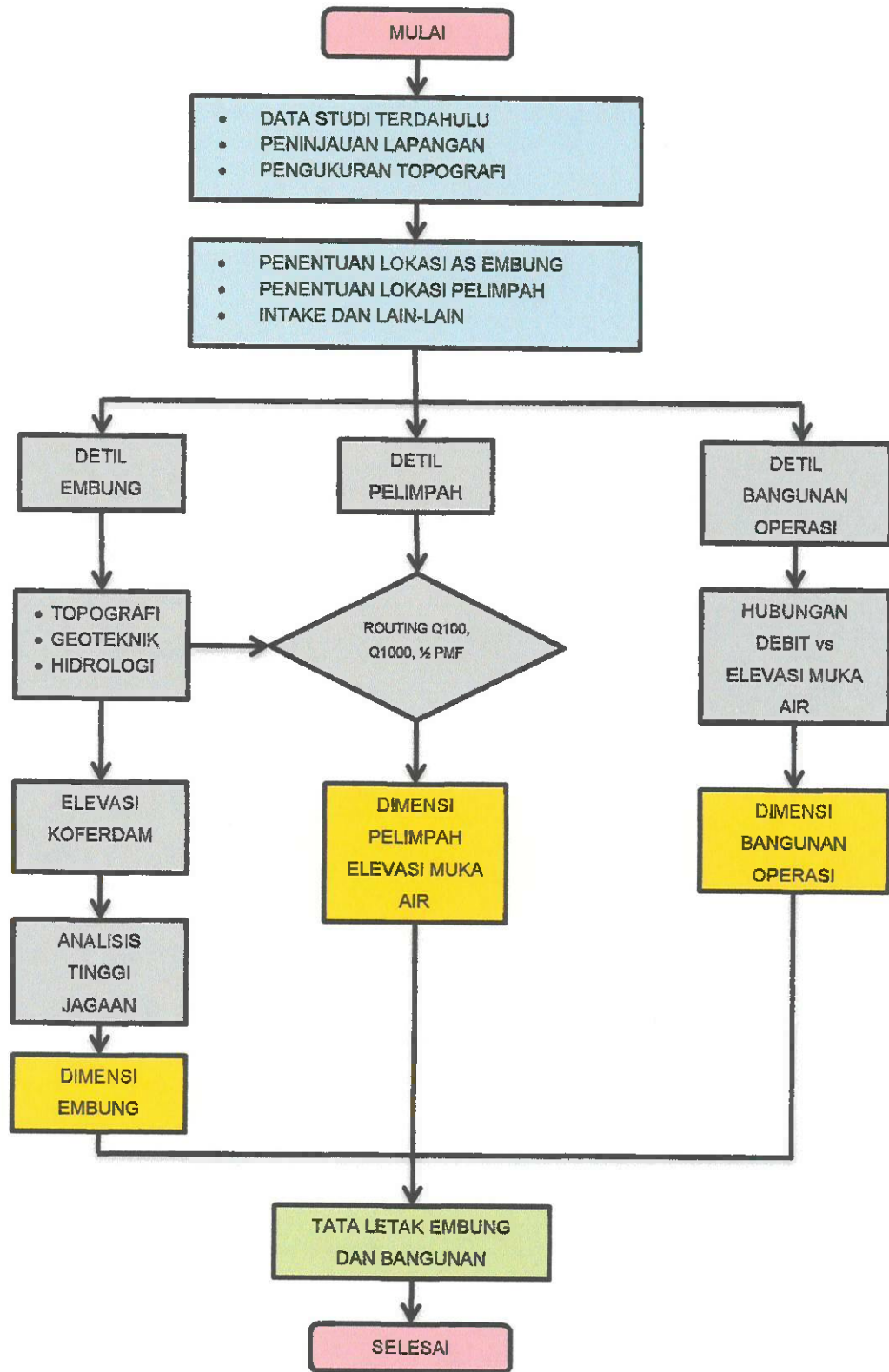
$O_t$  : total kebutuhan air

$O_s$  : keluaran dari pelimpah/pompa/banguna air lainnya

Simulasi dilakukan pada periode 1 (satu) tahun penuh untuk dapat mensimulasikan kondisi embung pada kondisi yang berbeda yaitu kondisi basah, normal dan kering. Simulasi dilakukan berdasarkan debit *inflow* (ketersediaan air) dan debit *outflow* yang sudah diperhitungkan sebelumnya.

## 5 Desain Embung

### 5.1 Desain Tata Letak Embung



Gambar 9 Skema Desain Tata Letak Embung di Luar Alur Sungai

#### 5.1.1 Kriteria Penentuan Lokasi Pembangunan Embung

Lokasi embung ditentukan melalui survei lapangan dengan memperhatikan hal sebagai berikut:

- Berupa cekungan dan memiliki curah hujan yang cukup untuk memenuhi kebutuhan minimal daerah layanan.

- b) Daerah tangkapan hujan tidak lebih dari 500 ha.
- c) Untuk mengurangi kemungkinan kehilangan air akibat rembesan, pilih kondisi tanah yang tidak lulus air.
- d) Lokasi embung berada dekat dengan desa yang memerlukan air sehingga jaringan distribusi lebih pendek dan tidak banyak kehilangan energi.
- e) Terdapat akses transportasi menuju lokasi embung.

### 5.1.2 Penempatan Komponen Embung

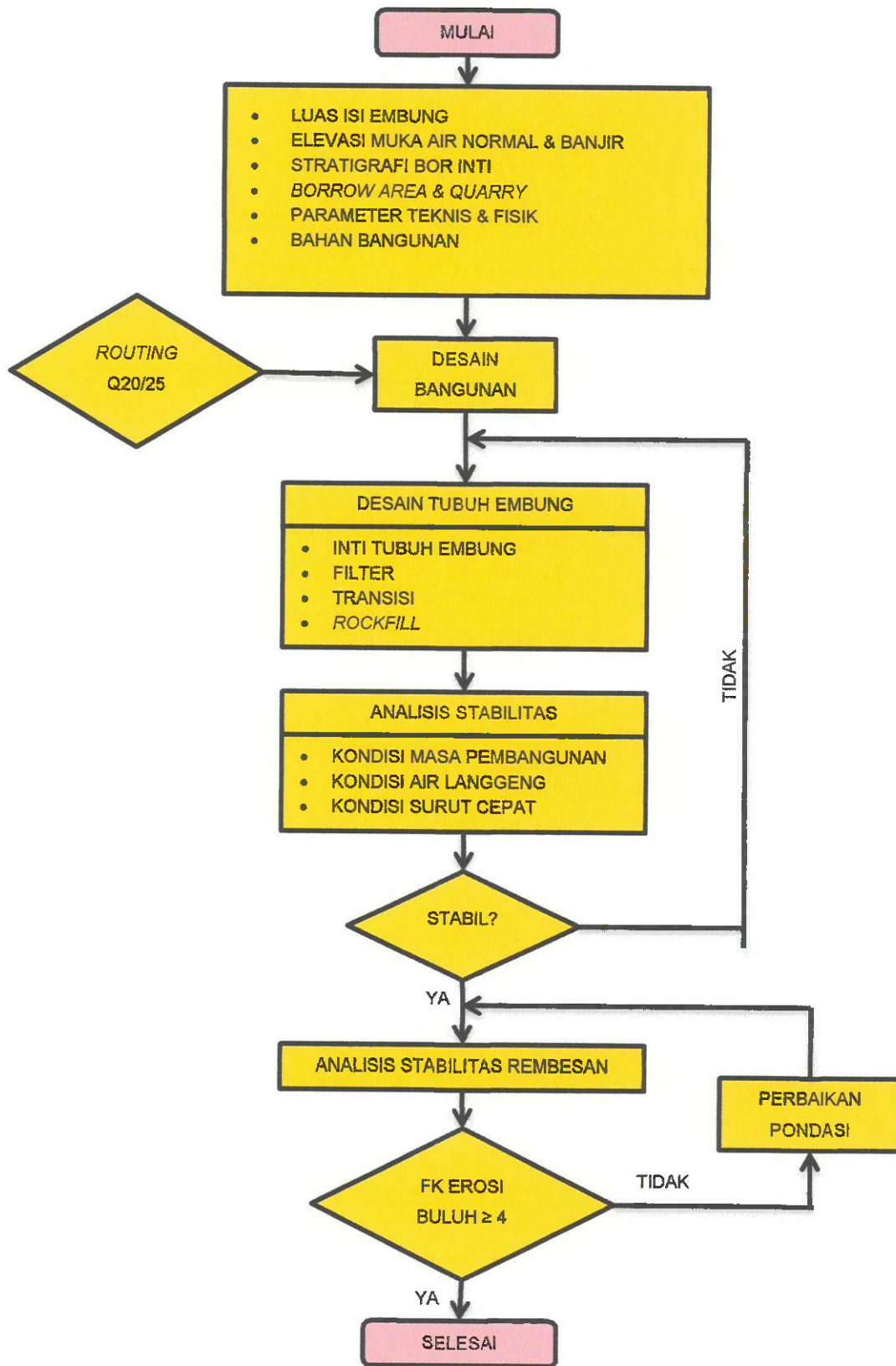
Hasil penyelidikan geoteknik digunakan untuk menentukan tata letak embung secara tentatif yang kemudian diatur kembali dengan memperhatikan ketentuan sebagai berikut:

- a) Tubuh embung ditempatkan pada lembah yang paling sempit dengan arah sumbu sedemikian agar panjang tubuh embung lebih pendek.
- b) Fondasi embung diutamakan berupa batu dibandingkan tanah.
- c) Pelimpah ditempatkan terpisah dengan tubuh embung dan dipilih celah bukit (*saddle*) pada dinding embung agar galian tidak banyak. Topografi diutamakan yang agak landai dan fondasi berupa batu untuk mengurangi resiko kerusakan akibat erosi.
- d) Pipa sadap ditempatkan pada fondasi batu di bukit tumpu yang ada di sisi kiri atau kanan lembah tergantung pada lokasi desa yang akan memanfaatkan air.
- e) Tentukan besar tampungan dan tinggi tubuh embung berdasarkan topografi yang ada, kebutuhan air, serta ketersediaan air.

Penentuan tata letak embung ditentukan berdasarkan studi terdahulu, peninjauan lapangan, dan pengukuran topografi. Penentuan tata letak embung terdiri dari penentuan lokasi as dam, lokasi pelimpah, *intake* dan lain-lain. Detail penentuan tata letak embung dan bangunan pelengkap adalah sebagai berikut :

- a. Detail embung: Berdasarkan kondisi topografi, geoteknik, dan hidrologi ditentukan elevasi koferdam dan tinggi jagaan sehingga didapatkan dimensi embung.
- b. Detail pelimpah: Berdasarkan kondisi topografi, geoteknik, dan hidrologi dilakukan routing debit banjir dengan periode ulang Q100, Q1000, atau  $\frac{1}{2}$  PMF sehingga didapatkan dimensi pelimpah elevasi muka air embung.
- c. Detil bangunan operasi: Berdasarkan kebutuhan air yang diperlukan, kemudian ditentukan hubungan antara debit dan elevasi muka air sehingga didapatkan dimensi bangunan operasi.

## 5.2 Desain Tubuh dan Kolam Embung



Gambar 10 Skema Perencanaan Dimensi Embung di Luar Alur Sungai

### 5.2.1 Tipe Tubuh Embung

Pemilihan tipe embung dilakukan berdasarkan pada kriteria sebagai berikut :

1. Kondisi lapangan
2. Jenis fondasi
3. Jenis tanah
4. Panjang/bentuk lembah

5. Material bangunan yang tersedia di tempat
6. Ketersediaan *disposal area*
7. Stabilitas bangunan
8. Pertimbangan Biaya

Tubuh embung bertipe urukan (homogen dan majemuk) dapat dibangun pada fondasi tanah atau batu, sedangkan tipe pasangan batu atau beton hanya dapat dibangun pada fondasi batu. Selain itu, tipe pasangan batu atau beton karena mahal hanya disarankan bila lembah sempit (bentuk V) dimana kedua tebingnya curam dan terdiri dari material batu. Jika lembah panjang/lebar dan terdiri dari material batu maka tubuh embung akan lebih murah apabila dipilih tipe komposit. Penentuan tubuh embung berdasarkan kajian ketersediaan material di sekitar lokasi rencana embung yang kemudian dilakukan analisis stabilitas tubuh embung sesuai dengan tinggi rencana desain.

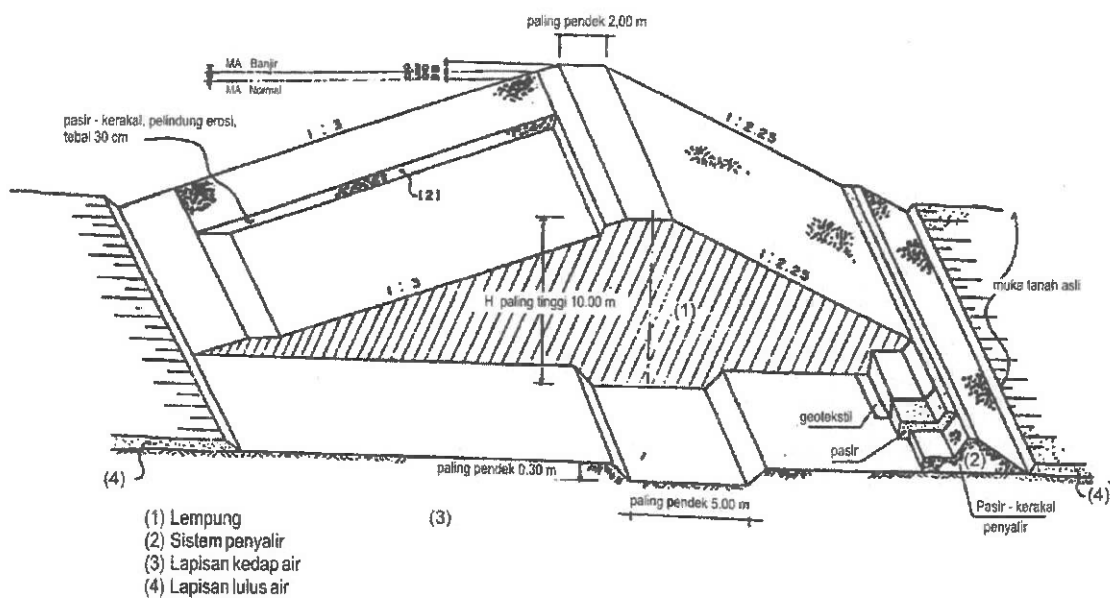
Tubuh embung dapat didesain menurut beberapa tipe sebagai berikut:

a) Urukan tanah homogen

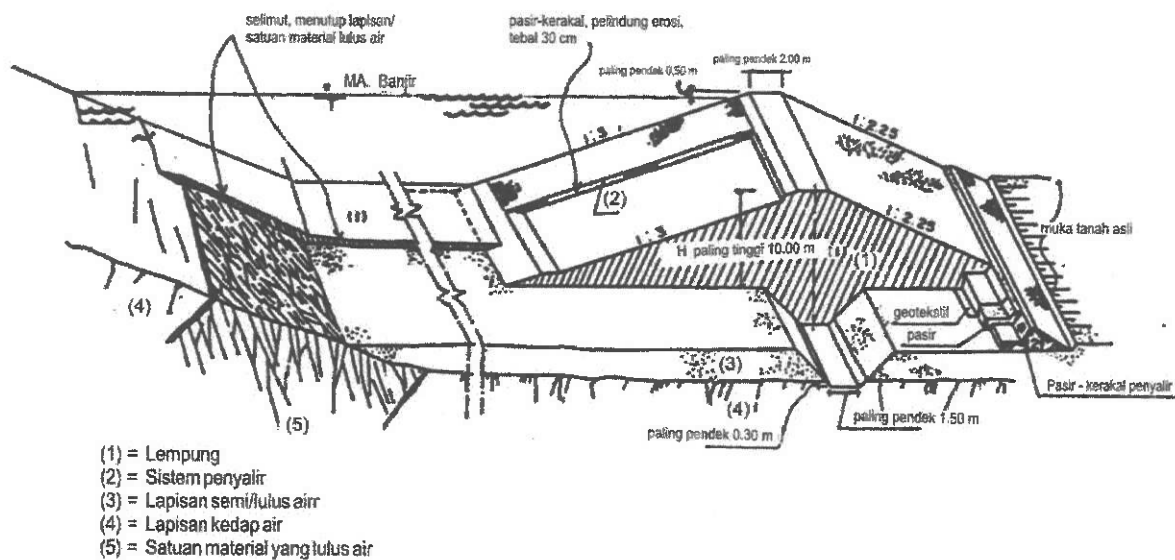
Tubuh embung dapat didesain sebagai urukan homogen, dimana material urukan seluruhnya atau sebagian besar hanya menggunakan satu macam material saja yaitu lempung atau tanah berlempung.

b) Urukan majemuk

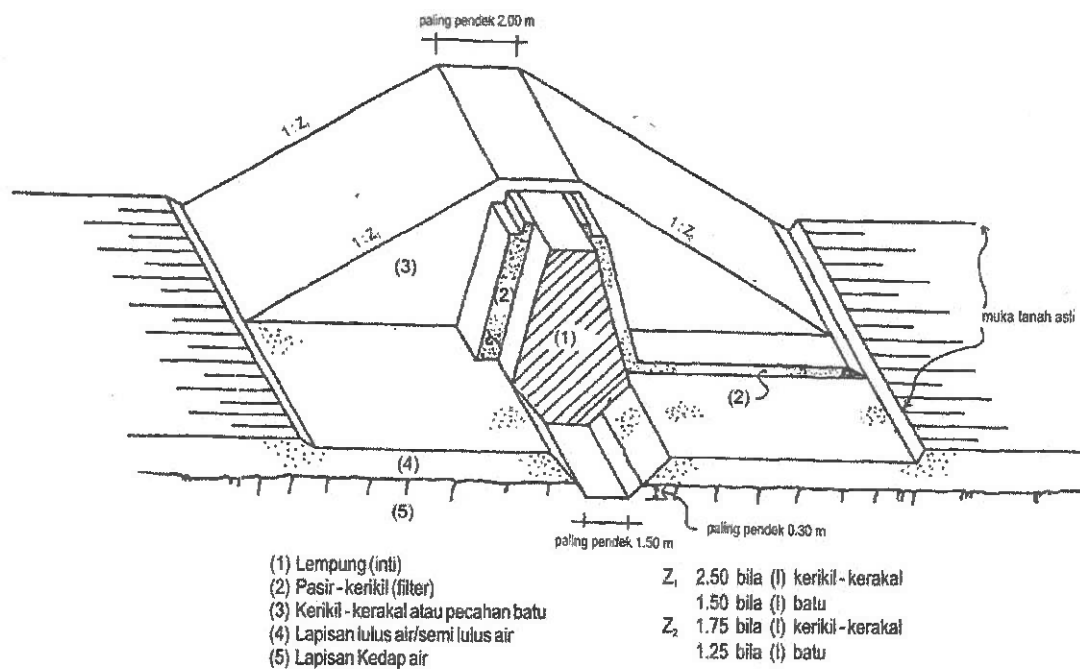
Tubuh embung dapat didesain sebagai urukan majemuk apabila tersedia material urukan lebih dari satu macam. Urukan terdiri dari urukan kedap air terutama untuk bagian inti embung, urukan semi kedap air (transisi) dan urukan lulus air.



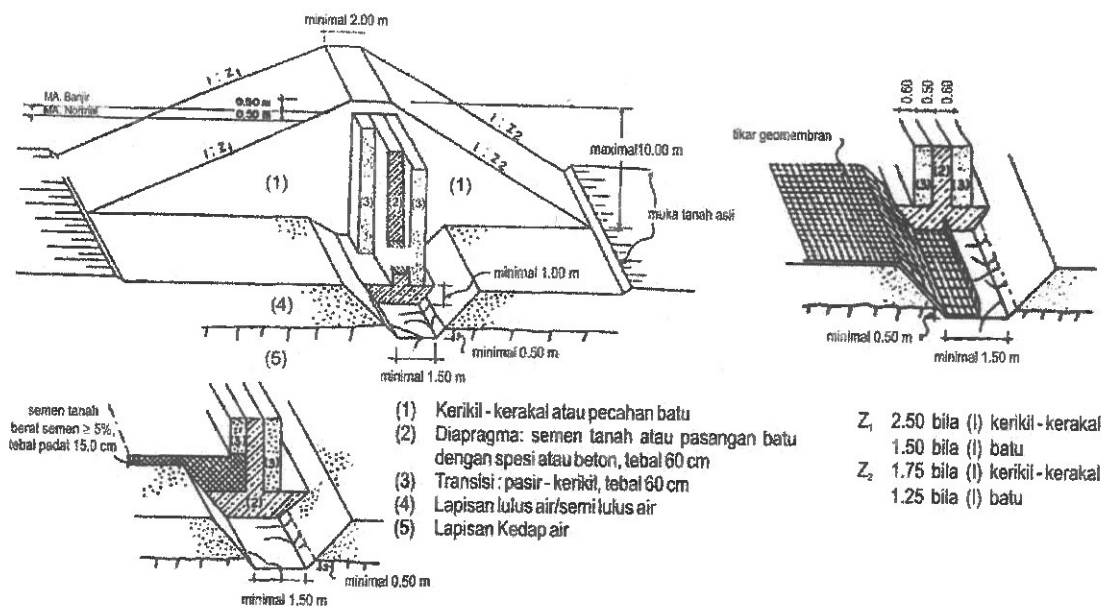
**Gambar 11 Urukan homogen, material utama lempung di atas fondasi kedap air**



**Gambar 12 Tubuh embung tipe urukan homogen dengan dinding halang dan selimut di kolam embung**



**Gambar 13 Urukan majemuk dengan inti lempung**



Gambar 14 Urukan batu dengan inti diafragma (tanpa dan dengan selimut)

c) Pasangan Batu/Beton

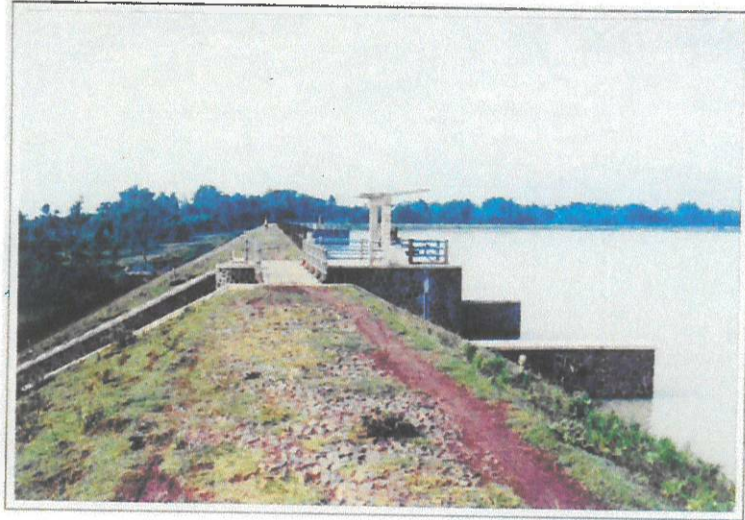
Apabila fondasi tubuh embung terdiri dari satuan batu, maka tubuh embung dapat dibuat dari pasangan batu atau beton atau pasangan batu dengan selimut beton. Kriteria pemilihan bahan tubuh embung ini adalah berdasarkan ketersediaan bahan didekat lokasi calon embung. Jika didekat lokasi calon embung terdapat material untuk pasangan batu, maka tubuh embung dapat dibuat dari pasangan batu, namun jika tidak, maka dapat menggunakan tubuh embung dengan material beton yang secara biaya akan lebih tinggi.

Pada lembah yang sempit dan curam, berbentuk V, tubuh embung tipe ini umumnya didesain menjadi satu dengan bangunan pelimpah yang terbuat dari material yang sama.

Agar keamanan terhadap stabilitas dapat terpenuhi maka tubuh embung didesain berbentuk "graviti" sehingga stabilitasnya dapat diperoleh dari berat strukturnya sendiri. Tubuh embung bagian hilir didesain dengan kemiringan tidak lebih curam dari 1H : 1V, sedangkan tingginya maksimum diambil tujuh meter dari galian fondasi. Bangunan pelimpah yang menjadi satu dengan tubuh embung dapat berbentuk ogee dan peredam energi USBR tipe I.

d) Komposit

Tipe komposit dibangun pada fondasi yang terdiri dari satuan batu, dengan lembah yang cukup panjang. Bangunan pelimpah dibangun menjadi satu dengan tubuh embung. Bangunan pelimpah didesain sebagai pelimpah dari pasangan batu atau beton, sedang tubuh embung dibangun dari kiri kanan pelimpah yang dapat didesain sebagai urukan homogen atau urukan majemuk.



**Gambar 15 Contoh Bendungan Komposit (Bendungan Ketro, Jawa Tengah)**

Pada tubuh embung, sebagai upaya pengendalian rembesan air dapat dilakukan dengan cara pengendalian drainase. Drainase yang biasanya digunakan pada tubuh embung adalah drainase hilir atau sering pula disebut drainase cerobong (*chimmey drain*) harus dilengkapi dengan subzona campuran pasir dan kerikil yang porus, yang memenuhi persyaratan. Zona drainase hilir harus mempunyai kapasitas yang cukup dan puncaknya harus cukup tinggi untuk mengatasi kondisi aliran abnormal yang mungkin terjadi lewat retakan pada zona inti yang kemudian disaat muka air embung tinggi berkembang menjadi paritan-paritan aliran.

Selimut drainase (*drainage blanket*), biasanya merupakan perpanjangan dari drainase hilir dalam arah horizontal, yang dihubungkan dengan drainase kaki (*toe drain*). Drainase tersebut harus dilengkapi dengan lapisan filter, bila terjadi perpindahan partikel halus di atas dan di bawah drainase yang masuk ke dalam material drainase. Selimut drainase harus didesain agar dapat menampung debit air dari zona drainase hilir, fondasi, dan rembesan air hujan yang mungkin mengalir lewat lereng hilir zona inti.

Koefisien permeabilitas material selimut drainase dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

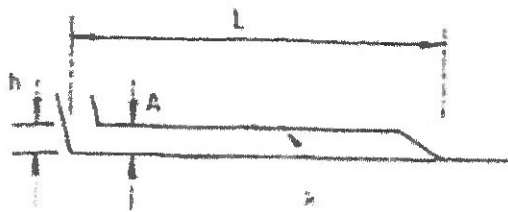
$$k = C \times D_{10}^2$$

Dengan :

k = koefisien permeabilitas (cm/s)

C = konstanta = 1, berlaku untuk pasir dan kerikil bergradasi seragam, tanpa sementasi dan bersih (lanau dan lempung < 5%)

D<sub>10</sub> = ukuran butiran tanah (dalam mm) pada 10% yang lewat saringan



**Gambar 16 Drainase Horizontal**

Estimasi kapasitas drainase horizontal tanpa adanya tekanan dapat menggunakan rumus *Cedergren* (1972) :

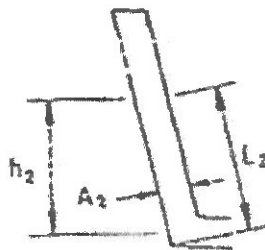
$$q = \frac{kh^2}{2L}$$

Dengan :

k = permeabilitas dari material drain

L = panjang drain

q = debit rembesan per meter lebar drain (diukur melintang sungai)



**Gambar 17 Drainase Vertikal**

Kapasitas dari drainase vertikal biasanya merupakan suatu hal yang kritis, karena debit rembesan melalui urugan tanah adalah kecil dan tebal drainase vertikal dipengaruhi oleh masalah metode pelaksanaan konstruksi. Namun, kapasitas drainase vertikal harus diperiksa dengan rumus berikut ini :

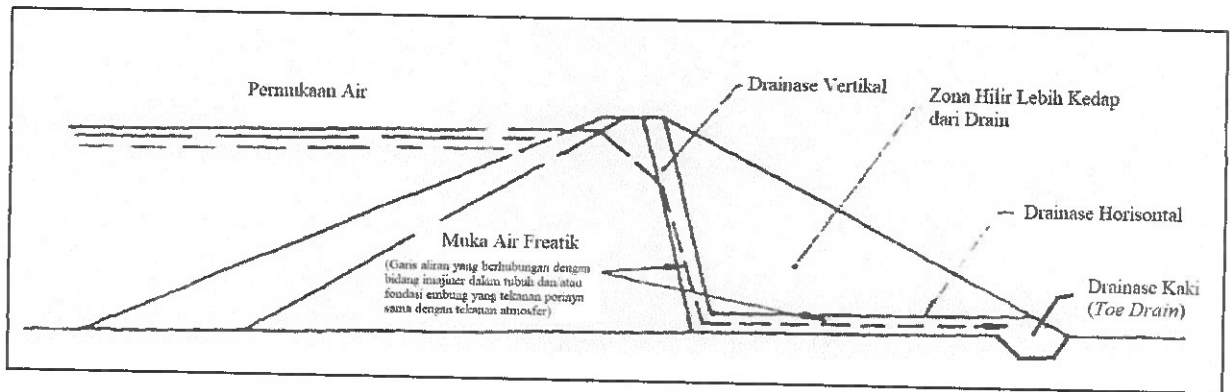
$$Q_2 = \frac{k_2 h_2 w}{L_2}$$

Dengan :

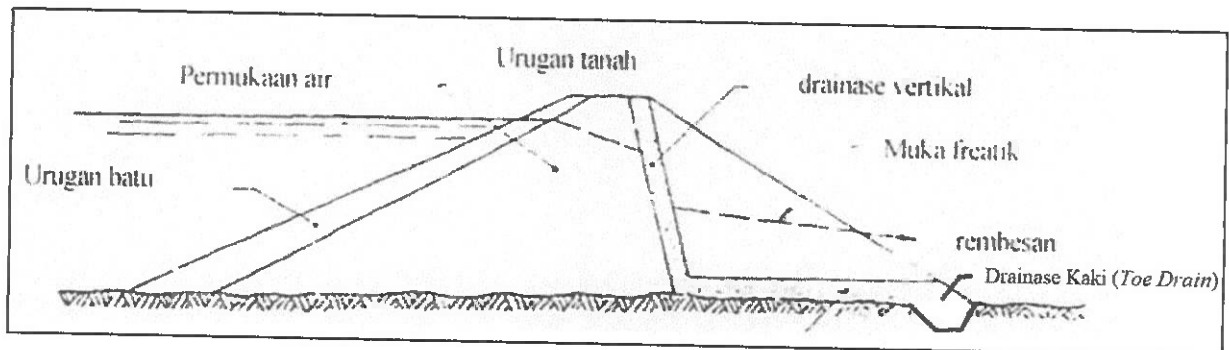
k<sub>2</sub> = permeabilitas vertikal drain pada tinggi h<sub>2</sub>

L<sub>2</sub> = panjang horizontal drain

w = lebar drainase



Gambar 18 Kapasitas Debit Rembesan Cukup



Gambar 19 Kapasitas Debit Rembesan Kurang

Hal-hal berikut harus diperhatikan dalam menyiapkan desain drainase horizontal :

- Air dari tumpuan akan mengalir menuju bagian drainase terendah, sebelum mengalir keluar melalui drainase kaki. Kapasitas aliran per satuan lebar pada bagian tersebut harus lebih besar dari aliran rata-rata per satuan lebar bendungan.
- Bila menggunakan 3 lapisan drainase, yaitu : lapisan pertama dan ketiga berupa filter, lapisan kedua berupa gravel, maka lapisan kedua akan mendominasi kapasitas pengaliran.
- Pemeabilitas lapisan fondasi yang digunakan untuk mendesain drainase horizontal harus diestimasi secara konservatif, karena kegagalan disini akan menyebabkan kegagalan embung secara keseluruhan.
- Hal yang sama harus dilakukan untuk permeabilitas material drainase horizontal dan harus diperhatikan, bahwa material drainase tidak boleh terkontaminasi oleh material halus (lempung) saat konstruksi.
- Drainase kaki di hilirnya juga harus didesain dengan benar dan tidak boleh tersumbat oleh material hasil erosi permukaan dari urugan dan tumpuan. Untuk mengatasi hal tersebut, sebaiknya dibuat berm (semacam tanggul) di atas kaki drainase untuk menampung material yang tererosi.

### 5.2.2 Dinding Halang (Cut-Off)

Apabila fondasi tubuh embung terdiri dari material tanah yang lulus air di bagian atas, sedangkan material yang kedap air terletak cukup dalam di bawahnya, maka rembesan harus dikurangi agar tidak terjadi proses erosi buluh maupun kehilangan air yang cukup besar. Umumnya diperlukan

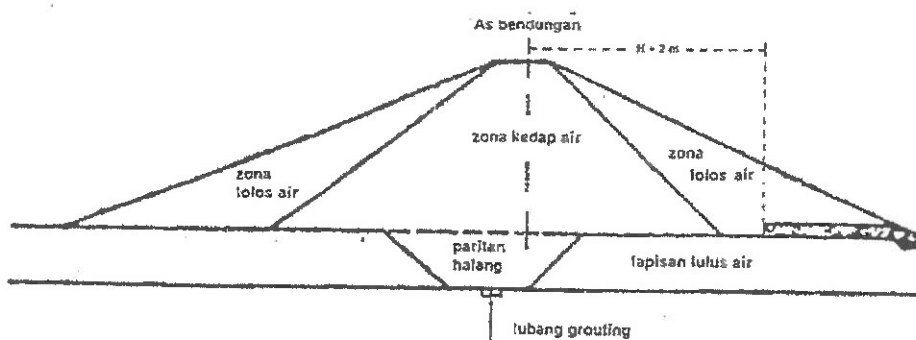
dinding halang untuk menghubungkan lapisan kedap air di fondasi dengan zona kedap air dari urukan tubuh embung.

Embung yang harus memiliki dinding halang adalah embung jenis urukan yang memiliki resiko rembesan tinggi. Tubuh embung dibangun di atas tanah yang memiliki daya dukung yang memadai (setelah digali hingga mencapai tanah keras), tetapi tidak hanya itu karena tampungannya tidak boleh rembes, maka koefisien permeabilitas dari tanah tersebut harus lebih kecil dari  $10^{-6}$  cm/s. Jika daya dukung tanah memenuhi syarat namun nilai koefisien permeabilitasnya lebih besar dari  $10^{-6}$  cm/s, maka perlu dibangun dinding halang (*cut off*) sehingga dapat memperpanjang waktu rembes dan mengakibatkan debit yang mengalir juga kecil sehingga tubuh embung akan lebih aman dari kemungkinan terjadinya *piping*. Dimensi cut off ini disesuaikan dengan hasil analisis stabilitas erosi bawah tanah (*piping*) yang dijelaskan pada subbab **Error! Reference source not found.** Terdapat beberapa jenis dinding halang atau parit halang (*cut-off*) sebagai berikut.

a) Paritan halang (*cut-off trenches*)

Parit halang dengan sisi miring atau tegak digali di bawah pondasi, ditimbunan dengan material kedap air dan dipadatkan dengan derajat kepadatan tertentu. Parit halang ini dibuat sedikit di hulu dari as embung namun masih di bawah zona inti kedap air, hal ini untuk menjaga agar rembesan dari atas masih dapat dihambat paling kurang sampai batas parit halang itu sendiri. As parit halang dibuat sejajar dengan as embung dan kedalamannya harus mencapai tanah keras atau lapisan kedap air. Lebar dasarnya dibuat sedemikian rupa sehingga cukup untuk pengoperasian alat dan pelaksanaan pekerjaan perbaikan pondasi, biasanya lebar dasar diambil minimum 5 m.

Apabila pondasi tanah keras terletak jauh di kedalaman, dibandingkan dengan parit halang penggunaan tipe lain mungkin lebih ekonomis. Dengan demikian kedalaman maksimum parit halang harus mempertimbangkan faktor ekonomis. Untuk pondasi lapisan kedap airnya cukup dalam, dapat digunakan penghalang sekat pancang.

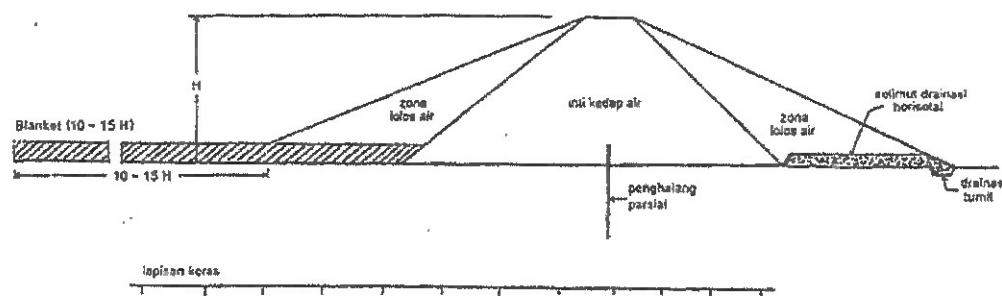


**Gambar 20 Paritan halang untuk pondasi kedap air yang dangkal**

b) Parit halang sepenggal (*partial cut-off*)

Parit halang parsial cocok digunakan pada pondasi dan memperpanjang garis lintasan rembesan dalam arah vertikal. Namun untuk lapisan porous yang uniform, efek dari parit halang sepenggal sebagai sarana untuk mengurangi rembesan dirasakan sangat terbatas. Sebagai perbandingan, parit halang sedalam 80% dari total kedalaman hanya mengurangi rembesan sebesar 50%. Sehingga kegunaan parit halang semata-mata hanya untuk memperpanjang garis lintasan rembesan. Oleh karena itu, untuk pondasi yang lapisan

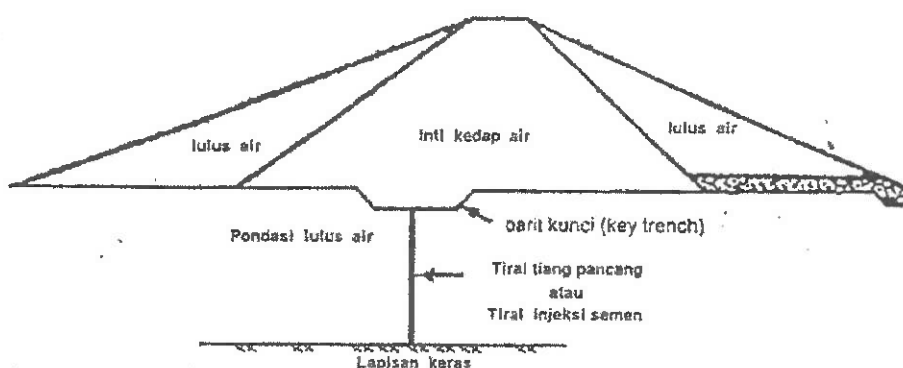
kedap airnya terletak jauh di kedalaman dan pembuatan parit halang tidak ekonomis, maka kombinasi parit halang sepanggal dan selimut di bagian hulu bendungan, dapat mengurangi debit dan tekanan dari rembesan.



Gambar 21 Perbaikan pondasi untuk lapisan kedap air

c) Sekat pancang penghalang (*sheet piling cut-off*)

Sekat panjang penghalang dari baja digunakan untuk lokasi yang mempunyai pondasi tanah lunak dan pasiran halus. Tetapi bila lapisan pondasinya terdapat bongkahan batu, maka tidak mudah untuk dipancang, sehingga sulit untuk memperoleh sekat penghalang rembesan air yang tidak tembus air. Pada kenyataan akan selalu ada kemungkinan rembesan air melalui sambungan dan pada tempat pertemuan antara sekat pancang dengan batuan pondasi. Kelemahan dan keterbatasan dari sistem sekat pancang penghalang dapat diatasi dengan menggunakan jenis yang berbentuk lingkaran dan setelah pemancangan dicor dengan beton. Cara lain untuk merekatkan hubungan sekat pancang adalah dengan membuat jalur pengeboran dan mengisinya dengan bentonite sebelum dilakukan pemancangan, memotong lobang-lobang tersebut.



Gambar 22 Perbaikan pondasi untuk pondasi kedap air yang agak dalam

d) Parit halang dengan perkuatan semen (*cement bound curtain cut-off*)

Tipe ini biasanya digunakan pada pondasi yang lolos air dimana tidak mengandung batuan kecil (*cables*) dan batu besar (*boulders*) material grouting dipompa melalui lobang pada pipa bor. Material grouting ditekan ke bawah dengan hasil akhir berupa formasi silinder-silinder semen. Tirai menerus terbentuk dari silinder-silinder yang overlap.

### 5.2.3 Lebar Puncak

Lebar puncak tubuh embung dapat ditentukan seperti pada tabel berikut ini.

**Tabel 18 Lebar puncak tubuh embung**

Tipe		Tinggi (m)	Lebar puncak (m)
1	Urukan	-1 ≤ 5,00	2,00
		-2 5,00 – 15,00	3,00
2	Pasangan batu/beton	Sampai maksimal 7,00	1,00

Apabila puncak urukan akan digunakan untuk lalu lintas umum, maka di kiri dan kanan badan jalan diberi bahu jalan masing-masing selebar 1,00 m.

Sedangkan puncak tubuh embung tipe pasangan/beton tidak disarankan untuk lalu lintas karena biaya konstruksi akan menjadi terlalu mahal.

#### 5.2.4 Kemiringan Lereng Urukan

Kemiringan lereng urukan harus ditentukan sedemikian rupa agar stabil terhadap longsor. Hal ini sangat tergantung pada jenis material urukan yang hendak dipakai. Kestabilan urukan harus diperhitungkan terhadap surut cepat muka air kolam, dan rembesan langgeng serta harus tahan terhadap gempa. Dengan mempertimbangkan hal di atas dan mengambil koefisien gempa sebesar 0,18 g dapat diperoleh kemiringan urukan. Stabilitasnya dihitung dengan menggunakan metode Bishop, Morgenstern, Jambu atau Spencer sedangkan parameter urukannya diperoleh dengan pengujian di laboratorium

**Tabel 19 Kemiringan lereng urukan untuk tinggi maksimum 10 m**

Klasifikasi	N <sub>SPT</sub> (pukulan/30 cm)	Klasifikasi tanah fondasi	Tinggi Bendungan				
			50 ft (15,3 m)	40 ft (12,2 m)	30 ft (9,2 m)	20 FT (6,1 m)	10 ft (3,0 m)
Lunak (soft)	< 4	Perlu pengujian dan analisis tersendiri (khusus)					
Sedang (medium)	4 – 10	SM	1 : 4,5	01:04	1 : 3,0	01:03	1 : 3,0
		SC	1 : 6,0	01:05	1 : 4,0	01:03	1 : 3,0
		ML	1 : 6,0	01:05	1 : 4,0	01:03	1 : 3,0
		CL	1 : 6,5	01:05	1 : 4,0	01:03	1 : 3,0
		MH	1 : 7,0	1 : 5,5	1 : 4,5	1 : 3,5	1 : 3,0
		CH	1 : 13,0	1 : 10,0	1 : 7,0	1 : 4,0	1 : 3,0

Sumber : Peta Gempa 2017

**Tabel 20 Rekomendasi kemiringan lereng urukan diatas tanah lunak**

Material Urukan	Material Utama	Kemiringan Lereng Vertikal : Horizontal	
		Hulu	Hilir
1. Urukan homogen	CH = Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi CL = Lempung organik dengan plastisitas rendah-sedang SC = kerikil lempungan GC = kerikil lempungan GM = kerikil lanauan SM = pasir lanauan	01:03	01:03
2. Urukan zonal			
2.1. Urukan batu dengan dinding diapragma	Pecahan batu	01:01.8	01:01.5
2.2. Urukan batu dengan inti lempung	Pecahan batu	01:02	01:01.8
2.3. Campuran material dengan inti lempung	Campuran material	01:02.5	01:02.2

**Sumber : ICOLD**

- SM : Pasir lanauan, campuran pasir dengan lanau bergradasi buruk;
- SC : Pasir lempungan, campuran pasir dengan lempung bergradasi buruk;
- ML : Lanau inorganik dan pasir sangat halus, pasir halus lanauan atau lempungan dengan plastisitas rendah;
- CL : Lempung inorganik dengan plastisitas rendah hingga sedang, lempung kerikilan, lempung pasiran, lempung lanauan atau lempung kurus (lean clags);
- MH : Lanau inorganik, tanah lanauan atau pasiran halus campur mika atau diatomaceous, lanau elastis;
- CH : Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (fat clags).

Kolam embung diusahakan bersifat kedap air. Apabila dasar atau dinding kolam bersifat lulus air, maka diperlukan selimut yang menutupinya untuk mengurangi kehilangan air. Selimut dapat dibuat dari material lempung, semen-tanah, atau geomembran.

### 5.2.5 Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan adalah jarak vertikal antara muka air kolam pada waktu banjir desain (50 tahunan) dan puncak tubuh embung. Tinggi jagaan pada tubuh embung dimaksudkan untuk memberikan keamanan tubuh embung terhadap banjir. Bila hal itu terjadi maka akan terjadi erosi kuat pada tubuh embung tipe urukan. Besarnya tinggi jagaan analisis hidran tergantung dari tipe tubuh embung dan diambil seperti terlihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 21 Tinggi jagaan ambang**

Tipe tubuh embung	Tinggi jagaan (m)	Sketsa penjelasan
1. Urugan homogen dan majemuk	0,50	
2. Pasangan batu/ beton	0,00	
3. Komposit	0,50	

### 5.2.6 Tinggi Tubuh Embung

Tinggi tubuh embung harus ditentukan dengan mempertimbangkan kebutuhan tampungan air, dan keamanan tubuh embung terhadap peluapan oleh banjir. Dengan demikian tinggi tubuh embung sebesar tinggi muka air kolam pada kondisi penuh (= kapasitas tampung desain) ditambah tinggi tampungan banjir dan tinggi jagaan.

$$H_d = H_k + H_b + H_f$$

Keterangan :

- $H_d$  adalah tinggi tubuh embung desain (m)
- $H_k$  adalah tinggi muka air kolam pada kondisi penuh (m)
- $H_b$  adalah tinggi tampungan banjir (m)
- $H_f$  adalah tinggi jagaan (m)

Pada tubuh embung tipe urukan diperlukan cadangan untuk penurunan yang secara praktis dapat diambil sebesar 0,25 m. Cadangan penurunan ini perlu ditambahkan pada puncak embung di bagian lembah terdalam. Untuk tubuh embung tipe pasangan beton hal ini tidak diperlukan.

### 5.2.7 Selimut (*Blanket*) Kolam Embung

a) Umum

Kehilangan air yang cukup besar akibat infiltrasi yang berupa rembesan atau bocoran dari dasar maupun dinding kolam tampung embung sangat mempengaruhi nilai ekonomis dari ketersediaan airnya. Pada kolam embung dengan kondisi geologi yang kurang menguntungkan dilihat dari segi kelulusan airnya, diperlukan selimut kedap air agar tidak terjadi infiltrasi atau kehilangan air berlebihan. Pemasangan *blanket* perlu dilakukan jika nilai koefisien permeabilitas tanahnya lebih besar dari  $10^{-4}$  cm/s. Umur *blanket* tersebut harus dicermati.

Selimut kedap air hanya akan diterapkan pada tanah atau satuan batu yang lulus air. Sedang pada tanah atau satuan batu dengan klasifikasi semi lulus air, selimut kedap air diperlukan apabila kehilangan air dari kolam dipandang cukup besar dibandingkan dengan daya

tampung embung. Untuk satuan tanah atau batu yang kedap air selimut secara praktis tidak diperlukan.

Apabila sifat lulus air fondasi tubuh embung, dasar dan dinding kolam embung merata, maka selimut kedap air harus dipasang menutup seluruh bagian kolam sampai setinggi elevasi pelimpah dan dihubungkan dengan bagian tubuh embung yang kedap air. Tetapi bila sifat lulus air tersebut tidak merata, terdapat di bagian tertentu, maka selimut cukup dipasang di bagian yang lulus air.

Jenis atau tipe selimut yang akan diterapkan, tergantung dari macam material/bahan alami yang tersedia di tempat. Apabila material alami tidak tersedia di tempat dapat dipakai material substitusi (buatan), namun material ini mahal. Berbagai material selimut kedap air antara lain: selimut lempung, semen-tanah, membran geosintetik, dan lain-lain.

**Tabel 22 Klasifikasi Sifat Lulus Air Satuan Tanah dan Batu**

Klasifikasi	Nilai K (cm/d)	Deskripsi tanah dan batu	Kebutuhan selimut
Lulus air	$K \geq 10^{-3}$	Umumnya pada jenis tanah tidak berkoheisi (berbutir kasar), yaitu : lanau, pasir sampai kerakal, atau batu dengan diskontinuitas rapat tanpa isi, dan satuan batu dengan lubang pelarutan	Sangat perlu
Semi lulus air	$K = 10^{-3}$ sampai dengan $K = 10^{-4}$	Umumnya pada jenis tanah dengan sedikit kohesi, yaitu pasir halus dengan sedikit tanah lempung, atau batu dengan diskontinuitas sedang sampai rapat yang terisi sebagian	Tidak perlu bila kehilangan air karena resapan dapat tercadangkan dalam kolam embung
Kedap air	$K \leq 10^{-5}$	Umumnya pada jenis tanah berkoheisi, yaitu lempung atau lempung pasiran atau lanauan atau batu dengan diskontinuitas sedang sampai rapat yang terisi seluruhnya	Tidak

b) Jenis Selimut Kedap Air

Jenis selimut yang dapat digunakan dalam pembuatan embung adalah sebagai berikut:

1) Selimut lempung

Apabila di daerah sekitar kolam embung terdapat material lempung, maka selimut lempung dapat digunakan sebagai selimut kedap air yang paling murah. Lokasi atau sumber material lempung yang berjarak jauh dari tempat kolam embung akan dapat menyebabkan biayanya menjadi mahal. Dalam hal ini perlu membandingkan biaya konstruksi selimut lempung dan selimut material substitusi (buatan).

Material lempung yang digunakan sebagai selimut paling baik merupakan klasifikasi CH, tetapi tanah yang mengandung lempung minimal 25% berdasarkan berat cukup baik pula bila digunakan.

Tebal selimut lempung minimal 50 cm, terdiri atas tiga lapis yang dipadatkan dalam kondisi basah. Untuk melindungi selimut lempung terhadap retakan pada waktu kering, maka perlu dilindungi dengan hamparan pasir kerikil setebal 30 cm di atasnya.

2) Selimut semen-tanah

Selimut kedap air kolam tampungan dapat juga dibuat dengan menggunakan material setempat yang tersedia dicampur dengan semen (semen-tanah). Untuk menentukan prosentase semen yang akan digunakan dan ketebalan yang diperlukan perlu dilakukan percobaan terlebih dahulu. Namun untuk jenis tanah bercampur semen yang digunakan sebagai selimut kedap air di kolam embung minimal harus diterapkan setebal 30 cm yang dipadatkan sehingga menjadi 15 cm.

3) Selimut bahan geosintetik

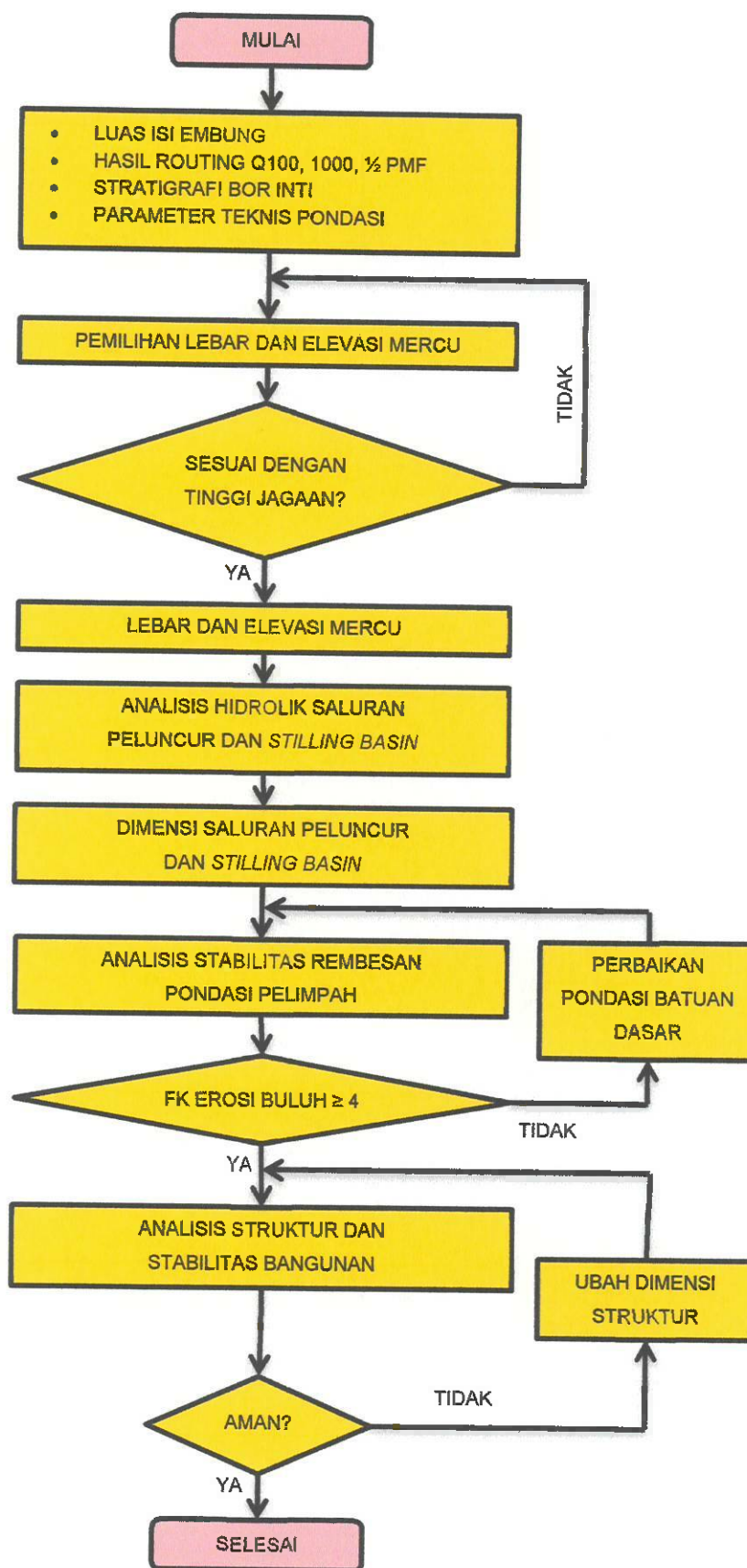
Metoda lain untuk mengurangi kehilangan air yang berlebihan dari kolam tampungan embung adalah dengan menggunakan lapisan kedap air dari membran fleksibel yang terbuat dari bahan dasar plastik (*polythylene*) atau dari bahan karet (*butyl rubber*). Metoda ini lebih mahal dari pada metoda (1) dan (2), karena itu akan dipakai bila metoda (1) dan (2) tidak dapat diterapkan karena beberapa sebab.

Membran fleksibel ini sangat tipis dengan tebal sampai beberapa mm. selimut dari bahan karet (*butyl rubber*) harus dilindungi dari sinar matahari dan cuaca. Lapisan pelindung membran karet dapat berupa hamparan tanah (pasir, kerikil), pasangan batu, atau semen-tanah. Beberapa jenis membran fleksibel yang terbuat dari *polythylene* (misal : geomembrane) dapat dipasang terbuka terhadap sinar matahari maupun cuaca sehingga tidak diperlukan pelindung. Selimut *polythylene* jauh lebih murah daripada selimut *butyl rubber*.

Daerah yang akan diberi selimut kedap air harus dibersihkan dari tanaman dan akar-akarnya, batu-batu tajam, dan obyek lain yang dapat merusak atau merobek membran. Seluruh tebing galian, dan urukan di tempat yang akan diberi lapisan membran harus mempunyai kemiringan yang seragam dan tidak boleh lebih curam dari 1V:1H untuk lapisan membran yang terbuka dan 1V:3H untuk lapisan membran yang diberi sistem pelindung. Kemiringan yang landai diperlukan untuk mencegah terjadinya longsoran sistem pelindung.

Sebelum selimut sintetik dipasang, maka tempat-tempat yang akan diberi lapisan ini harus dipasang jaringan drainase dan dibiarkan kering sampau permukaannya cukup padat agar dapat menahan tekanan dari peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan.

### 5.3 Desain Pelimpah



Gambar 23 Skema Perencanaan Dimensi Pelimpah

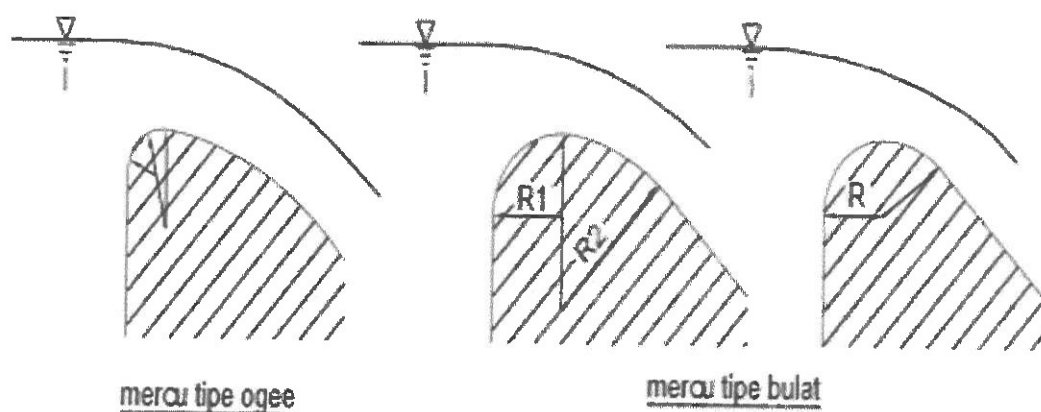
#### 5.3.1 Pelimpah Tipe Saluran Terbuka

a) Struktur

Pelimpah tipe saluran terbuka dipilih jika tubuh embung bertipe urukan dan pelimpah harus diletakkan terpisah dengan tubuh embung. Pelimpah ini digunakan dengan pertimbangan lebih murah karena digali pada satuan tanah atau satuan batu di bukit tumpu. Tempat pelimpah dipilih pada tempat di mana alirannya tidak akan menyebabkan erosi pada kaki hilir tubuh embung. Bagian saluran pemasukan pelimpah dapat dibuat datar ataupun dengan kemiringan yang cukup landai. Air dari kolam mengalir bebas ke bagian hilirnya mengikuti kemiringan yang tersedia. Sebagai patokan tetap bagi ketinggian dasar pelimpah, perlu dibuat lantai dari pasangan batu/beton dengan lebar 0,50 sampai dengan 1,00 meter di hulu saluran pemasukan.

Pelimpah yang digali pada satuan tanah perlu diberi pelindung terhadap erosi dengan penanaman rumput, namun apabila terpaksa dapat dibuat lapisan pasangan batu/beton. Sedangkan pada pelimpah batu pelindung, tersebut tidak diperlukan. Rumput pelindung erosi dapat digunakan rumput yang tumbuh rendah untuk saluran penghantar atau saluran dengan kemiringan landai, sedangkan rumput yang tumbuh tinggi (rumput gajah) dapat dipakai pada saluran dengan kemiringan curam/besar, dimana keadaan air sangat kritis.

Tipe mercu pelimpah yang dapat digunakan adalah tipe bulat (lihat gambar bentuk-bentuk mercu), baik untuk konstruksi beton maupun pasangan batu atau bentuk kombinasi dari keduanya.



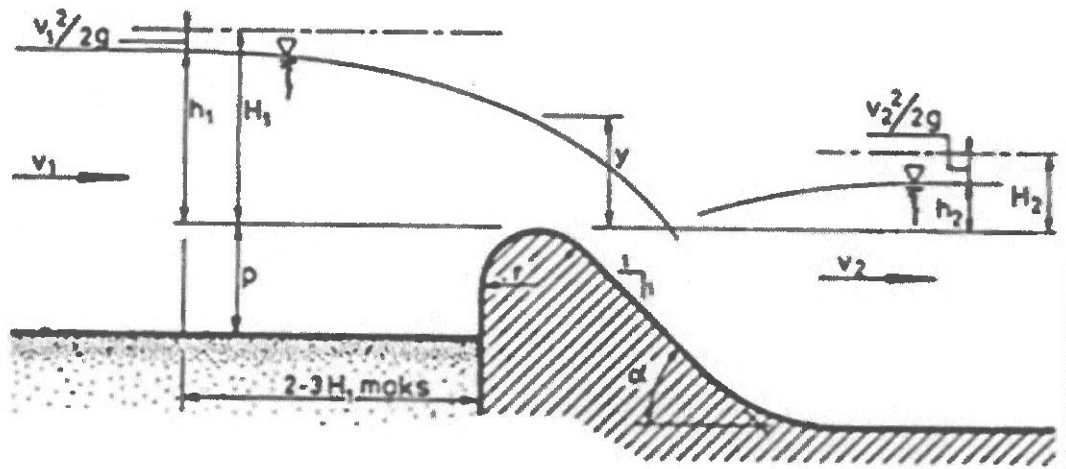
Gambar 24 Bentuk-Bentuk Mercu

Kemiringan maksimum muka pelimpah bagian hilir yang dibicarakan di sini berkemiringan 1 banding 1 batas pelimpah dengan muka hilir vertikal mungkin menguntungkan jika material fondasinya dibuat dari batu keras dan tidak diperlukan kolam olak. Dalam hal ini kavitasasi dan aerasi tirai luapan harus diperhitungkan dengan baik.

Pelimpah dengan mercu bulat (lihat gambar bentuk-bentuk mercu) memiliki harga koefisiensi debit yang jauh lebih tinggi (44%) dibandingkan dengan koefisiensi bendung ambang lebar. Pada sungai, ini akan banyak memberikan keuntungan karena bangunan ini akan mengurangi tinggi muka air hulu selama banjir. Harga koefisiensi debit menjadi lebih tinggi karena lengkung *streamline* dan tekanan negatif pada mercu.

Untuk bendung dengan dua jari-jari ( $R_2$ ) (lihat gambar bentuk-bentuk mercu), jari-jari hilir akan digunakan untuk menemukan harga koefisien debit. Untuk menghindari bahaya kavitasasi lokal, tekanan minimum pada mercu bendung harus dibatasi sampai  $-4$  m tekanan air jika mercu

terbuat dari beton untuk pasangan batu tekanan subatmosfir sebaiknya dibatasi sampai -1 m tekanan air.

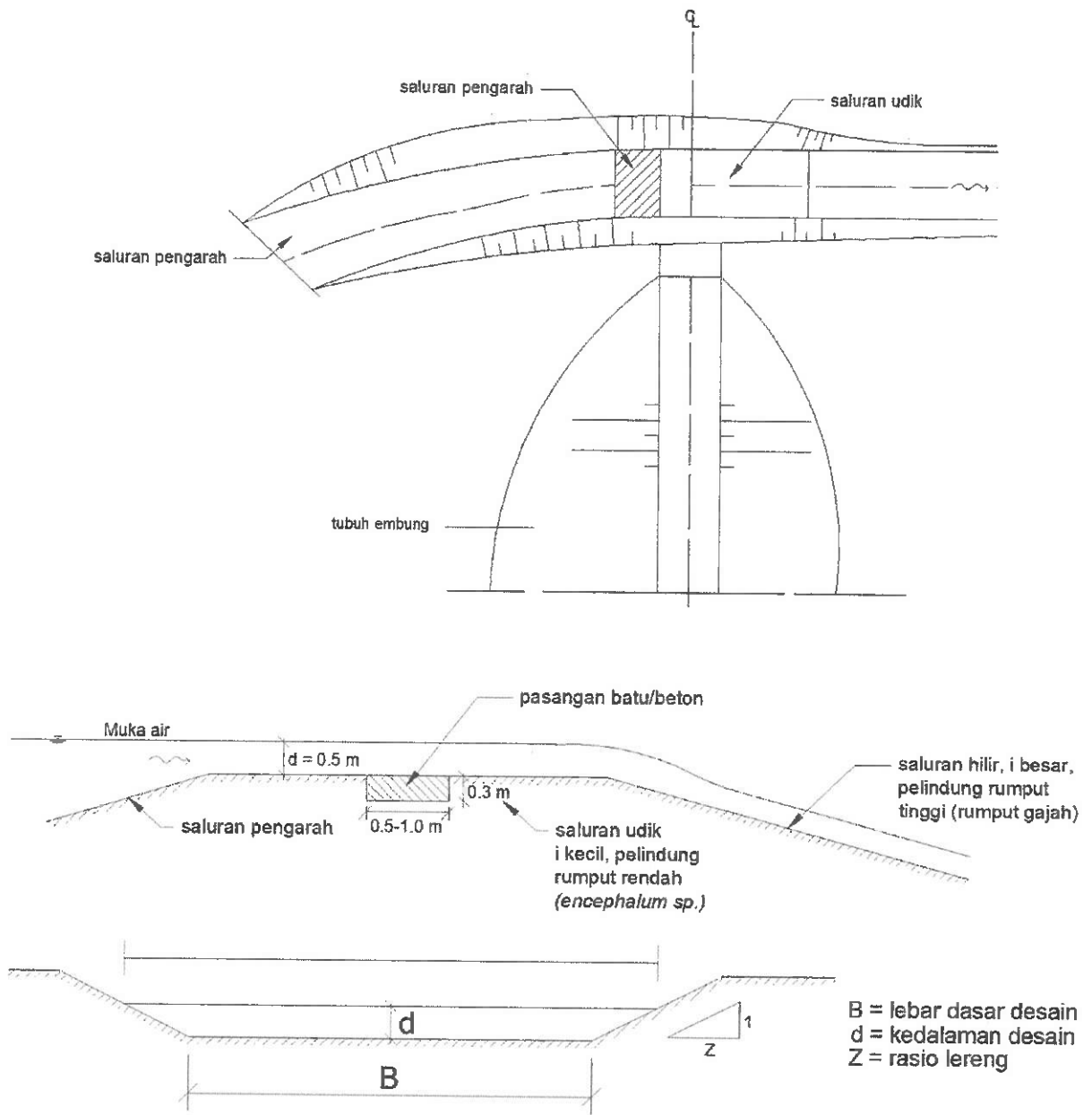


Gambar 25 Bendung Dengan Mercu Bulat

Dari gambar bendung dengan mercu bulat, tampak bahwa jari-jari mercu bendung pasangan batu akan berkisar antara 0,3 sampai 0,7 kali  $H_{1maks}$  dan untuk mercu bendung beton dari 0,1 sampai 0,7 kali  $H_{1maks}$ .

Pelimpah yang digali pada satuan tanah perlu diberi pelindung terhadap erosi dengan penanaman rumput, namun apabila terpaksa dapat dibuat lapisan pasangan batu/beton. Sedangkan pada pelimpah batu pelindung, tersebut tidak diperlukan. Rumput pelindung erosi dapat digunakan rumput yang tumbuh rendah untuk saluran penghantar atau saluran dengan kemiringan landai, sedangkan rumput yang tumbuh tinggi (rumput gajah) dapat dipakai pada saluran dengan kemiringan curam/besar, dimana keadaan air sangat kritis.

Kemiringan tebing saluran harus dibuat dengan mempertimbangkan kondisi geoteknik setempat. Galian pada satuan tanah dapat digali dengan kemiringan 1:1 untuk tinggi maksimum 2 m. Denah dan potongan tipikal dari pelimpah tipe saluran terbuka dapat dilihat pada gambar denah dan potongan tipikal pelimpah tipe saluran terbuka.



Gambar 26 Denah Dan Potongan Tipikal Pelimpah Tipe Saluran Terbuka

b) Hidraulik

1) Kriteria

Desain dari pelimpah tipe saluran terbuka perlu memperhatikan kriteria seperti Tabel di bawah ini.

**Tabel 23 Kriteria desain hidraulik pelimpah tanah**

No	Parameter	Besaran
1.	Kapasitas pelimpah	Puncak banjir 50 tahunan
2.	Tinggi aliran air maksimum di mercu pelimpah	0.5 m
3.	Kecepatan maksimum aliran pada saluran tanah dengan pelindung rumput	1 m/s
4.	Kecepatan aliran pada saluran dengan pelindung pasangan batu/beton	2 m/s – 4 m/s
5.	Kemiringan dinding saluran pelimpah tanah, untuk tinggi maksimum 2 m	1H:1V *)
6.	Kemiringan lereng saluran pelimpah batu	1H:1,5V *)

Catatan : \*) harus mempertimbangkan masalah geoteknik setempat

2) Dimensi Saluran

Dimensi saluran dapat ditentukan secara hidraulik dengan menggunakan rumus Manning sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{0.5}$$

$$Q = V \cdot A$$

Keterangan :

Q adalah puncak banjir desain yang melalui pelimpah (m<sup>3</sup>/s)

V adalah kecepatan aliran (m/s)

A adalah potongan melintang basah (m<sup>2</sup>)

n adalah koefisien kekasaran Manning

P adalah perimeter basah (m)

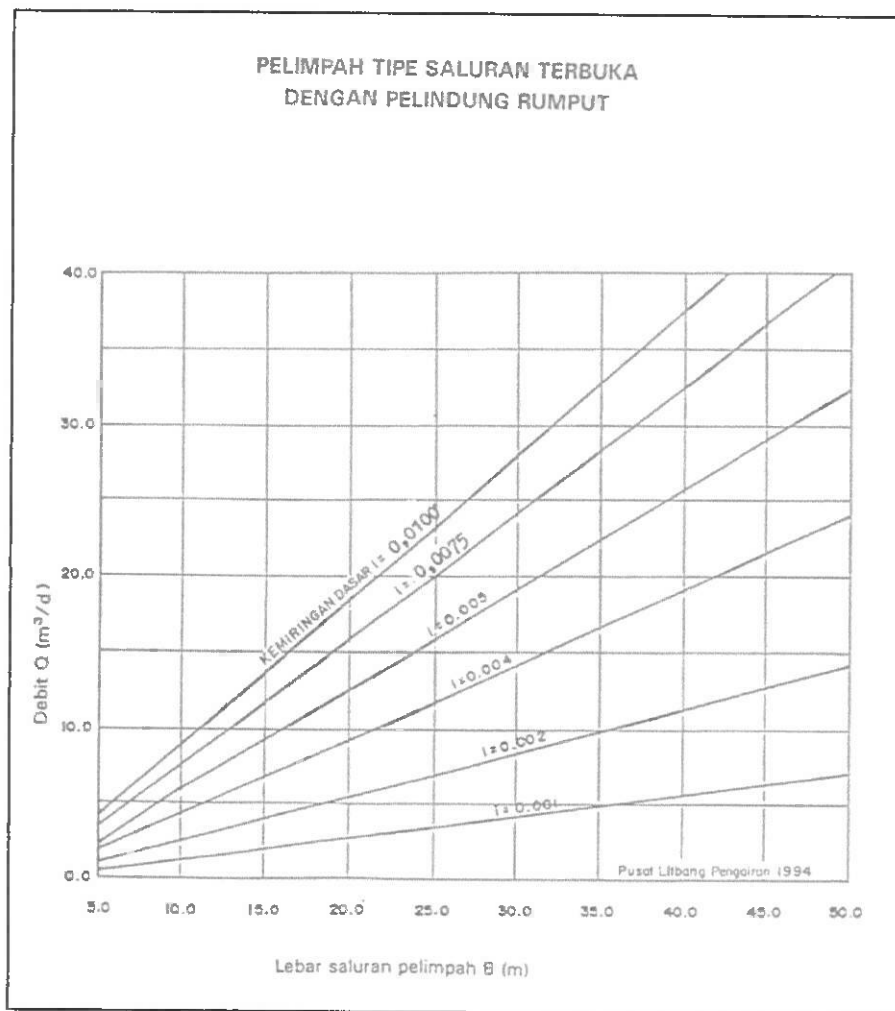
R adalah jari-jari hidraulik (m),  $R = A/P$

S adalah kemiringan saluran

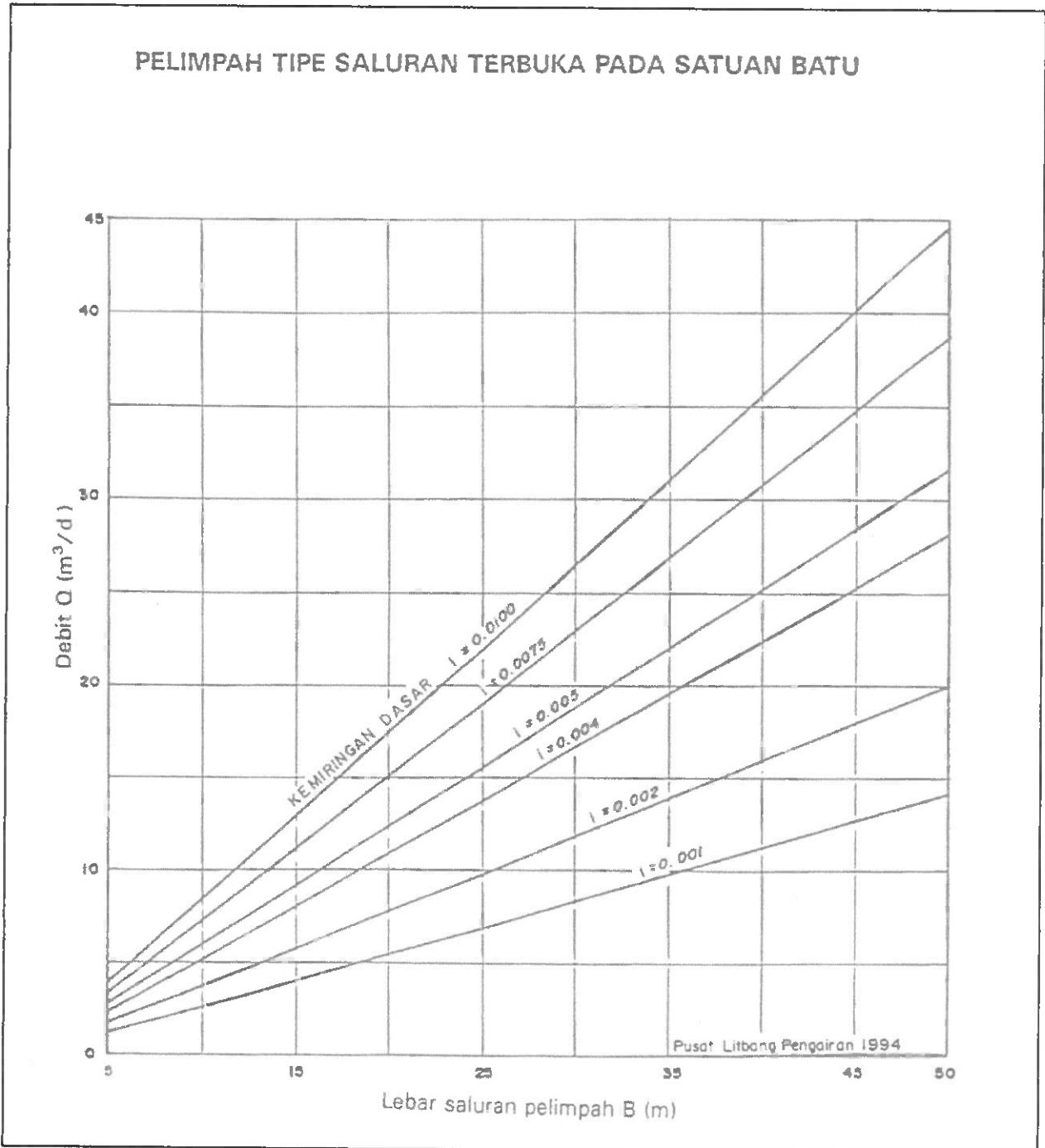
**Tabel 24 Koefisien kekasaran manning untuk berbagai jenis pelindung pada pelimpah**

Tipe pelindung pelimpah	n
1. Rumput	0.30 – 0.25
2. Batu	0.035
3. Rip-rap	0.250
4. Pasangan batu/beton	0.0140

Dimensi saluran pelimpah untuk berbagai debit, lebar saluran, dan kemiringan dasar pada pelimpah tanah yang dilindungi dengan rumput menurut kriteria di atas (gambar grafik hubungan Q dan B pada pelimpah tanah dengan pelindung rumput, untuk kedalaman air = 0,50 m, kemiringan dasar sungai landai) dan untuk pelimpah yang digali pada satuan batu (gambar grafik hubungan Q dan B pada pelimpah batu untuk kedalaman air 0,50 m (bentuk saluran segiempat atau trapesium)).



**Gambar 27 Grafik Hubungan Q Dan B Pada Pelimpah Tanah Dengan Pelindung Rumput, Untuk Kedalaman Air = 0,50 M, Kemiringan Dasar Sungai Landai**



**Gambar 28 Grafik Hubungan Q Dan B Pada Pelimpah Batu Untuk Kedalaman Air 0,50 M (Bentuk Saluran Segiempat Atau Trapesium)**

### 5.3.2 Pelimpah Tipe Ogee (Overflow) dengan Kolam Olak

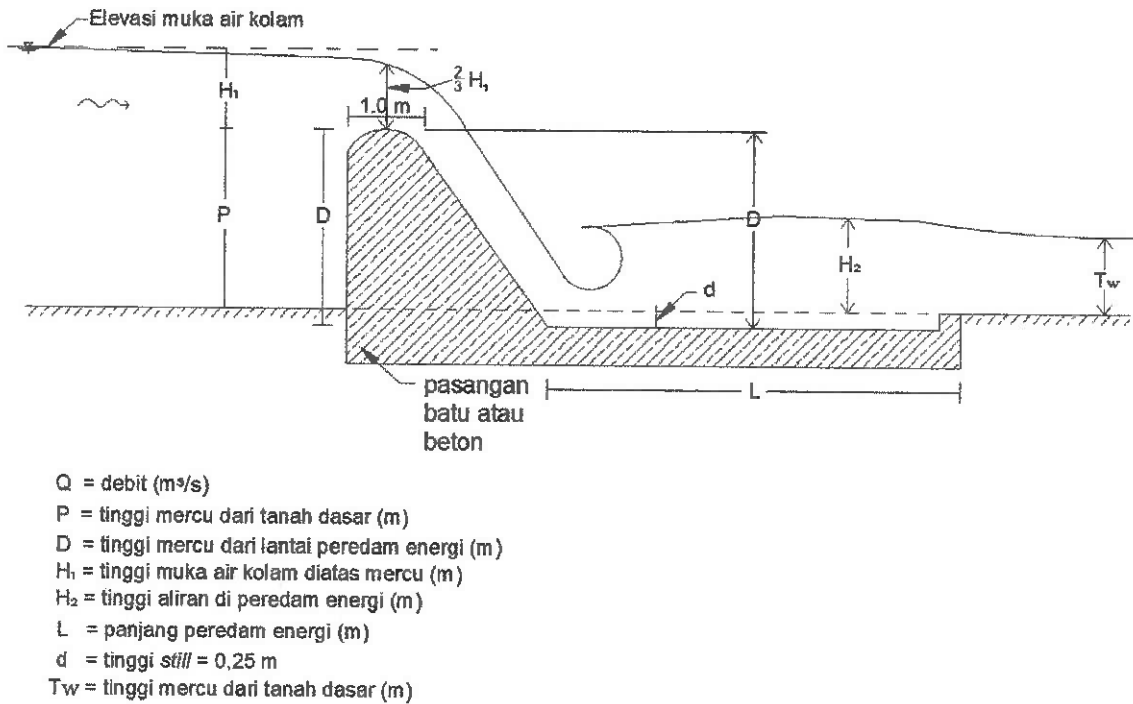
a) Struktur

Pelimpah tipe ogee didesain dari pasangan batu/beton, menyatu dengan tubuh embung yang dibuat dari material yang sama atau tipe komposit dan diterapkan jika fondasi berupa batu. Pelimpah tipe ini umumnya ditempatkan pada alur terdalam sehingga aliran yang melalui pelimpah dapat dialirkan kembali pada alur di sebelah hilir yang ada.

Tinggi mercu pelimpah dari galian fondasi diambil maksimum 6 m. Tubuh pelimpah bertipe graviti dengan mercu Ogee berambang lebar. Di hilir mercu, tubuh pelimpah dibuat dengan kemiringan 1H:1V sebelum aliran masuk peredam energi USBR tipe I. tipe peredam energi ini dipilih karena bentuknya cukup sederhana.

Ambang lebar pada mercu pelimpah dimaksudkan agar dapat digunakan untuk pejalan kaki dan sekaligus lebih menstabilkan bangunan (bentuk tipikal dari pelimpah tipe ini dapat dilihat

pada gambar potongan melintang tipikal pelimpah tipe ogee dengan peredam energi USBR tipe I). Fondasi bangunan ini harus ditempatkan pada satuan batu yang segar, dengan galian minimal sedalam 1 m.



**Gambar 29 Potongan Melintang Tipikal Pelimpah Tipe Ogee Dengan Peredam Energi USBR Tipe I**

b) Hidraulik

1) Dimensi hidraulik tubuh pelimpah

Desain pelimpah harus mengikuti debit banjir rencana yang menghasilkan besaran aliran yang meluap sempurna melalui mercu pelimpah dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$Q = C B H^{1.5}$$

Keterangan :

Q adalah aliran yang memalui mercu (m<sup>3</sup>/d) = puncak banjir 50 tahunan

B adalah lebar/panjang mercu pelimpah (m)

H adalah tinggi air di atas mercu = tinggi tekanan di atas mercu (m)

H maksimum = 0,75 m untuk tubuh embung tipe komposit  
= 1,00 m untuk tubuh embung tipe pasangan/beton

C adalah koefisien aliran untuk ambang lebar (=1,80)

Dengan rumus di atas dapat ditentukan/dipilih lebar pelimpah B:

$$B = \frac{Q_{50}}{1,80H^{1.5}}$$

Hubungan antara tinggi air di atas mercu pelimpah (H), debit aliran (Q), dan lebar mercu pelimpah (B) dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Perhitungan debit banjir rencana dapat juga mengacu pada SNI 2415:2016, Tata cara perhitungan debit banjir rencana.

**Tabel 25 Hubungan tinggi air kolam di atas mercu pelimpah “ogee”, debit, dan lebar pelimpah**

Tinggi air kolam embung di atas mercu pelimpah								
H (m)								
Lebar Mercu B (m)	Debit Banjir Rencana Q <sub>60</sub> (m <sup>3</sup> /s)							
	10	15	20	25	30	35	40	50
2								
3								
5	1.07							
6	0.95							
7	0.86							
8	0.78	1.03						
9	0.72	0.95						
10	0.68	0.89	1.07					
12		0.78	0.95					
14		0.71	0.86	0.99				
16			0.78	0.91	1.03			
18			0.72	0.84	0.95	1.05		
20			0.68	0.78	0.89	0.98	1.07	1.24
22				0.74	0.83	0.92	1.01	1.17
24				0.69	0.73	0.87	0.95	1.10
26					0.74	0.82	0.90	1.05
28					0.71	0.78	0.86	0.99
30						0.75	0.82	0.95
32						0.72	0.78	0.91
34						0.69	0.75	0.87
36							0.72	0.84
38							0.70	0.81
40								0.78
42								0.76
44								0.74

2) Perhitungan Hidraulik Peredam Energi

Perhitungan hidraulik pada kolam peredam energi USBR Tipe I dapat menggunakan langkah yang diuraikan berikut ini:

- (a) Kecepatan aliran di hulu rantai peredam energi (sebelum loncatan) dihitung menggunakan rumus berikut:

$$V_1 = \sqrt{2g [Z + D] - \frac{D}{2}}$$

$$d_1 = \frac{q}{V_1}$$

(b) Nilai Froude pertama

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gd_1}}$$

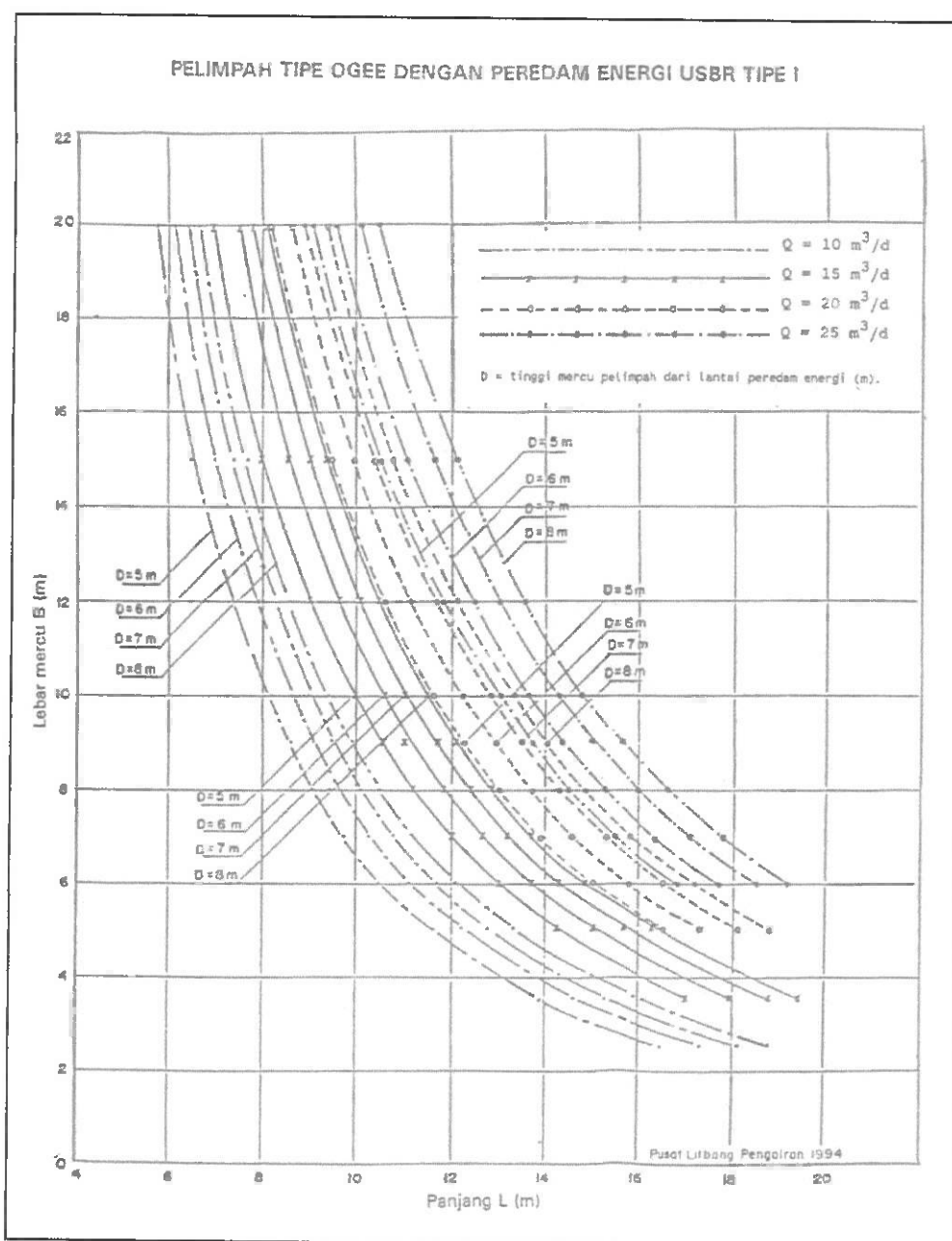
(c) Tinggi air sesudah loncatan

$$\frac{D_2}{d_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8 F^2} - 1)$$

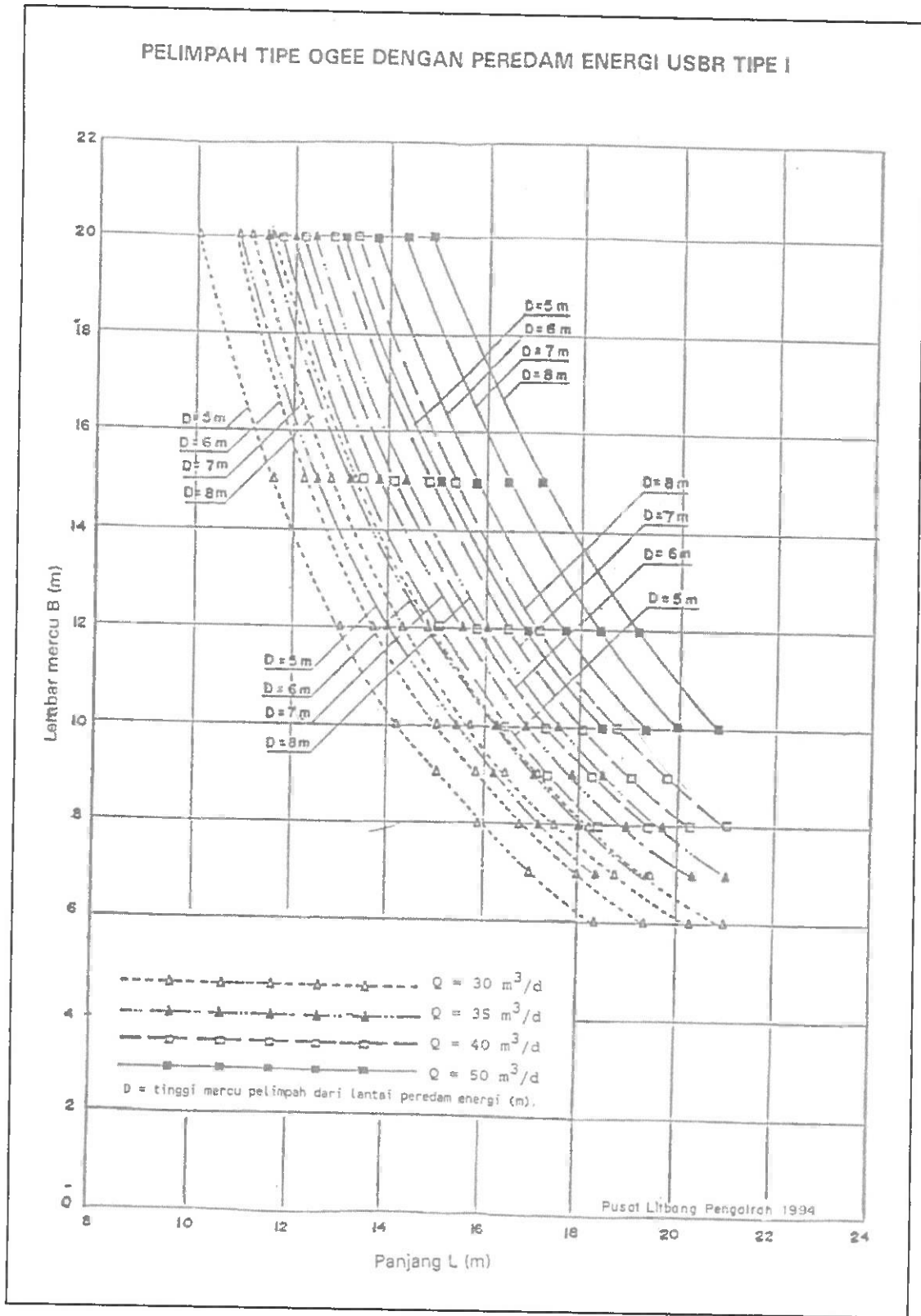
Panjang kolam peredam energi dapat diperoleh dengan menggunakan grafik yang menggambarkan hubungan antara nilai Froude dan ratio L dan  $d_1$  seperti terlihat pada gambar grafik hubungan nilai fraude (USBR) dengan ratio panjang kolam peredam enersi L dan  $d_1$ .

### 3) Penentuan Panjang Kolam Peredam Energi Dengan Menggunakan Grafik

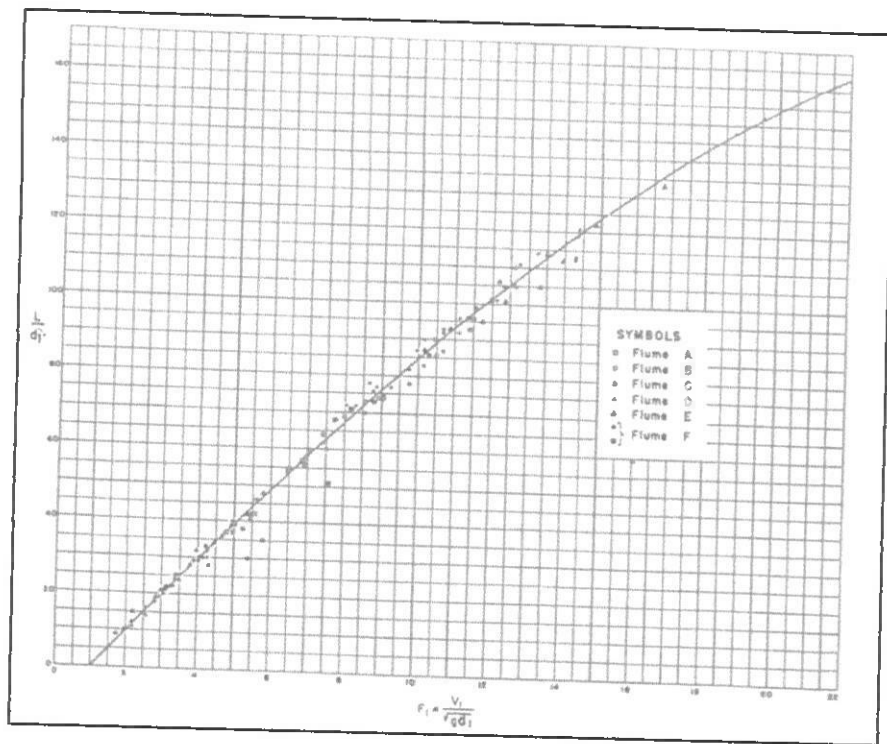
Pusat Litbang Sumber Daya Air telah mempersiapkan beberapa grafik berdasarkan rumus di atas, sehingga perhitungan dapat diselesaikan dengan cepat (lihat gambar grafik hubungan debit (Q), tinggi mercu (D), lebar mercu (B), dan panjang peredam energi (L) dan gambar grafik hubungan antara debit (Q) dan tinggi mercu (D)). Grafik tersebut menggambarkan hubungan antara berbagai besaran aliran (Q), lebar mercu pelimpah (B), tinggi mercu dari lantai kolam peredam energi (D), dan panjang kolam peredam energi (L).



**Gambar 30** Grafik hubungan debit ( $Q$ ), tinggi mercu ( $D$ ), lebar mercu ( $B$ ), dan panjang peredam energi ( $L$ )

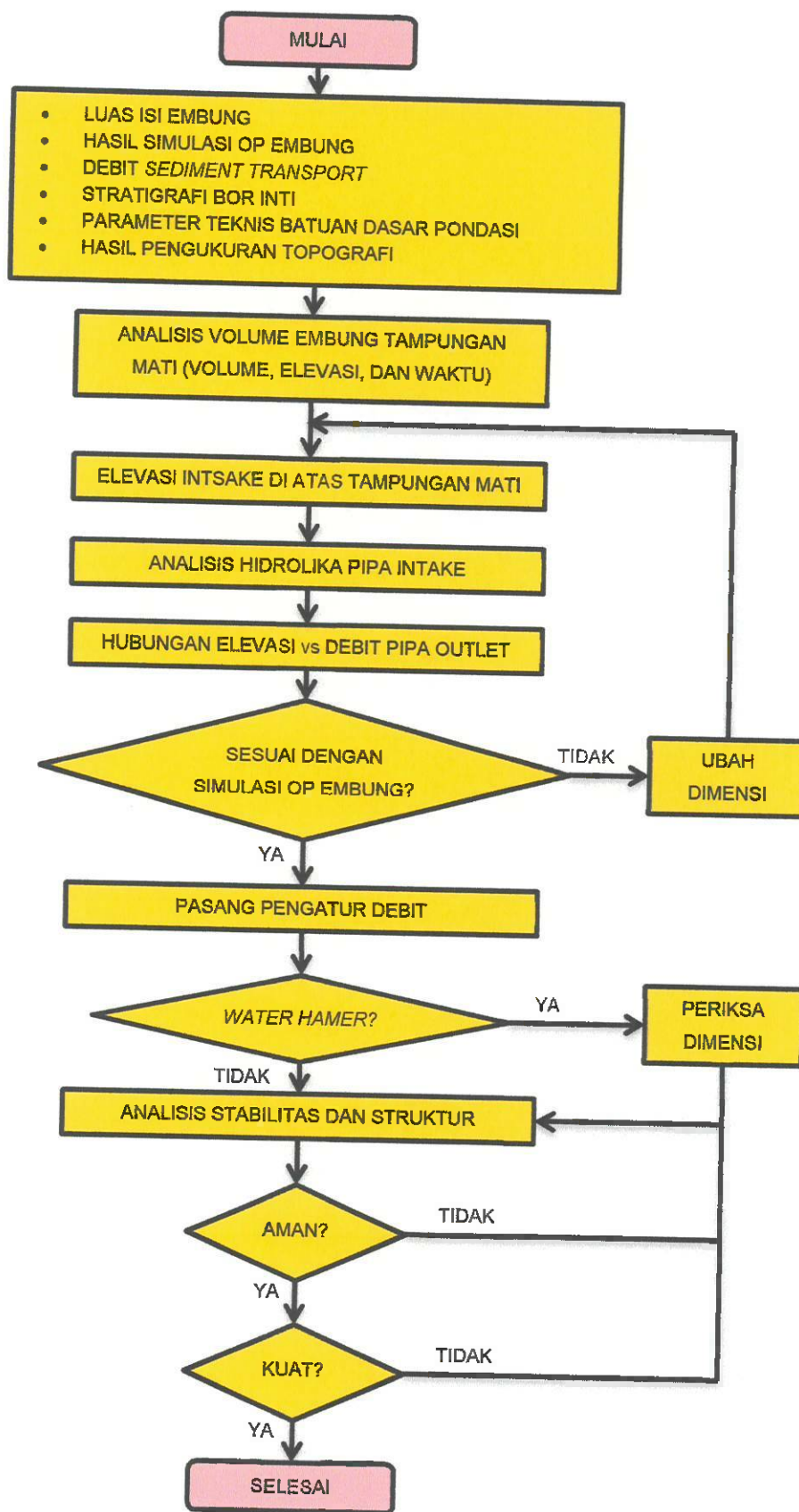


**Gambar 31** Grafik hubungan antara debit (Q) dan tinggi mercu (D)



Gambar 32 Grafik Hubungan Nilai Fraude (USBR) Dengan Ratio Panjang Kolam Peredam Enersi L Dan  $D_1$

### 5.4 Desain Distribusi Sistem Intake



Gambar 33 Skema Perencanaan Dimensi Bangunan Pintu Operasi/Distribusi

### 5.4.1 Umum

Sistem distribusi didesain untuk mengalirkan air ke bak air penduduk, bak ternak, dan bak kebun yang harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a) Menggunakan jaringan pipa dengan sistem gravitasi atau pompa, yang didesain sebagai pipa bertekanan agar kehilangan selama pendistribusian menjadi lebih kecil dan pemakaian air lebih efisien (sesuai kebutuhan pemakai),
- b) Air dari embung disalurkan melalui pipa utama yang diambil menggunakan alat sadap terapung. Pipa utama ini akan mengalirkan air dari kolam ke hilir embung,
- c) Selanjutnya air langsung dibagi menjadi tiga buah pipa sekunder menuju bak air penduduk, irigasi, hewan/ternak, dan kebun,
- d) Pipa utama sebaiknya menggunakan pipa diameter dua inci (2"),
- e) Pipa sekunder sebaiknya menggunakan pipa diameter satu seperempat inci (1¼").
- f) Pipa untuk sistem distribusi ini sebaiknya menggunakan material sintetik seperti *High Density Poly Ethylene* (HDPE) atau *Medium Density Poly Ethylene* (MDPE) karena material tersebut bersifat lentur sehingga mudah ditebuk bahkan digulung, tidak mudah pecah dan dapat disesuaikan dengan bentuk topografi yang ada.

### 5.4.2 Perhitungan Hidraulik

- a) Kebutuhan tinggi tekanan

Perhitungan hidraulik pada pipa distribusi dilakukan untuk memeriksa sisa tekanan ( $H_s$ ) di ujung pipa terendah atau terpanjang yang dapat dihitung berdasarkan perhitungan sebagai berikut:

$$H_s = E_w - E_d - H_t$$
$$H_s \geq 0$$

Keterangan :

- $H_s$  adalah sisa tekanan (m)  
 $E_w$  adalah tinggi (elevasi) muka air minimum di kolam (m)  
 $E_d$  adalah tinggi (elevasi) air di pipa distribusi terendah (m)  
 $H_t$  adalah total kehilangan tekanan (m)

Sisa tekanan harus lebih besar dari nol untuk menjamin agar air dapat didistribusikan secara gravitasi. Makin besar sisa tekanannya makin besar kecepatan aliran di dalam pipa.

- b) Kehilangan tinggi tekanan

Kehilangan tekanan pada aliran dalam pipa dihitung berdasarkan:

- 1) Kehilangan tekanan pada pemasukan

$$h_i = \frac{0,50 v^2}{g}$$

Keterangan :

- $h_i$  adalah kehilangan tekanan pada pemasukan (m)
- 0,50 adalah faktor kehilangan tekanan
- $V$  adalah kecepatan aliran pada pipa (m/s)
- $g$  adalah gravitasi (10 m/s<sup>2</sup>)


2) Kehilangan tekanan pada lengkungan/belokan

$$h_l = \frac{f_2 V^2}{g}$$

Keterangan:

- $h_l$  adalah kehilangan tekanan pada lengkungan (m)
- $f_1$  adalah faktor kehilangan tekanan pada lengkung/belokan, tergantung dari sudut lengkungan
- $V$  adalah kecepatan aliran pada pipa (m/s)
- $g$  adalah gravitasi (10 m/s<sup>2</sup>)

Tabel 26 Hubungan antara sudut lengkungan dengan  $f_1$

$\alpha$ (derajat)	$f_1$	Sketsa penjelas
5	0,013	
10	0,030	
15	0,048	
20	0,067	
25	0,080	
30	0,115	
35	0,146	
40	0,184	
45	0,234	
90	0,250	

3) Kehilangan tekanan pada sambungan pipa dengan diameter yang berbeda

$$h_s = \frac{(V_t^2 - V_r^2)}{2g}$$

Keterangan:

- $h_s$  adalah kehilangan tekanan pada sambungan pipa (m)
- $V_t$  adalah kecepatan aliran yang tinggi pada pipa (m/s)
- $V_r$  adalah kecepatan aliran yang rendah pada pipa (m/s)
- $g$  adalah gravitasi (10 m/s<sup>2</sup>)

4) Kehilangan tekanan akibat geseran

$$h_g = \frac{f L V^2}{D 2g}$$

Keterangan:

- $h_g$  adalah kehilangan tekanan akibat geseran (m)
- $f$  adalah koefisien kekasaran pipa
- $D$  adalah diameter pipa (m)
- $L$  adalah panjang pipa (m)
- $V$  adalah kecepatan aliran dalam pipa (m/s)
- $g$  adalah gravitasi ( $10 \text{ m/s}^2$ )

untuk pipa sintetik, kehilangan tekanan setiap 100 m panjang pipa akibat geseran dapat dilihat pada grafik hubungan antara debit dan kehilangan tekanan setiap m/100 m panjang pipa. Grafik tersebut menggambarkan hubungan antara debit dan kehilangan tekanan untuk pipa sintetik dengan diameter  $1\frac{1}{4}$ ",  $1\frac{1}{2}$ ", 2",  $2\frac{1}{2}$ " , dengan rasio dimensi standar SDR 17, 21, dan 26.

$$\text{Rasio dimensi standar} = \frac{\text{Diameter}}{\text{tebal pipa}}$$

#### 5.4.3 Pipa Pengambilan dan Pipa Distribusi

Dari pipa pengambilan, air akan dialirkan melalui pipa utama yang terbuat dari *polythylene* berdiameter 2". Pipa ini akan ditanam pada paritan lurus yang dibuat di tumpuan di bawah urukan embung. Kedalaman paritan minimal 0,60 m dengan lebar 0,60 m. Pipa ditempatkan di atas galian dengan sedikit lengkungan, tidak dalam kondisi lurus. Pipa sebaiknya diletakkan di atas dasar paritan yang berupa batu. Paritan diurug kembali dengan tanah yang dipadarkan per lapis menggunakan alat pemadat yang digerakkan secara manual.

Di hilir tubuh embung, sebagai pipa distribusi ke bak-bak penampung akan digunakan pipa *polythylene* dengan diameter  $1\frac{1}{2}$ ". Pipa ini ditanam sepanjang jalurnya pada paritan sedalam minimal 0,60 m untuk menghindari kerusakan oleh manusia atau erosi alami. Paritan ditimbun kembali dengan tanah yang dipadatkan per lapis menggunakan alat pemadat yang digerakkan secara manual.

#### 5.4.4 Bak Distribusi

Untuk mendistribusikan air dari embung kepada pemakainya diperlukan bak-bak distribusi yang dibagi dalam tiga macam, yaitu bak untuk keperluan manusia, bak air untuk minum hewan, dan bak air untuk ladang atau kebun.

Bak-bak tersebut harus ditempatkan sesuai dengan fungsinya yaitu di tengah permukiman untuk bak air untuk rumah tangga, di sekitar daerah penggembalaan ternak untuk bak air untuk peternakan, dan di daerah sekitar ladang atau kebun untuk bak air untuk perkebunan.

Struktur bak dapat dibuat dari beton atau pasangan batu atau bata dengan plesteran kedap air.

- 1) Bak air untuk rumah tangga

Bak ini digunakan untuk penyediaan air kebutuhan rumah tangga seperti air minum, mandi, dan mencuci.

Sebaiknya bak air untuk rumah tangga ditempatkan di tengah lokasi permukiman sehingga jarak yang ditempuh penduduk untuk mengambil air tidak terlalu jauh atau tidak melebihi 500 m.

Bak air ini merupakan Instalasi saringan pasir lambat, yang terbuat dari beton atau pasangan batu dengan ukuran 1,00 x 2,00 m yang dibagi menjadi dua bagian. Satu bagian berukuran 1,00 x 0,80 m yang diisi dengan media penyaring dan bagian kedua berukuran 1,00 x 1,20 m berisi air yang telah disaring. Ketentuan Air baku yang dapat diolah pada instalasi ini adalah :

1. Kekeruhan  $\leq 50$  mg/liter  $\text{SiO}_2$
2. Oksigen terlarut 6 mg/liter
3. Total Koliform  $\leq 500$  MPN per 100 ml

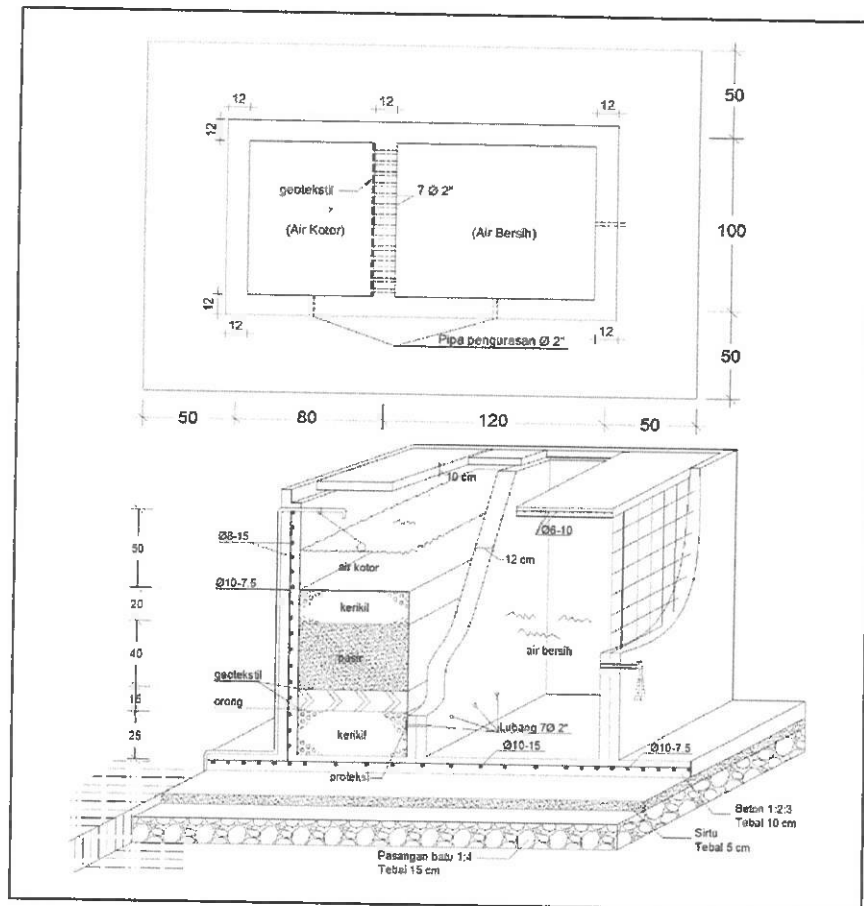
Kriteria perencanaan Instalasi saringan pasir lambat dapat menggunakan standar SNI 3981:2008. Untuk standar ini tinggi bak minimal 1,50 m dengan rincian tebal sebagai berikut:

(a) Tinggi bebas	0,20 m
(b) Tinggi air di atas media pasir	0,30 m
(c) Tebal pasir penyaring	0,40 m
(d) Tebal kerikil penahan	0,20 m
(e) <i>Drain</i> bawah	0,25 m

Media penyaring yang digunakan pada umumnya adalah pasir kuarsa. Pasir media yang baru pertama kali dipasang dalam bak saringan memerlukan masa operasi penyaringan awal, secara normal dan terus menerus selama waktu kurang lebih 3 (tiga bulan)

Pipa pemasukan air ke bak saringan pasir lambat dilengkapi dengan klep penutup dengan pelampung sehingga bila muka air telah mencapai elevasi yang ditentukan, air berhenti mengalir secara otomatis. Kran air manual sebaiknya tetap dipasang di hulu kran otomatis sebagai cadangan. Pipa pada bak ini digunakan pipa bergalvanis dengan diameter 1". Kran penyadap air dari bak sebaiknya menggunakan kran yang berkualitas tinggi untuk menghindari penggantian akibat kerusakan yang terlalu sering pada masa pemeliharaan.

Bak tambahan dapat dibangun pula apabila dirasakan perlu oleh penduduk setempat. Perlu diperhatikan pula bahwa tempat bak harus cukup terbuka, mempunyai ruangan yang cukup luas bagi penduduk, memperhatikan pula pembuatan drainase nya.



Gambar 34 Denah dan perspektif bak untuk keperluan manusia

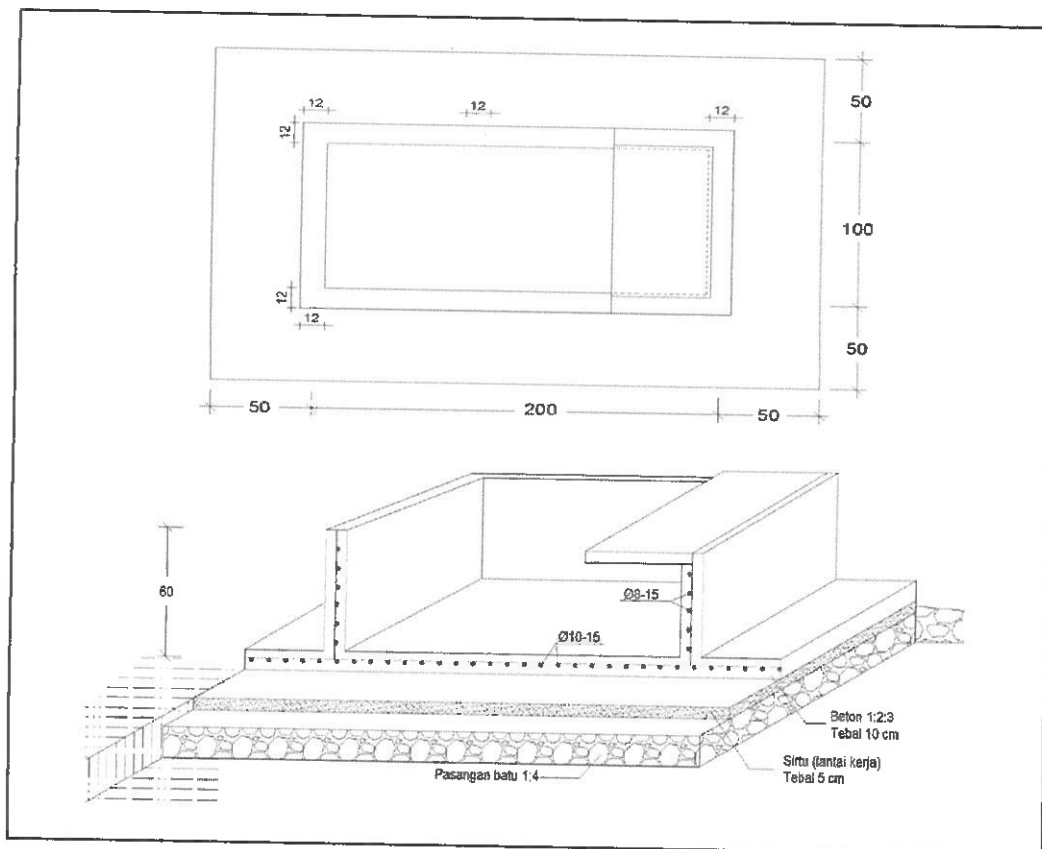
2) Bak air untuk peternakan

Bak untuk keperluan hewan dibangun minimal 50 m dari tubuh embung di sekitar daerah penggembalaan ternak dan pada lokasi tanah yang stabil, yaitu tidak mudah tererosi dan ambias, tidak pada lokasi lereng yang curam, serta mempunyai drainase yang cukup baik.

Bak hewan dapat dibangun dari beton atau pasangan batu atau bata dengan plesteran kedap air (1:2), berukuran minimal 1,00 m x 1,00 m dan maksimal 1,00 m x 2,00 m.

Pipa pemasukan air pada bak hewan dilengkapi dengan klep penutup dengan pelampung sehingga air dapat berhenti mengalir secara otomatis bila telah mencapai elevasi yang ditentukan. Namun demikian kran air tetap diperlukan sebagai cadangan bila alat otomatis rusak.

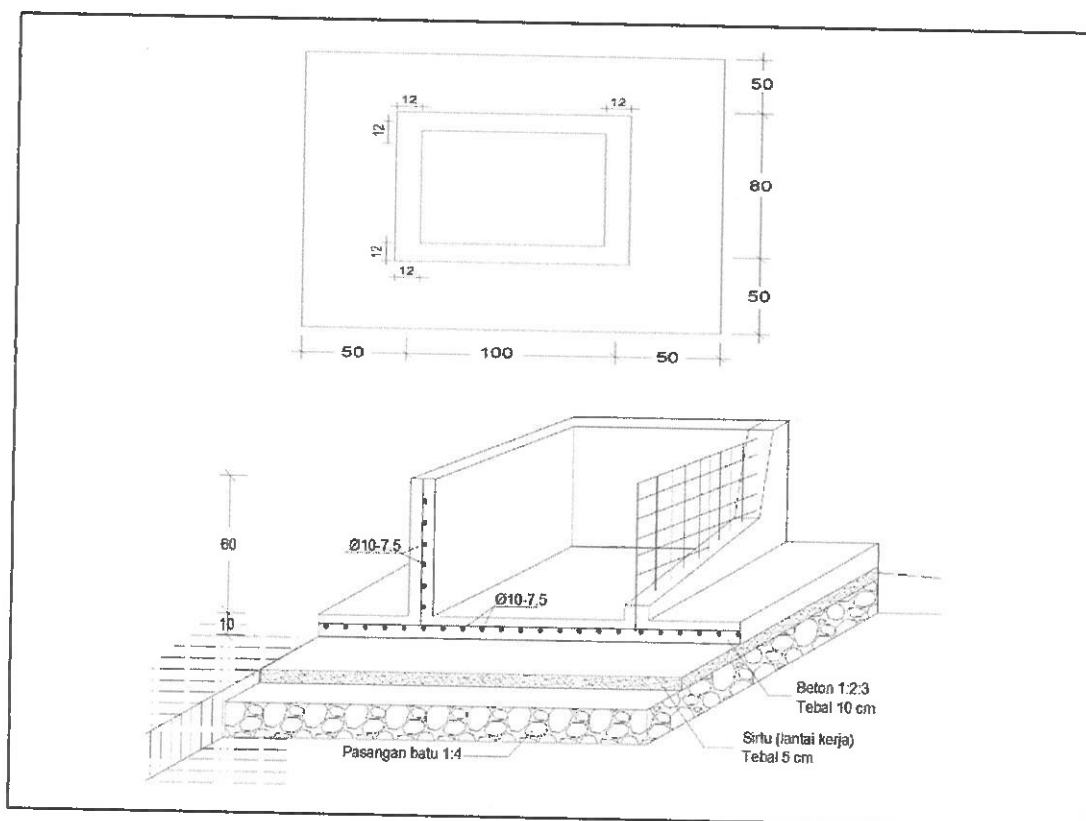
Jumlah bak hewan dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan. Sebagai perkiraan bak berukuran 1,00 x 1,00 m dapat digunakan untuk sapi sebanyak 30 ekor atau kambing sebanyak 130 ekor.



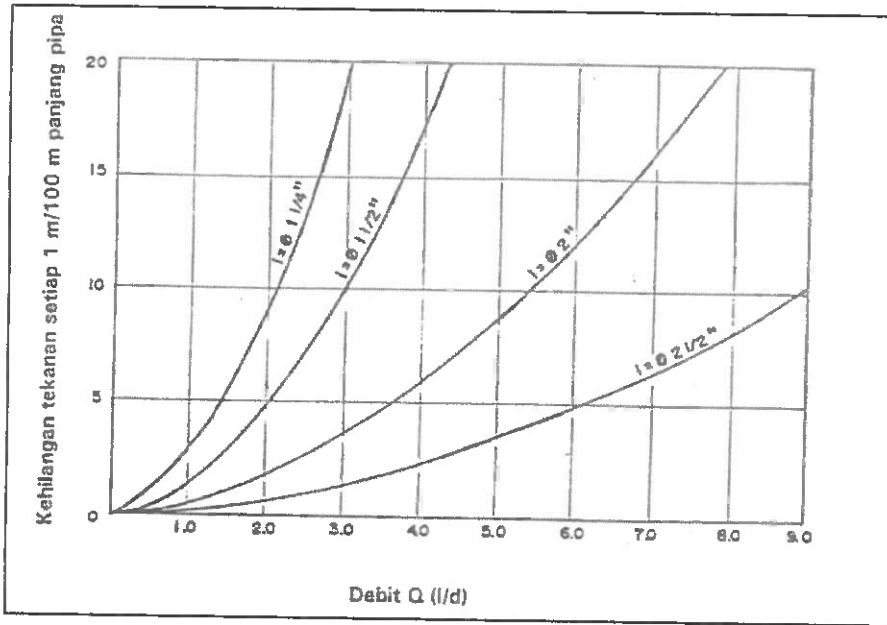
Gambar 35 Denah dan perspektif bak hewan

3) Bak air untuk perkebunan/pertanian

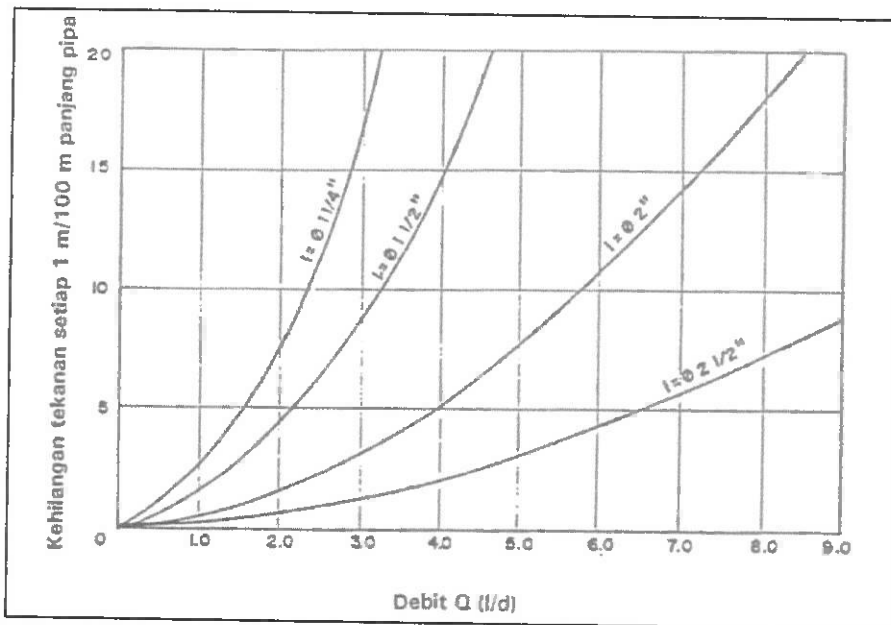
Bak kebun ditempatkan di sekitar ladang atau kebun yang akan digunakan bersama oleh penduduk. Struktur bak kebun sama dengan struktur bak hewan, dapat terbuat dari beton maupun pasangan batu atau bata, dengan ukuran sekitar 0,80 x 1,00 m. pipa pemasukan pada bak kebun juga dilengkapi dengan klep penutup yang berpelampung sehingga dapat menutup secara otomatis. Bak ini terbuka dan pengambilan air oleh penduduk dilakukan dengan gayung.



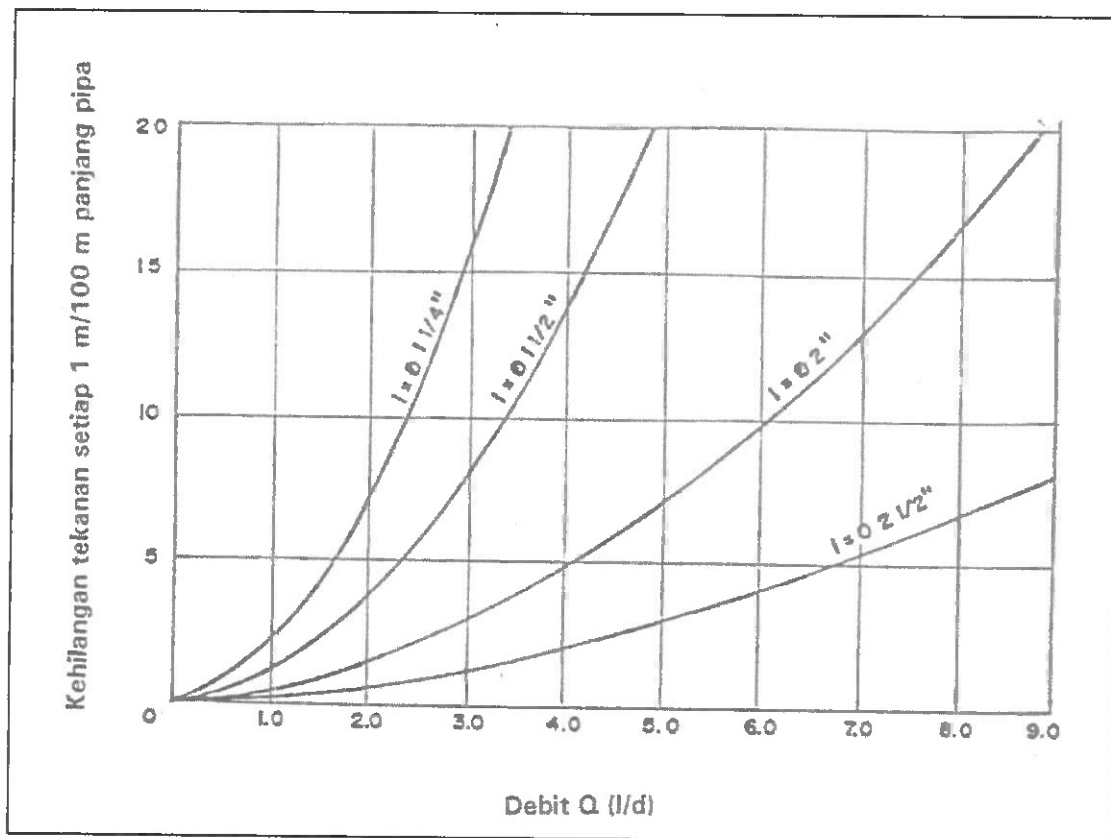
Gambar 36 Denah dan perspektif bak kebun



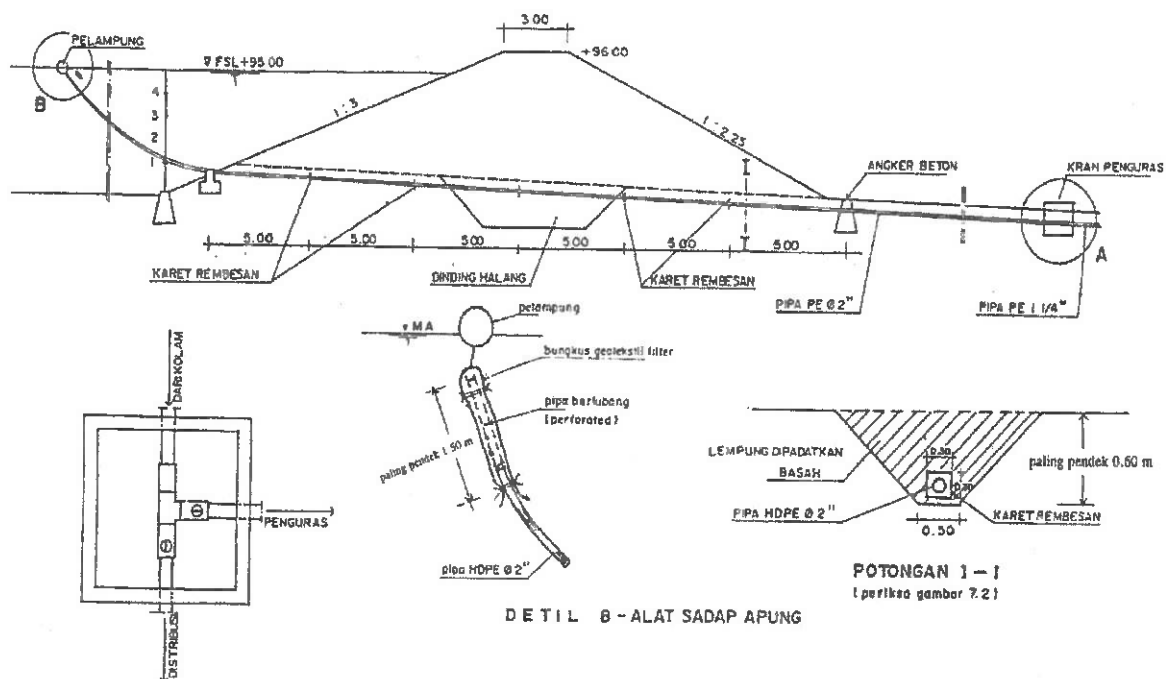
Gambar 37 Grafik hubungan antara debit dan kehilangan tekanan setiap m/100 m panjang pipa. Tipe pipa SDR 17



Gambar 38 Grafik hubungan antara debit dan kehilangan tekanan setiap m/100 m panjang pipa. Tipe pipa SDR 21

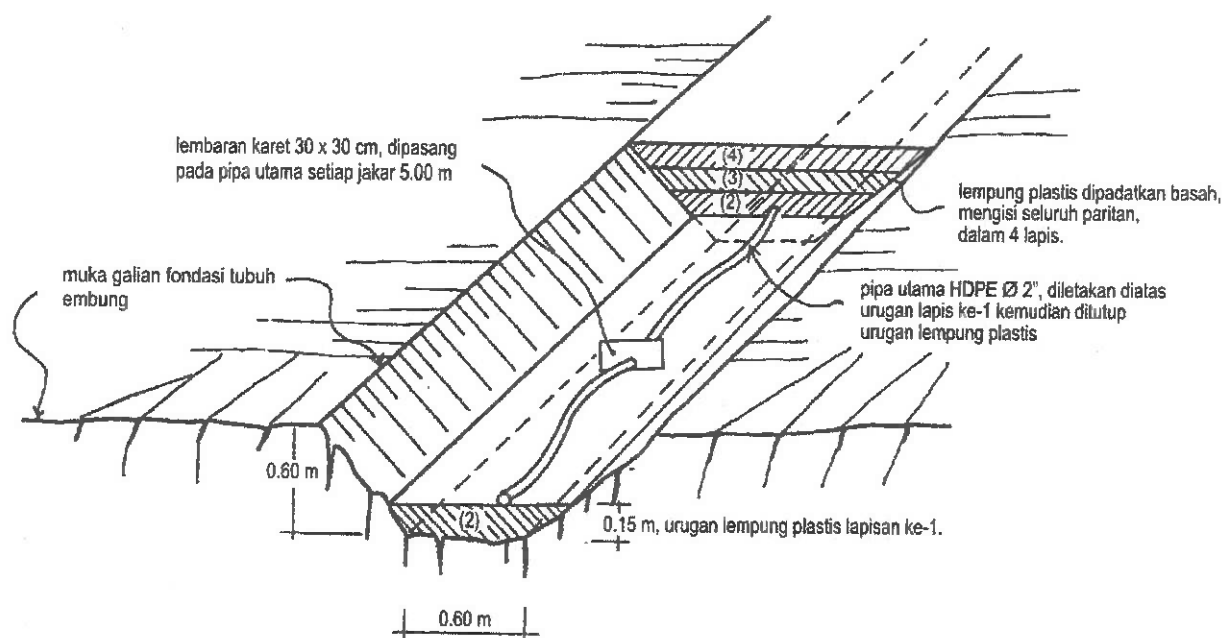


Gambar 39 Grafik hubungan antara debit dengan kehilangan tekanan setiap m/100 m panjang pipa. Tipe pipa SDR 26



DETIL:A-KRAN PENGURAS

Gambar 40 Denah pemasangan pipa distribusi



Gambar 41 Pemasangan pipa utama distribusi di bawah embung

## 5.5 Analisis Stabilitas

### 5.5.1 Umum

Analisis stabilitas tubuh embung secara praktis dapat dilakukan menggunakan program komputer, seperti GeoStudio atau Plaxis. Pada umumnya, data-data yang diperlukan sebagai input untuk perhitungan menggunakan program komputer meliputi:

1. Parameter / properti tanah yang meliputi :
  - sudut geser ( $\phi$ ) dalam satuan  $^{\circ}$ ;
  - kuat geser ( $c$ ) dalam satuan KPa;
  - berat jenis satuan ( $\gamma$ ) dalam satuan  $\text{kN/m}^3$ ;
  - porositas atau *saturated volume water content* ( $n$ ) dalam satuan  $\text{m}^3/\text{m}^3$ ;
  - *saturated conductivity* ( $K_{sat}$ ) dalam satuan  $\text{m/s}$ ; serta
  - koefisien kompresibilitas volume ( $Mv$ ) dalam satuan /kPa.
2. Parameter gempa (periode ulang 50 tahun untuk desain embung), yakni nilai percepatan-puncak gempa (PSA) di permukaan tanah yang diperoleh dengan meninjau Peta Gempa.

Sementara analisis stabilitas bangunan pelimpah dilakukan dengan meninjau gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pelimpah dan memiliki arti penting dalam perencanaan, di antaranya

### 5.5.2 Analisis Tekanan Air

Gaya tekan air dapat dibagi menjadi gaya hidrostatis dan gaya hidrodinamik. Tekanan hidrostatis adalah fungsi kedalaman di bawah permukaan air. Tekanan air akan selalu bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan. Oleh sebab itu agar perhitungannya lebih mudah, gaya horisontal dan

vertikal dikerjakan secara terpisah. Tekanan air dinamik jarang diperhitungkan untuk stabilitas bangunan bendung dengan tinggi energi rendah.

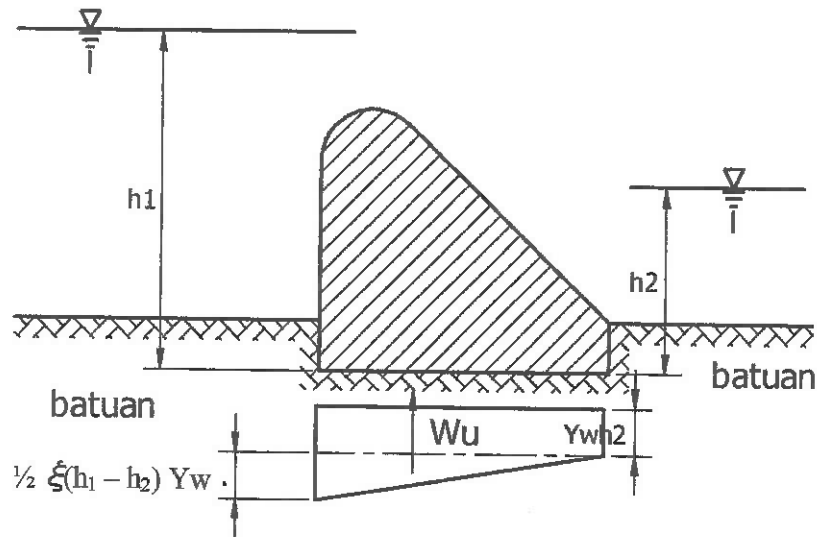
Gaya tekan ke atas disebabkan karena bangunan air mendapat tekanan air bukan hanya pada permukaan luarnya, tetapi juga pada dasarnya dan dalam tubuh bangunan itu. Gaya tekan ke atas, yakni istilah umum untuk tekanan air dalam, menyebabkan berkurangnya berat efektif bangunan di atasnya.

Perhitungan gaya tekan ke atas untuk bangunan yang didirikan pada fondasi batuan terlihat seperti persamaan di bawah ini.

$$W_u = C \tau_w [h_2 + \frac{1}{2} \xi (h_1 - h_2)] A$$

Keterangan :

- c adalah proporsi luas di mana tekanan hidrostatik bekerja (c = 1, untuk semua tipe fondasi)
- $\tau_w$  adalah berat jenis air, kN/m<sup>3</sup>
- $h_2$  adalah kedalaman air hilir, m
- $\xi$  adalah proporsi tekanan (proportion of net head)
- A adalah luas dasar, m<sup>2</sup>
- $W_u$  adalah gaya tekan ke atas resultante, kN



Gambar 42 Grafik hubungan antara debit dengan kehilangan tekanan setiap m/100 m panjang pipa. Tipe pipa SDR 26

Tabel 27 Harga-harga proporsi tekanan ( $\xi$ )

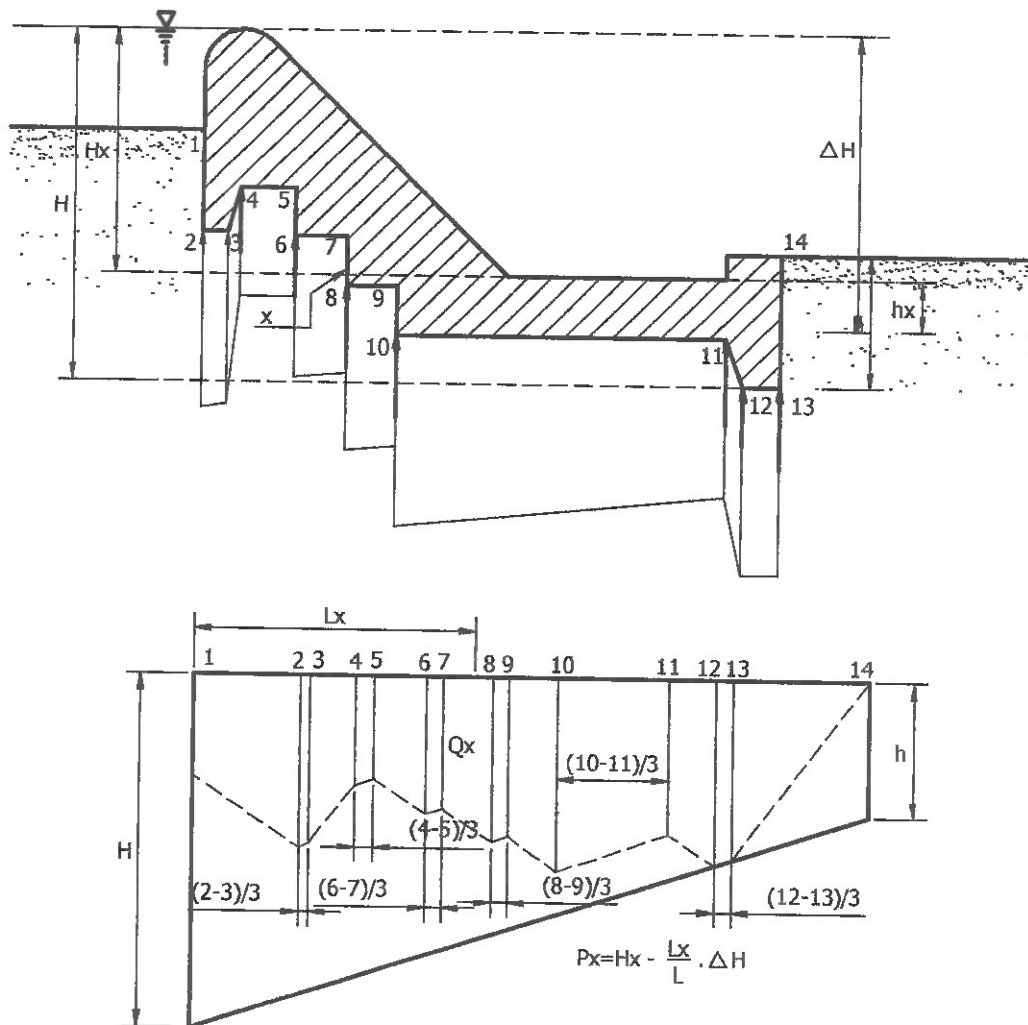
Tipe fondasi batuan	$\xi$ (proporsi tekanan)
berlapis horisontal	1,00
sedang, pejal (massive)	0,67

baik, pejal	0,50
-------------	------

Gaya tekan ke atas untuk bangunan pada permukaan tanah dasar (*subgrade*) lebih rumit. Gaya angkat pada fondasi itu dapat ditemukan dengan membuat jaringan aliran (*flownet*). Dalam hal ditemui kesulitan berupa keterbatasan waktu pengerjaan dan tidak tersedianya perangkat lunak untuk menganalisa jaringan aliran, maka perhitungan dengan asumsi-asumsi yang digunakan oleh Lane untuk teori angka rembesan (*weighted creep theory*) bisa diterapkan. Jaringan aliran dibuat sederhana saja.

Dalam teori angka rembesan Lane, diandaikan bahwa bidang horisontal memiliki daya tahan terhadap aliran (rembesan) 3 kali lebih lemah dibandingkan dengan bidang vertikal.

Ini dapat dipakai untuk menghitung gaya tekan ke atas di bawah bendung dengan cara membagi beda tinggi energi pada bendung sesuai dengan panjang relatif di sepanjang fondasi.



Gambar 43 Grafik hubungan antara debit dengan kehilangan tekanan setiap m/100 m panjang pipa. Tipe pipa SDR 26

Gaya angkat pada titik x di sepanjang dasar bendung dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_x = H_x - \frac{L_x}{L} \Delta H$$

Keterangan :

$P_x$  adalah gaya angkat pada x, kg/m<sup>2</sup>

$L$  adalah panjang total bidang kontak bendung dan tanah bawah, m

$L_x$  adalah jarak sepanjang bidang kontak dari hulu sampai x, m

$\Delta H$  adalah beda tinggi energi, m

$H_x$  adalah tinggi energi di hulu bendung, m

$L$  dan  $L_x$  adalah jarak relatif yang dihitung menurut cara Lane, bergantung kepada arah bidang tersebut. Bidang yang membentuk sudut 45° atau lebih terhadap bidang horisontal, dianggap vertikal.

### 5.5.3 Analisis Tekanan Lumpur

Tekanan lumpur yang bekerja terhadap muka hulu bendung atau terhadap pintu dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_s = \frac{\gamma_s h^2}{2} \left( \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \right)$$

Keterangan :

$P_s$  adalah gaya yang terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara horisontal

$\gamma_s$  adalah berat jenis lumpur, kN

$h$  adalah dalamnya lumpur, m

$\theta$  adalah sudut gesekan dalam, derajat.

Beberapa asumsi dapat dibuat seperti berikut:

$$\tau_s = \tau_{s'} \left( \frac{G-1}{G} \right)$$

Keterangan :

$\tau_{s'}$  adalah berat volume kering tanah  $\approx 16 \text{ kN/m}^3$  ( $\approx 1.600 \text{ kgf/m}^3$ )

$\lambda$  adalah berat volume butir = 2,65

menghasilkan  $\tau_s = 10 \text{ kN/m}^3$  ( $\approx 1.000 \text{ kgf/m}^3$ )

Sudut gesekan dalam, yang bisa diandaikan 300 untuk kebanyakan hal, menghasilkan:

$$P_s = 1,67 h^2$$

#### 5.5.4 Analisis Gaya Gempa

Harga-harga gaya gempa diberikan dalam bagian Parameter Bangunan. Harga-harga tersebut didasarkan pada peta Indonesia yang menunjukkan berbagai daerah dan risiko. Faktor minimum yang akan dipertimbangkan adalah 0,1g sebagai harga percepatan. Faktor ini hendaknya dipertimbangkan dengan cara mengalikannya dengan massa bangunan sebagai gaya horisontal menuju ke arah yang paling tidak aman, yakni arah hilir seperti persamaan di bawah ini.

$$F_g = 0.1g W$$

Keterangan :

$F_g$  adalah gaya gempa,

$g$  adalah percepatan gravitasi

$W$  adalah berat bangunan

#### 5.5.5 Analisis Berat Bangunan

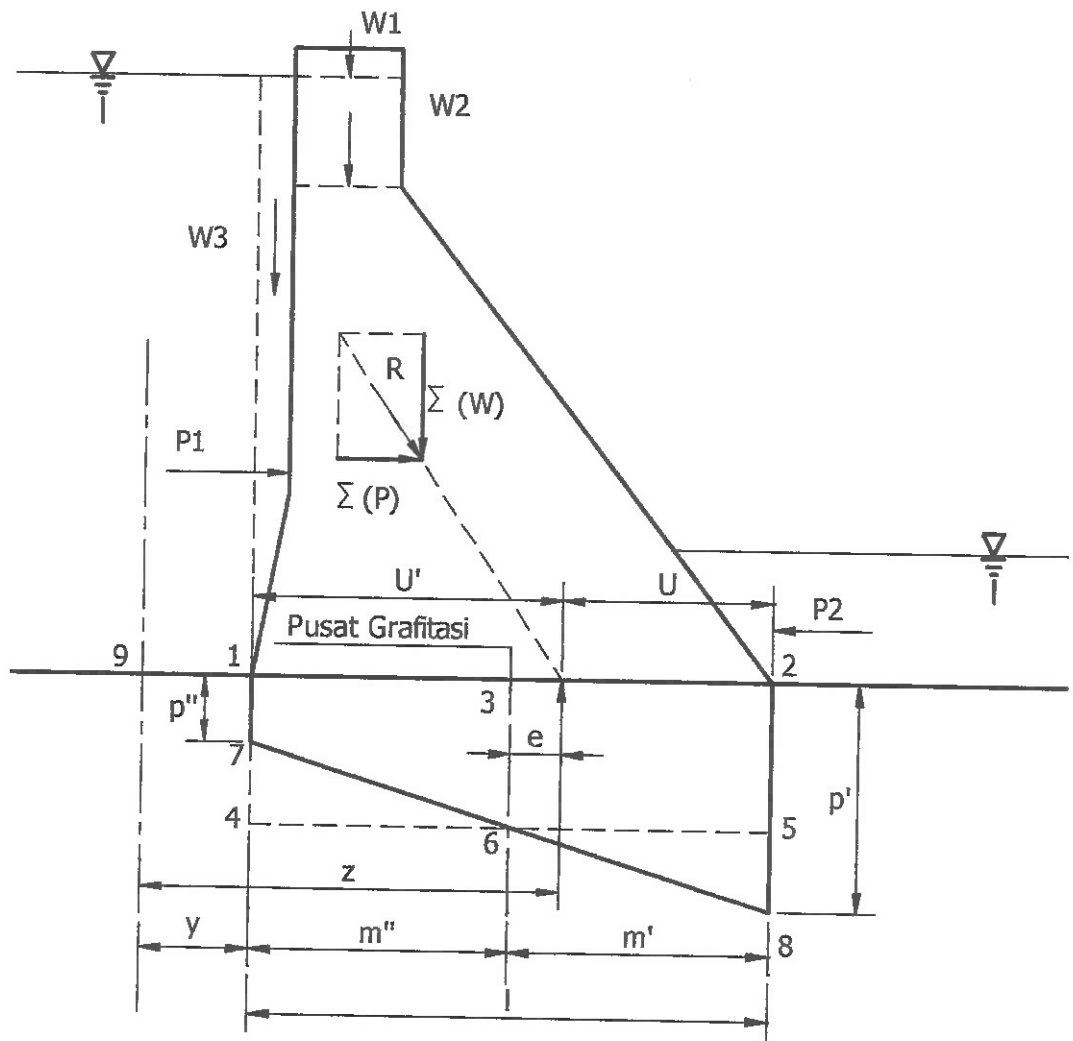
Berat bangunan bergantung kepada material yang digunakan dan untuk tujuan perencanaan pendahuluan, dapat dipakai harga-harga berat volume di bawah ini:

- a) pasangan batu                    22 kN/m<sup>3</sup> ( $\approx$  2.200 kgf/m<sup>3</sup>)
- b) beton tumbuk                    23 kN/m<sup>3</sup> ( $\approx$  2.300 kgf/m<sup>3</sup>)
- c) beton bertulang                24 kN/m<sup>3</sup> ( $\approx$  2.400 kgf/m<sup>3</sup>)

Berat volume beton tumbuk bergantung kepada berat volume agregat serta ukuran maksimum kerikil yang digunakan. Untuk ukuran maksimum agregat 150 mm dengan berat volume 2,65, berat volumenya lebih dari 24 kN/m<sup>3</sup> ( $\approx$  2.400 kgf/m<sup>3</sup>).

#### 5.5.6 Analisis Reaksi Fondasi

Reaksi fondasi dapat diasumsikan berbentuk trapesium dan tersebar secara linier .



Gambar 44 Unsur-unsur persamaan distribusi tekanan pada fondasi

Tekanan vertikal fondasi adalah:

$$P = \frac{\Sigma(W)}{A} + \frac{\Sigma(W)e}{I} m$$

Keterangan :

$P$  adalah tekanan vertikal fondasi

$\Sigma(W)$  adalah keseluruhan gaya vertikal, termasuk tekanan ke atas, tetapi tidak termasuk reaksi fondasi.

$A$  adalah luas dasar,  $m^2$

$e$  adalah eksentrisitas pembebanan, atau jarak dari pusat gravitasi dasar (base) sampai titik potong resultante dengan dasar

$I$  adalah momen kelembaban (*moment of inertia*) dasar di sekitar pusat gravitasi

$m$  adalah jarak dari titik pusat luas dasar sampai ke titik di mana tekanan dikehendaki

Untuk dasar segi empat dengan panjang ( $l$ ) dan lebar ( $B$ ) 1,0 m,  $I = l^3/12$  dan  $A = lB$ , persamaan menjadi:

$$P = \frac{\Sigma(W)}{A} \left\{ 1 + \frac{12e}{l^2} m \right\}$$

sedangkan tekanan vertikal fondasi pada ujung bangunan ditentukan dengan rumus:

$$P' = \frac{\Sigma(W)}{B} \left\{ 1 + \frac{6e}{l} \right\}$$

dengan  $m' = m'' = l/2$

$$P'' = \frac{\Sigma(W)}{B} \left\{ 1 + \frac{6e}{l} \right\}$$

Jika  $e > l/6$  maka akan dihasilkan tekanan negatif pada ujung bangunan. Biasanya tarikan tidak diijinkan dan memerlukan irisan yang mempunyai dasar segi empat sehingga resultan untuk semua kondisi pembebanan jatuh pada daerah inti.

### 5.5.7 Analisis Ketahanan Terhadap Gelincir

Ketahanan terhadap gelincir (*sliding*) harus diperhitungkan terutama pada bagian-bagian sebagai berikut:

- Sepanjang sendi horisontal atau hampir horisontal di atas fondasi,
- Sepanjang fondasi,
- Sepanjang kampuh horisontal atau hampir horisontal dalam fondasi.

Tangen  $\theta$  adalah sudut antara garis vertikal dan resultante semua gaya, termasuk gaya angkat, yang bekerja pada bangunan air di atas semua bidang horisontal, harus kurang dari koefisien gesekan yang diizinkan pada bidang tersebut.

$$\frac{\Sigma(H)}{\Sigma(V-U)} = \tan \theta < \frac{f}{s}$$

Keterangan :

$\Sigma(H)$  adalah keseluruhan gaya horizontal yang bekerja pada bangunan, kN

$\Sigma(V - U)$  adalah keseluruhan gaya vertikal ( $V$ ), dikurangi gaya tekan ke atas yang bekerja pada bangunan, kN

$\theta$  adalah sudut resultante semua gaya, terhadap garis vertikal, derajat

$f$  adalah koefisien gesekan

$S$  adalah faktor keamanan

Harga perkiraan koefisien gesekan  $f$  dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 28 Harga perkiraan koefisien gesekan**

Material	$f$
Pasangan batu	0,60 – 0,75
Batu keras berkualitas baik	0,75
Kerikil	0,50
Pasir	0,40
Lempung	0,30

Untuk bangunan-bangunan kecil, seperti bangunan-bangunan yang dibicarakan di sini, di mana berkurangnya umur bangunan, kerusakan besar dan terjadinya bencana besar belum dipertimbangkan, harga-harga faktor keamanan ( $S$ ) yang dapat diterima adalah: 2,0 untuk kondisi pembebanan normal dan 1,25 untuk kondisi pembebanan ekstrem.

Kondisi pembebanan ekstrem dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a) Tak ada aliran di atas mercu selama gempa, atau
- b) Banjir rencana maksimum.

Bangunan yang terbuat dari beton mempunyai nilai faktor gelincir aman yang hanya didasarkan pada gesekan saja dan jika kondisi tersebut ternyata terlampaui, maka bangunan bisa dianggap aman. Jika faktor keamanan dimasukan gaya geser maka dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini, hasilnya akan sama dengan atau lebih besar dari harga faktor keamanan yang sudah ditentukan.

$$\Sigma(H) \leq \frac{f \Sigma(V-U) + c A}{S}$$

Keterangan :

$c$  adalah satuan kekuatan geser material,  $\text{kN/m}^2$

$A$  adalah luas dasar yang dipertimbangkan,  $\text{m}^2$

Jika nilai faktor keamanan meliputi gaya geser, batasannya sama dengan nilai yang hanya mencakup gesekan saja yaitu 2,0 untuk kondisi normal dan 1,25 untuk kondisi ekstrem. Satuan kekuatan geser ( $c$ ) untuk beton dapat ditentukan sebesar  $1.100 \text{ kN/m}^2$  ( $= 110 \text{ Tf/m}^2$ ).

Persamaan di atas digunakan hanya untuk menghitung ketahanan gelincir pada bangunan itu sendiri. Ketahanan gelincir dengan memperhitungkan material fondasi nonkohesi terhadap gaya gesekan dapat menggunakan persamaan sebelumnya.

### 5.5.8 Analisis Ketahanan Terhadap Guling

Agar bangunan aman terhadap guling, maka resultante semua gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horisontal termasuk gaya angkat harus memotong bidang teras. Tidak boleh ada tarikan pada bidang irisan mana pun. Besarnya tegangan dalam bangunan dan fondasi harus tetap dipertahankan pada harga maksimal yang dianjurkan.

Nilai daya dukung untuk beton adalah sekitar  $4,0 \text{ N/mm}^2$  atau  $40 \text{ kgf/cm}^2$ , pasangan batu sebaiknya mempunyai kekuatan minimum  $1,5$  sampai  $3,0 \text{ N/mm}^2$  atau  $15$  sampai  $30 \text{ kgf/cm}^2$ .

Tiap bagian bangunan diasumsikan berdiri sendiri dan tidak mungkin ada distribusi gaya-gaya melalui momen lentur (*bending moment*). Oleh sebab itu, tebal lantai kolam olak dihitung sebagai berikut:

$$d_x \geq S \frac{P_x - W_x}{\tau}$$

Keterangan :

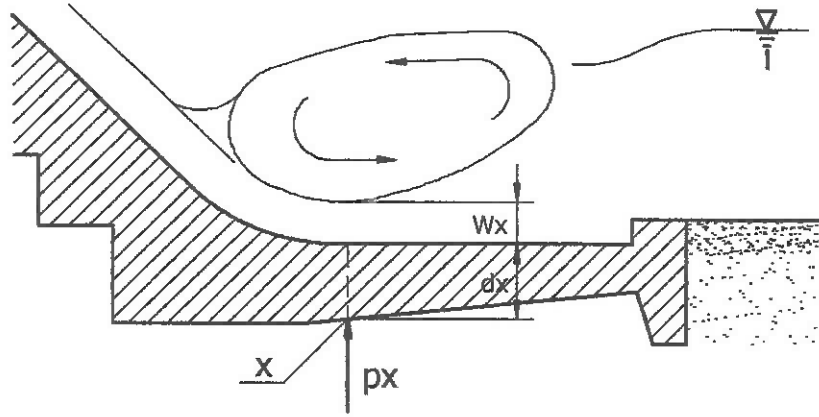
$d_x$  adalah tebal lantai pada titik  $x$ ,  $\text{m}$

$P_x$  adalah gaya angkat pada titik  $x$ ,  $\text{kg/m}^2$

$W_x$  adalah kedalaman air pada titik  $x$ ,  $\text{m}$

$\tau$  adalah berat jenis material,  $\text{kg/m}^3$

$S$  adalah faktor keamanan ( $= 1,5$  untuk kondisi normal,  $1,25$  untuk kondisi ekstrem)



Gambar 45 Tebal lantai tip

### 5.5.9 Analisis Ketahanan Terhadap Erosi Bawah Tanah (Piping)

Bangunan utama seperti bendung, bendung gerak atau tubuh embung harus dicek stabilitasnya terhadap erosi bawah tanah dan bahaya runtuh akibat naiknya dasar galian (*heave*) atau rekahnya pangkal hilir bangunan.

Bahaya terjadinya erosi bawah tanah dapat dianjurkan dicek dengan menggunakan Metode *Lane* atau metode angka rembesan Lane (*weighted creep ratio method*) dianjurkan untuk menganalisa erosi bawah tanah pada bangunan utama. Metode ini memberikan hasil yang aman dan mudah dipakai. Untuk bangunan-bangunan yang relatif kecil, metode-metode lain mungkin dapat memberikan hasil-hasil yang lebih baik, tetapi penggunaannya lebih sulit.

Metode *Lane* membandingkan panjang jalur rembesan di bawah bangunan di sepanjang bidang kontak bangunan/fondasi dengan beda tinggi muka air antara kedua sisi bangunan.

Di sepanjang jalur perkolasi ini, kemiringan yang lebih curam dari  $45^\circ$  dianggap vertikal dan yang kurang dari  $45^\circ$  dianggap horisontal. Jalur vertikal dianggap memiliki daya tahan terhadap aliran 3 kali lebih kuat daripada jalur horisontal.

Oleh karena itu, rumusnya adalah:

$$C_L = \frac{\sum L_v + \frac{1}{3} \sum L_H}{H}$$

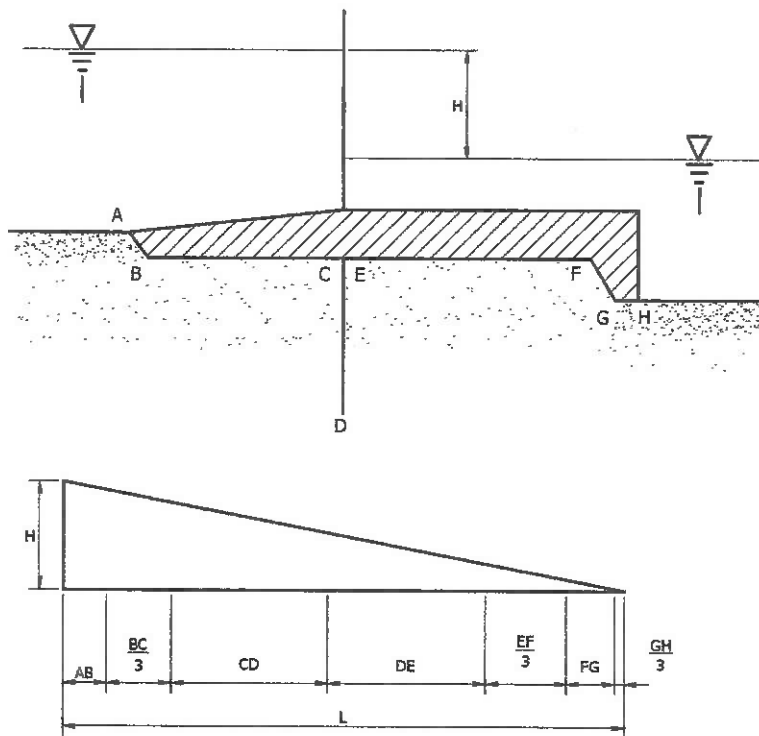
Keterangan:

$C_L$  adalah angka rembesan Lane

$\sum L_v$  adalah jumlah panjang vertikal, m

$\sum L_H$  adalah jumlah panjang horisontal, m

$H$  adalah beda tinggi muka air, m



Gambar 46 Metode angka rembesan lane

Tabel 29 Harga minimum angka rembesan lane ( $C_L$ )

Material bangunan	Nilai Rembesan Lane ( $C_L$ ) Minimum
Pasir sangat halus atau lanau	8,5
Pasir halus	7,0
Pasir sedang	6,0
Pasir kasar	5,0
Kerikil halus	4,0
Kerikil sedang	3,5
Kerikil kasar termasuk berangkal	3,0
Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil	2,5
Lempung lunak	3,0
Lempung sedang	2,0
Lempung keras	1,8
Lempung sangat keras	1,6

Angka-angka rembesan pada di atas sebaiknya digunakan pada kondisi sebagai berikut:

- 100% jika tidak dipakai pembuang, tidak dibuat jaringan aliran dan tidak dilakukan penyelidikan dengan model;
- 80% kalau ada pembuangan air, tapi tidak ada penyelidikan maupun jaringan aliran;
- 70% bila semua bagian tercakup.

Menurut Creagen, Justin dan Hinds, hal ini menunjukkan diperlukannya keamanan yang lebih besar jika telah dilakukan penyelidikan detail.

Untuk mengatasi erosi bawah tanah elevasi dasar hilir harus diasumsikan pada pangkal koperan hilir. Untuk menghitung gaya tekan ke atas, dasar hilir diasumsikan di bagian atas ambang ujung.

Keamanan terhadap rekah bagian hilir bangunan bisa dicek dengan rumus berikut:

$$S = \frac{s(1+a/s)}{h_s}$$

Keterangan :

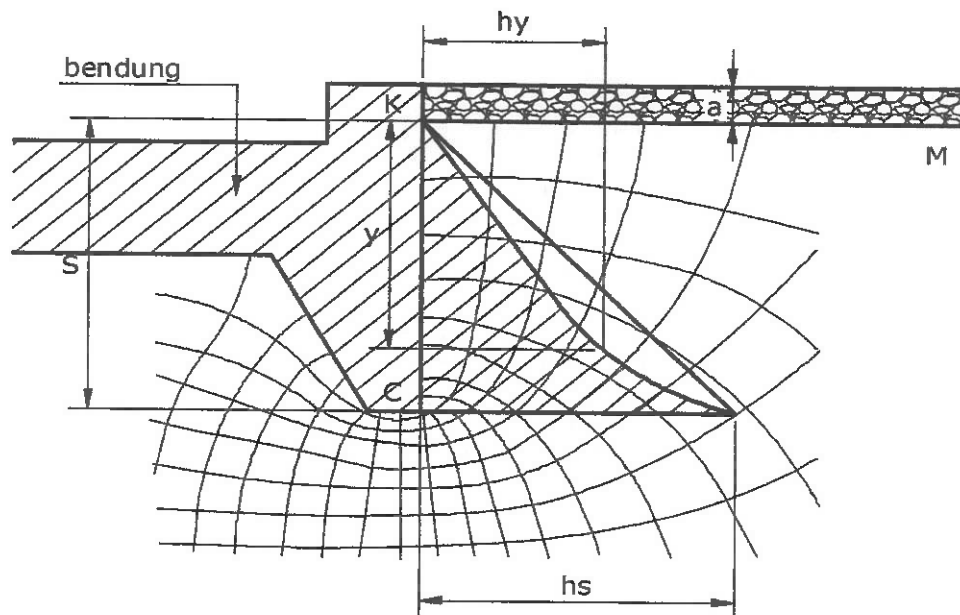
$S$  adalah faktor keamanan

$s$  adalah kedalaman tanah, m

$a$  adalah tebal lapisan pelindung, m

$h_s$  adalah tekanan air pada kedalaman  $s$ , kg/m<sup>2</sup>

Tekanan air pada titik C dapat ditemukan dari jaringan aliran atau garis angka rembesan *Lane*. Rumus di atas mengandaikan bahwa volume tanah di bawah air dapat diambil 1 ( $\tau_w = \tau_s = 1$ ). Berat volume bahan lindung di bawah air adalah 1. Harga keamanan  $S$  sekurang-kurangnya 2.



**Gambar 47 Sketsa parameter-parameter stabilitas pada ujung hilir bangunan Pekerjaan konstruksi**

## **6 Manual Operasi dan Pemeliharaan**

Manual Operasi dan Pemeliharaan di bawah ini adalah untuk embung ukuran besar, sedangkan untuk embung dengan ukuran kecil dapat menyesuaikan dengan kondisi lapangan.

### **6.1 Umum**

Tujuan dari pembangunan embung adalah untuk menjamin tersedianya air guna menunjang dan memenuhi kebutuhan sesuai dengan prioritasnya, apakah untuk keperluan irigasi, pemenuhan kebutuhan air baku, dan lain-lainnya. Oleh karena itu, perlu dibuat daftar urutan prioritas pemenuhan kebutuhan air sesuai dengan yang direncanakan. Akan tetapi dengan adanya perkembangan daerah hilir embung misalnya, urutan prioritas tersebut kemungkinan bisa bergeser dan berubah, sehingga Pola Penyusunan Operasional Embung perlu disesuaikan dengan kebutuhan dan pemanfaatannya yang baru.

Sehubungan dengan hal tersebut, maka setiap embung harus mempunyai Panduan Operasi dan Pemeliharaan (Panduan O & P Embung) tersendiri, sesuai dengan karakteristik embung masing-masing yang dapat diketahui sejak survei dan investigasi, pembuatan desain sampai pelaksanaan konstruksinya. Oleh karena itu, catatan-catatan penting selama periode tersebut harus didokumentasikan.

Maksud dari Pedoman O & P Embung itu sendiri adalah sebagai panduan kegiatan di dalam memelihara, mengendalikan atau mengoperasikan serta memanfaatkan sumber daya air berikut sarana dan prasarannya, agar dapat berfungsi secara optimal dalam rangka memberikan pelayanan kepada masyarakat sesuai dengan umur layanan yang diharapkan.

Secara umum, Panduan O & P Embung sekurang-kurangnya harus mencakup hal-hal sebagai berikut:

#### **1) Organisasi**

Embung yang telah selesai dibangun hendaknya dikelola oleh desa setempat, dinas yang membidangi pengelolaan Sumber Daya Air setempat membantu desa dalam masalah keteknikan.

#### **2) Inspeksi**

- a) Desa pengelola embung perlu mengadakan inspeksi minimal sekali dua minggu terutama terhadap tubuh embung, pelimpah dan dinding kolam embung,
- b) Pada waktu dan setelah hujan lebat perlu inspeksi,
- c) Menjelang musim kemarau perlu diperiksa apakah alat sadap dan keran air bekerja dengan baik.
- d) Inspeksi harus dilakukan oleh tenaga teknis dari dinas terkait.

### 3) Daerah Tadah Hujan (DTH)

- a) Seluruh DTH sebaiknya dihijaukan dan dibuat teras dari tumpukan batu setinggi  $\pm 0,5$  m untuk mengurangi erosi. Tanaman rumput sangat disarankan.
- b) Hewan hendaknya tidak memasuki DTH untuk menjaga kebersihan air embung dari pencemaran kotoran hewan.

### 4) Kolam embung

- a) Penduduk hendaknya tidak mengambil air secara langsung dari kolam embung untuk menghindari pemborosan air.
- b) Hewan dilarang minum langsung di kolam embung untuk mencegah penularan penyakit hewan terhadap manusia. Pagar di sekeliling kolam mungkin diperlukan.

### 5) Operasi pengambilan air

Mengingat terbatasnya volume air yang ada pada tampungan, maka sebelum dioperasikan perlu dibuat rencana pengoperasian. Kegiatan ini dimulai dengan penentuan distribusi air untuk penduduk, berdasarkan perhitungan kebutuhan dan ketersediaan air (neraca air). Pengoperasian dilakukan sedemikian rupa sehingga pengambilan air tidak melebihi jumlah air yang tersedia.

## 6.2 Simulasi Tampungan

### 6.2.1 Metoda Simulasi

Metode simulasi adalah salah satu pendekatan analisa yang digunakan untuk melakukan studi terhadap perilaku tampungan akibat aktifitas *inflow* (masukan air) dan *outflow* (keluaran air) di embung.

Tahapan melakukan simulasi embung adalah sebagai berikut :

- Mengidentifikasi sistem.
- Menentukan sasaran dan menetapkan kriteria yang akan dipakai untuk mengukur sasaran tersebut.
- Memeriksa ketersediaan data.
- Memformalisasikan model dengan cara matematis dan kuantitatif mewakili komponen sistem, kriteria operasi dan kondisi hidrologinya.
- Menguji model.
- Menganalisa dan mengevaluasi hasil yang didapat sesuai dengan sasaran kajian.

### 6.2.2 Genangan

Genangan atau tampungan embung adalah volume yang terbentuk dari kondisi topografi di cekungan pada lokasi embung. Volume air ini kemudian dimanfaatkan untuk menampung air sesuai kebutuhan. Untuk merencanakan pemanfaatan yang tersedia diperlukan perencanaan yang sesuai dan efisien.

Untuk merencanakan pemanfaatan air tersebut, maka tampungan kita bedakan menjadi :

- Tampungan banjir, yaitu volume air tampungan yang diperuntukkan menampung luapan air akibat debit banjir dengan peluang yang sesuai dengan yang direncanakan.
- Tampungan efektif, yaitu volume air tampungan yang direncanakan untuk menampung air yang dimanfaatkan sesuai kebutuhan.
- Tampungan mati, yaitu volume air tampungan yang diasumsikan terisi sedimentasi sampai dengan umur embung yang telah direncanakan.

Dengan demikian volume air tampungan total adalah jumlah dari tampungan mati, tampungan banjir dan tampungan efektif.

### 6.2.3 Persamaan Keseimbangan Air Tampung

Simulasi tampungan embung berhubungan dengan simulasi matematik dari operasi embung. Perencanaan simulasi pengoperasian sistem pemanfaatan air di embung dengan simulasi dimaksudkan untuk menentukan kebutuhan air guna berbagai kebutuhan yang meliputi air baku, air rumah tangga, irigasi, pengendalian banjir dan lain sebagainya.

Tujuan simulasi embung adalah untuk menentukan pengoperasian embung pada suatu periode tertentu, pada titik kontrol sepanjang sistem.

Sasarannya adalah pengoperasian embung sebaik mungkin agar bisa memenuhi berbagai kepentingan.

Simulasi tampungan embung bisa juga dilakukan dengan cara coba-coba untuk mengembangkan pola operasi. Metode hitungan neraca air bisa dilakukan dengan menyederhanakan proses fisik menjadi fungsi aljabar, yang bisa dinyatakan sebagai berikut :

$$S_t = S_{t-1} + I_t + R_t - O_t - E_t - L_t$$
$$0 \geq S_t \geq C$$

dimana :

- C = kapasitas tampungan embung efektif
- $S_t$  = volume air di embung saat t (periode yang bersangkutan)
- $S_{t-1}$  = volume air di embung saat t – 1 (periode sebelumnya)
- $I_t$  = volume inflow ke embung saat t
- $R_t$  = volume air hujan yang masuk ke embung seluas daerah genangan saat t.
- $O_t$  = volume outflow yang dicatat dari embung saat t.
- $E_t$  = volume air embung yang menguap saat t.
- $L_t$  = volume air embung yang hilang karena sebab-sebab lain saat t.

## 6.3 Operasi Embung

Sebelum pengoperasian embung, pada umumnya telah dihitung dan diketahui kapasitas tampungan atau alokasi air embung serta grafik hubungan antara elevasi muka air embung, luas genangan, dan volume air yang tertampung. Namun, korelasi tersebut dipengaruhi oleh variasi laju penampungan air maupun laju pengendapan/ sedimentasi di dasar embung. Faktor-faktor inilah yang harus diperhatikan di dalam Panduan O & P Embung yang terkait dengan pengoperasian Embung, yakni:

### 6.3.1 Kapasitas Tampungan Embung

Kapasitas tampungan embung akan selalu berubah/ berkurang seiring dengan sedimentasi yang terjadi di dasar embung. Oleh karena itu, O & P embung harus memuat instruksi yang jelas mengenai perlu dan pentingnya dilakukan pengukuran laju sedimentasi di kolam embung secara periodic untuk menentukan pengendalian operasinya. Pengukuran ini antara lain bisa dilakukan dengan menggunakan peralatan "echo sounding".

### 6.3.2 Banjir Desain dan Penelusuran Banjir

- a) Panduan O & P Embung hendaknya memuat pula uraian mengenai banjir desain, tipe dan debit banjir yang digunakan di dalam merekayasa embung, bangunan pelimpah, dan bangunan pengeluaran lainnya.
- b) Apabila embung didesain dengan menggunakan persyaratan debit banjir dengan periode ulang tertentu, maka besarnya debit banjir periode ulang tertentu tersebut perlu ditampilkan di dalam panduan.

Demikian pula catatan mengenai besarnya banjir maksimum yang pernah terjadi guna mengantisipasi pengoperasian embung selama waktu banjir berikutnya.

- c) Data yang perlu untuk penelusuran banjir yang masuk, antara lain adalah:
  - Debit banjir pada setiap sungai yang masuk ke dalam embung.
  - Elevasi muka air embung pada saat mulai banjir dan selama banjir.
  - Waktu dan debit pengeluaran dari bangunan pengeluaran.
  - Operasi saluran pemasok air ke dalam embung (jika ada).
- d) Panduan O & P embung perlu mencantumkan pula hidrograf penelusuran banjir desain, desain pengendalian banjir berikut data-data banjir besar yang pernah terjadi.

### 6.3.3 Prakiraan Air Masuk

- a) Panduan O & P embung harus memuat perintah mengenai pentingnya menghitung perkiraan besarnya air yang masuk ke dalam embung pada bulan-bulan sebelum dan selama musim penghujan/banjir, mencakup persiapan instruksi berikut prosedurnya. Prakiraan ini dapat digunakan sebagai dasar perencanaan operasi embung sebelum dan selama periode banjir, pembuatan prosedur perencanaan operasi dan kriteria operasi,
- b) Prakiraan hendaknya mencakup waktu dan besarnya banjir yang akan datang, yang antara lain dapat dipantau dengan menggunakan sistem peralatan telemetri.
- c) Untuk keperluan butir a) di atas, diperlukan prosedur administrasi dan data teknik termasuk pembentukan organisasi yang bertanggung jawab terhadap perhitungannya, pengumpulan data terkait serta pembuatan perencanaan operasi waduk.
- d) Data dan prosedur teknik yang dimaksud dalam butir c) di atas adalah:
  - Data hasil pemantauan hidrometeorologi.
  - Korelasi, persamaan-persamaan, grafik dan prosedur analisis prakiraan air masuk, termasuk sistem peringatan dini, dan sebagainya.
  - Instruksi mengenai frekuensi ramalan yang harus dibuat dalam berbagai kondisi yang bervariasi.

#### 6.3.4 Jadwal Pengisian dan Prosedur Pengeluaran Air

Panduan O & P harus berisikan pula rencana atau jadwal pengisian embung dan pengeluarannya, secara berkesinambungan setiap tahun. Rencana tersebut hendaknya juga mencakup larangan atau batasan pengeluaran air, termasuk jumlah dan waktu kapan air harus dikeluarkan dari embung.

#### 6.3.5 Petunjuk Operasi

- a) Panduan O & P embung harus memuat petunjuk operasi berupa informasi dan perintah yang jelas kepada personil yang bertanggung jawab terhadap pengoperasian embung agar sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan.
- b) Pembuatan petunjuk operasi dapat merujuk kepada dokumen-dokumen peralatan yang digunakan, desain embung dan bangunan pelengkapannya serta instruksi/manual dari pabrik pembuatannya.
- c) Petunjuk operasi hendaknya dibuat tersendiri, terpisah dari panduan mengenai kebijaksanaan operasi secara umum.
- d) Bangunan dan atau peralatan yang perlu dibuat petunjuk operasinya hendaknya mencakup:
  - Petunjuk operasi bangunan-bangunan sipil
  - Petunjuk operasi instrumentasi embung
  - Petunjuk operasi jaringan hidrometeorologi dan sistem peringatan dini.

#### 6.3.6 Operasi Banjir

- a) Panduan O & P harus mencantumkan operasi banjir serta kriteria penyimpanan air berikut jadwal pengeluarannya sebelum dan selama terjadinya banjir. Hal ini penting dalam rangka pembuatan kriteria dan pola operasional embung yang antara lain dimaksudkan untuk keperluan keamanan embung dan keselamatan penduduk di daerah hilir embung. Di samping itu, Panduan O & P hendaknya juga merinci jenis-jenis kegiatan pengendalian banjir di hilir embung.
- b) Panduan O & P hendaknya juga mencantumkan kapasitas saluran/sungai pada penampang-penampang tertentu di hilir embung.

### 6.4 Pola Operasi Embung

Maksud dari pola operasi disini adalah merupakan pola pendistribusian air yang pada dasarnya dipengaruhi oleh komponen-komponen *outflow* maupun komponen-komponen *inflow*. Untuk studi ini dilakukan dengan cara pendekatan pembagian waktu menurut periode-periode. Pada setiap 1 (satu) bulan terdiri dari 2 (dua) periode dengan pembagian yang disesuaikan dengan jumlah hari pada masing-masing bulan, hal ini karena disesuaikan dengan pembagian periode pola tanam.

Pola pendistribusian air, didasarkan pada hasil simulasi yang menggunakan keandalan sebesar 80 %, akan terdapat pola perilaku muka air selama setahun pada setiap periode. Perilaku ini akan dapat diandalkan sebagai pola standar dengan peluang keberhasilan 80%.

Pada simulasi ini tentunya akan memanfaatkan volume tampungan efektif, yaitu volume yang berada di antara elevasi mercu pelimpah dan elevasi *intake*. Sedangkan tampungan total adalah tampungan efektif ditambah tampungan banjir dan tampungan dasar.

Pola operasi (pengaturan pembagian air) embung meliputi hal-hal dan dapat dijelaskan sebagai berikut :

**Debit yang masuk (*inflow*), meliputi :**

1. Curah hujan yang langsung jatuh ke areal genangan embung (dihitung berdasarkan curah hujan rata-rata 15 harian dikalikan dengan luas genangan embung)
2. Debit andalan dari daerah tangkapan air (DTA) yang menjadi limpasan dan masuk ke embung.

**Debit yang keluar (*outflow*), meliputi :**

1. Evaporasi Langsung dari genangan embung
2. Kebutuhan air irigasi (hasil perhitungan kebutuhan air irigasi dengan berbagai alternatif pola tata tanam)
3. Kebutuhan air baku masyarakat (hasil perhitungan hidrologi kebutuhan air masyarakat-masyarakat)
4. Kebutuhan air minum ternak ekor.

Berikut ini adalah contoh tabel hasil analisa pola operasi embung dengan kondisi sebagai berikut:

1) Kebutuhan Irigasi

Jadwal tanam harus disesuaikan dengan musim (banjir) sehingga tanaman aman dari kerusakan, untuk pelaksanaan pengolahan tanah harus tepat waktu sesuai pola tanam usulan maupun kesepakatan kelompok tani yang ada di lokasi pekerjaan.

Pemberian air ke lahan dilakukan secara kontinyu yang disesuaikan dengan pola tanam (kebutuhan) dan ketersediaan air untuk irigasi, untuk itu diperlukan juru air yang bertugas mengatur bukaan pintu pengambilan (*intake*).

Pintu bangunan pengambil harus ditutup, pada saat dan setelah turun hujan dimana tanaman padi/palawija cukup memperoleh air dari air hujan saja.

2) Kebutuhan Air Baku

Saat ini tampungan embung lebih diprioritaskan untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi.

3) Kebutuhan Air Ternak

Seperti disebutkan di atas bahwa saat ini tampungan embung lebih diprioritaskan untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi.

Tabel 30 Contoh Hasil Analisa Pola Operasi Embung

Kebudayaan Air Irigasi Maksimum uk: Persewaan di sekitar Embung  
 Luas Genangan Maksimum Embung Plered = 183 /dec/ha  
 Volume Tampungannya Efektif Embung (tan pungen efektif) = 27.858,19 m<sup>3</sup>  
 Volume Tampungannya Mirip um Embung (tampungannya) = 90.363,14 m<sup>3</sup>  
 Volume Tampungannya Maksimum (sampaibambang penuh/trike) = 23.278,97 m<sup>3</sup>  
 = 113.642,12 m<sup>3</sup>  
 Elevasi muka Air Embung Rata-rata = 124,84 m  
 Elevasi muka Air Embung Maksimum = 125,19 m  
 Volume tampungannya sedimen maksimum = 23.278,97 m<sup>3</sup>  
 Elevasi permukaan trike = 125,10 m  
 Elevasi permukaan trike + 121,50 m

NO	BLN	DKD	HARI	INFLOW		HJUAN		KEBUTUHAN AIR IRIGASI SAWAH SEKITAR EMBUNG 125.00 Ha	EVAPORASI HAWA	S OUTFLOW	S INFLOW	S OUTFLOW	AS = I - O	AIR YANG MELIMPAS (SPILLOUT)	AIR YANG MELIMPAS (SPILLOUT)	ELEVASI MUKA AIR SITU	
				Q	Wada	mm	m <sup>2</sup>										l/dec/ha
0																	
1	JAN	1	15	0,17	216.652,35	127,85	3.581,55	1,34	2.088,46	2.54	219.305,47	110.889,00	219.305,47	110.889,00	Tidak Melimpas	125,002	
2		2	16	0,17	231.098,85	136,37	3.798,98	0,94	2.277,69	1,90	164.157,46	863.462,93	177.927,39	64.285,27	Tidak Melimpas	125,105	
3	Feb	1	13	0,19	243.074,51	133,62	3.722,48	0,15	2.025,52	0,30	25.882,53	804.464,83	409.345,46	395.119,36	281.477,25	125,122	
4		2	13	0,19	210.664,57	118,81	3.236,15	0,30	1.755,45	0,51	43.872,49	1.015.129,40	453.217,95	563.911,45	448.269,33	125,140	
5	Mar	1	15	0,19	251.870,87	127,98	3.565,40	0,42	1.819,34	0,81	70.056,47	1.267.000,27	523.274,42	743.725,85	630.083,74	125,149	
6		2	16	0,12	266.662,26	138,52	3.803,09	0,32	1.920,63	0,66	57.161,13	1.536.662,54	590.435,54	955.228,99	841.884,88	125,161	
7	Apr	1	15	0,12	150.509,01	88,85	2.502,95	0,00	1.692,71	0,02	1.692,71	1.686.171,55	881.128,25	1.104.043,29	990.491,18	125,176	
8		2	15	0,12	150.509,01	88,85	2.502,95	0,05	1.692,71	0,11	9.906,60	1.836.680,56	924.034,86	1.244.645,70	1.131.003,59	125,187	
9	Mei	1	15	0,04	49.902,07	44,74	1.246,36	0,78	1.548,76	1,47	127.343,45	1.886.533,63	719.378,30	1.267.204,32	1.053.582,21	125,191	
10		2	16	0,04	53.228,87	47,72	1.329,45	0,78	1.652,01	1,58	136.641,17	1.939.811,50	656.039,48	1.083.782,02	970.169,91	125,170	
11	JUN	1	15	0,03	32.714,28	31,58	879,68	0,49	1.519,15	0,94	80.889,70	1.972.525,78	936.889,17	1.035.636,61	921.994,49	125,171	
12		2	15	0,03	32.714,28	31,58	879,68	0,27	1.519,15	0,53	45.913,51	2.005.240,07	983.802,68	1.022.437,39	908.795,27	125,176	
13	JUL	1	15	0,03	32.417,28	20,40	568,22	0,00	1.664,21	0,02	1.664,21	2.037.657,35	984.466,89	1.053.190,46	939.548,34	125,172	
14		2	16	0,03	34.578,44	21,76	606,11	0,00	1.775,16	2,91	251.485,90	2.072.235,79	1.225.952,79	836.283,00	722.640,88	125,152	
15	Agst	1	15	0,03	32.405,19	6,07	169,02	1,82	2.119,29	3,44	297.251,48	2.104.640,97	1.533.204,77	571.436,21	457.294,59	125,115	
16		2	16	0,03	34.565,53	6,47	180,28	1,82	2.119,29	3,68	318.226,23	2.139.208,51	1.851.400,49	281.778,01	174.133,89	125,112	
17	Sept	1	15	0,03	32.401,61	21,38	595,74	0,74	2.217,63	1,42	122.887,67	2.171.609,11	1.974.288,16	109.395,95	197.309,95	125,106	
18		2	15	0,03	32.401,61	21,38	595,74	0,74	2.217,63	1,39	120.316,25	2.204.009,72	2.094.614,41	1.974.288,16	109.395,95	124,973	
19	OKT	1	15	0,03	32.400,47	66,96	1.865,39	0,65	2.212,05	1,25	107.692,86	2.236.410,19	2.202.307,27	34.102,92	Tidak Melimpas	122,082	
20		2	16	0,03	34.560,50	71,42	1.989,75	0,19	2.359,52	0,41	35.412,75	2.270.920,68	2.237.720,01	33.200,67	Tidak Melimpas	122,036	
21	NOV	1	15	0,05	64.800,14	118,04	3.288,43	0,01	2.115,93	0,04	3.117,52	2.338.770,83	2.340.897,54	94.873,29	Tidak Melimpas	124,386	
22		2	15	0,05	64.800,14	118,04	3.288,43	0,00	2.115,93	0,02	2.115,93	2.400.570,97	2.243.013,47	157.557,50	43.915,39	125,103	
23	Des	1	15	0,09	112.881,13	126,13	3.513,73	0,29	1.615,13	0,56	48.582,14	2.513.452,10	2.291.595,61	221.856,49	108.214,37	125,108	
24		2	16	0,09	120.406,53	134,54	3.747,98	0,39	1.722,81	0,79	68.403,25	2.633.859,63	2.359.995,85	273.863,78	160.217,66	125,117	
JUMLAH				365	2.520.216,52	1.846,05			2.314.395,19		45.603,67	2.359.999		2.359.999		124,84	
RATARATA					105.009,02	76,92			96.433,13		1.900,15	98.333		98.333		124,84	
MAKSIMUM					266.662,26	136,52			316.106,98		2.399,52	318.226,23		318.226,23		125,19	
MINIMUM					32.400,47	6,07			0,00		1.519,15	1.664,21		1.664,21		122,04	
VOL. MAX EMBUNG																	
VOL. MIN EMBUNG																	

Sumber: Laporan Pedoman Operasi dan Pemeliharaan (O&P), Detail Desain Embung 1 Lokasi Kabupaten Blora.

## 6.5 Pemeliharaan Embung

Pemeliharaan merupakan suatu usaha untuk merawat, menjaga dan melestarikan sehingga embung akan tetap dapat memberikan “daya layan” yang optimal kepada masyarakat. Masyarakat sebagai penerima manfaat dari rencana pembangunan embung, untuk itu diperlukan usaha sosialisasi cara pengoperasian dan pemeliharaan, sehingga masyarakat merasa memiliki dan menjaga subyek dari pembangunan embung tersebut.

Pemeliharaan Embung adalah kegiatan yang tidak boleh diabaikan karena embung akan mengalami kerusakan dari waktu ke waktu dimana kerusakan kecil akan dapat berkembang menjadi kerusakan yang besar apabila tidak cepat ditangani . Program pemeliharaan yang baik akan mencegah embung dari kerusakan, meningkatkan umur embung serta menjaga struktur bangunan tetap aman. Semua komponen dan peralatan pendukungnya sebaiknya dilakukan inspeksi dan pemeliharaan secara rutin seperti yang ditunjukkan di bawah :

### 6.5.1 Tanggul (*Embankment*)

Perawatan tubuh tanggul meliputi perawatan terhadap tumbuh-tumbuhan serta binatang-binatang yang dapat mengakibatkan kerusakan pada tubuh tanggul serta kerusakan-kerusakan yang terjadi meliputi:

- Pengontrolan tumbuhan-tumbuhan disekitar bendung dilakukan dua kali per tahun atau lebih dengan cara :
  - ☑ Memotong rumput untuk mempertahankan penglihatan permukaan embung dan menghapus vegetasi berkayu yang berjarak 25 meter dari semua komponen embung.
  - ☑ Menjaga ketinggian rumput tidak lebih dari 20 cm.
  - ☑ Menjaga kesehatan rumput untuk mencegah erosi dan pertumbuhan vegetasi berkayu.
- Pengontrolan binatang pengerat (*Rodent Control*) dilakukan sebulan sekali atau lebih dengan jalan :
  - ☑ Pengasapan liang binatang (*fumigate burrow*)
  - ☑ Perangkap atau membasmi tikus
  - ☑ Mengsisi seluruh liang dengan bahan isi
- Perawatan jalan yang berada dibagian atas tubuh embung dilakukan setahun sekali atau lebih.
  - ☑ Pelapisan kembali terhadap lapisan-lapisan tanah atau asfalt yang mengalami kerusakan akibat gesekan atau termakan oleh umur.
  - ☑ Menjaga ketinggian tanggul sesuai dengan spesifikasi perencanaan
  - ☑ Melaporkan terhadap pemilik embung apabila terjadi pada tubuh embung.
- Perawatan terhadap lapisan pelindung permukaan tubuh embung bagian depan maupun belakang dilakukan setahun sekali atau lebih.
  - ☑ Perbaiki batuan riprap dengan menjaga slope sesuai dengan perencanaan.
  - ☑ Mengganti material lapisan dan riprap yang mengalami kerusakan atau hilang
  - ☑ Membuang tumbuh-tumbuhan berkayu yang ada pada tubuh embung.

### 6.5.2 Bangunan Pelimpah (*Spillway*)

Perawatan bangunan pelimpah (*spillway*) meliputi menghilangkan tumbuh-tumbuhan serta perbaikan kerusakan-kerusakan pada permukaan *spillway* yang ditimbulkan oleh gaya dinamis air yang melaluinya meliputi:

- Mengontrol tumbuh-tumbuhan (untuk darurat rumput berjajar *spillway*) dilakukan setahun dua kali atau lebih
  - Memotong rumput dengan frekwensi dua kali per tahun
  - Menjaga kesehatan rumput untuk mencegah erosi dan pertumbuhan vegetasi berkayu
  - menghilangkan tumbuhan berkayu per tahun
- Perbaikan tanah dilakukan setahun sekali atau lebih
  - Ganti tanah hilang dengan tanah baru yang tidak mengandung vegetasi, bahan organik, sampah atau besar batu
  - Penempatan dan pemadatan lapisan tipis (yaitu, 6-inci)
  - Pemasangan tanah lapisan atas
- Pelindung Erosi dilakukan setahun sekali atau lebih
  - Pemasangan batu, riprap, tumbuh-tumbuhan atau bahan lainnya (misalnya, beton atau aspal) di mana pelindung erosi yang hilang, rusak atau diperlukan
  - Periksa saluran pelimpah hilir untuk bukti dari sedimentasi yang berlebihan atau erosi
- Perbaikan Beton / Batu / *Masonry* dilakukan setahun sekali atau lebih
  - Perbaikan kerusakan yang ada di permukaan beton atau pasangan batu dengan menambah lapisan atau perkuatan
  - Apabila terjadi kerusakan pada beton atau pasangan batu yang ada di *spillway* yang terlalu berat perlu berkonsultasi dengan personil keselamatan embung dan / atau profesional insinyur untuk menentukan perbaikan yang sesuai atau layak
- Membuang sampah dilakukan sebulan sekali atau sebaiknya seminggu sekali
  - Membuang sampah-sampah yang tersangkut di dalam *spillway*

### 6.5.3 *Intake / Outlet Struktur*

Perawatan bangunan pengambilan meliputi perawatan terhadap gangguan yang dari sampah atau kerusakan pada peralatan dan bangunan meliputi :

- *Trashrack* dilakukan setahun sekali atau setelah setiap badai besar
  - Membuang puing-puing sampah dari trashrack
  - Perbaikan bagian berkarat atau rusak sesuai kebutuhan
- Perawatan peralatan mekanikal dilakukan sekali per tahun
  - Pengecekan operasi katup dengan cara membuka dan menutup katup berulang kali.
  - Pelumasan pada mekanisme penggerak sesuai yang direkomendasikan oleh pabrik.
  - Pengecatan dan perlindungan permukaan logam besi jika diperlukan
- *Internal Conduit* dilakukan sekali per tahun

- Pemeriksaan kebocoran atau rembesan pada bagian akhir pipa.
  - Pemeriksaan korosi atau kerusakan pada material saluran.
  - Pengecekan apabila terjadi kerusakan dan melakukan perbaikan dengan bimbingan oleh tenaga ahli.
- Dinding Beton atau Pasangan batu
- Perawatan ini dilakukan sekali per tahun

#### **6.5.4 Dinding Pengaman Tebing**

Perawatan pengaman tebing meliputi perawatan terhadap tumbuh-tumbuhan dan kerusakan struktur meliputi :

- Pengontrolan tumbuh-tumbuhan dilakukan dua kali per tahun
  - Memotong tumbuhan berkayu yang berjarak 25 meter dari bangunan embung yang berpasangan batu atau beton.
  - memotong pepohonan yang tumbuh pada dinding beton atau pasangan batu
- Mengganti batuan yang hilang dilakukan setahun sekali
  - Mengganti pelapis batu yang hilang atau yang tidak lurus yang ada didalam spillway
  - Mengganti pasangan batu yang hilang di depan atau dibelakang dinding.
  - Jangan melakukan penutupan dengan lapisan semen atau pelapis yang lain pada bagian yang terbuka pada dinding atau runtuh tanpa berkonsultasi dengan tenaga yang berpengalaman.

#### **6.5.5 Sarana Penunjang**

- Menjaga rambu-rambu akses kendaraan dan pejalan kaki untuk memungkinkan inspeksi masa depan dan pemeliharaan dilakukan sekali per tahun.
- Periksa pagar, kunci, dan tanda-tanda kerusakan dilakukan sekali per tahun.

#### **6.5.6 Perawatan Rutin**

Salah satu upaya untuk meminimalkan terjadinya kerusakan yang membahayakan embung adalah dengan melakukan perawatan secara rutin. Perawatan rutin sebaiknya dilakukan 1 bulan 1 kali.

Perawatan rutin ini meliputi kegiatan pembersihan semak/rumput disekitar bangunan inti embung, dan pembersihan saringan pasir cepat pada bak penampung.

#### **6.5.7 Pengurangan sedimen**

Pengurangan sedimen secara periodik yaitu  $\pm$  2 tahun sekali dapat dilakukan dengan waktu pengerukan pada akhir musim kemarau. Pengurangan dilakukan dengan pengerukan sedimen di hulu tampungan embung tepatnya di hulu gorong-gorong dari alur sungai yang masuk ke lokasi genangan embung.

## 6.6 Inspeksi

Inspeksi embung secara teratur dan hasil inspeksi terekam atau tercatat dengan baik akan mempermudah didalam melakukan perbaikan atau perawatan embung, karena riwayat hasil inspeksi dan perawatan yang terdahulu akan membantu perbaikan diwaktu berikutnya didalam menentukan penyebab kerusakan.

Sehingga semua inspeksi harus terorganisasi, sistematis dan menggunakan peralatan yang cukup memadai untuk dapat melakukan penyelidikan dengan baik. Peralatan yang digunakan dalam inspeksi antara lain :

- Notebook dan pensil dimana digunakan untuk mencatat hasil penyelidikan lapangan dan mengurangi kesalahan dan kehilangan data.
- Menyiapkan *Checklist* untuk memudahkan dalam pengecekan sehingga tidak terjadi kekurangan data pengecekan.
- *Digital Camera* untuk memotret kondisi lapangan yang ada saat ini
- GPS untuk melakukan pengecekan posisi koordinat
- *Hand Level* untuk menentukan ketinggian embung dan slope dari tubuh embung.
- Meteran *Roll* untuk melakukan pengukuran-pengukuran lapangan jika diperlukan
- Palu inspeksi
- Peralatan pengukur kemiringan, dll.

Inspeksi embung sebaiknya dilakukan dalam dua cara yaitu dalam frekuensi bulanan dan tahunan seperti yang diuraikan dibawah ini :

- Inspeksi Bulanan yang perlu dilakukan adalah :
  - Pencatatan tinggi muka air embung
  - Pengecekan debit yang masuk ke embung
  - Pengecekan debit keluaran dari embung
  - Pengecekan secara visual untuk komponen seperti
  - Puncak bendung meliputi :
    - Pengecekan retakan-retakan yang terjadi pada puncak tubuh embung
    - Pengecekan kelongsoran pada puncak tubuh embung
    - Pengecekan penurunan atau kelurusan puncak tubuh embung
    - Pengecekan terhadap adanya lubang-lubang penurunan setempat (*sink hole*) pada puncak tubuh embung.
    - Pengecekan terhadap tumbuh-tumbuhan yang ada pada puncak tubuh embung.
  - Permukaan bendung bagian depan dan bagian udik dari retakan atau longsor.
    - Pengecekan retakan-retakan yang terjadi pada tubuh embung bagian depan dan belakang
    - Pengecekan kelongsoran pada tubuh embung bagian depan dan belakang

- Pengecekan terhadap adanya lubang-lubang pada tubuh embung bagian depan dan belakang.
- Pengecekan terhadap tumbuh-tumbuhan yang ada pada tubuh embung bagian depan dan belakang
- pengecekan terhadap kelongsoran rip-rap pelindung tubuh embung
- Pengecekan *Spillway* dan Kolam Pemecah Energi terhadap kerusakan yang terjadi
  - Pengecekan retakan-retakan yang terjadi pada bangunan pelimpah/ *spillway*
  - Pengecekan dinding yang ada pada bangunan pelimpah/ *spillway*
  - Pengecekan penurunan lantai atau sambungan yang ada pada bangunan pelimpah/ *spillway*
  - Pengecekan gabion yang ada pada bangunan pelimpah/ *spillway*
  - Pengecekan terhadap tumbuh-tumbuhan yang ada pada bangunan pelimpah/ *spillway*
  - Pengecekan beton dan pasangan batu yang ada pada bangunan pelimpah/ *spillway*
  - Pengecekan tanah yang ada di kanan dan kiri bangunan pelimpah/ *spillway*
- Pengecekan kebocoran pada tubung embung
  - Pengecekan apabila terjadi kebocoran pada tubuh embung
  - Pengecekan debit air yang ada dibelakang tubuh embung
  - Pengecekan saluran drainase yang ada dibelakang tubuh embung
  - Pengecekan terhadap tumbuh-tumbuhan yang ada pada saluran drainase
- Pengecekan Peralatan Pengaman embung
  - Pengecekan pagar-pagar pelindung embung dari kerusakan atau korosi
  - Pemeriksaan *trashrack*
- Pengecekan sistem hidraulik
  - Pengecekan sistem pelumasan pada sistem hidraulik
  - Pengecekan sistem operasi dari pintu atau valve
- Inspeksi Tahunan

Pengecekan keseluruhan komponen dan bangunan embung dimana pengecekan ini hampir sama dengan pengecekan bulanan tetapi lebih detail dan disertai dengan alat bantu atau alat ukur untuk mendeteksi setiap kerusakan yang terjadi.

  - Pengecekan penurunan tubuh embung dengan menggunakan alat ukur.
  - Pengecekan kebocoran atau rembesan yang terjadi di bagian hilir tubuh embung dengan alat ukur
  - Pengecekan saluran pelimpah dan kolam pemecah energi
  - Pengecekan semua sistem operasi pada embung dengan melakukan pengoperasian pada katup.
  - Pengecekan saluran pengambilan dari kebocoran serta debit yang dihasilkan.

- Inspeksi Mendadak

Pengecekan mendadak dilakukan apabila terjadi bencana seperti banjir besar atau gempa dimana pengecekan pada umumnya dilakukan secara visual.

## 6.7 Masalah yang Membahayakan Embung

Beberapa masalah yang membahayakan embung perlu diperhatikan dalam inspeksi, antara lain:

- a) Daerah basah karena rembesan melalui:
  - 1) Urukan tubuh embung
  - 2) Fondasi
- b) Daerah basahan memanjang di tubuh embung
- c) Retakan melintang di tubuh embung
- d) Retakan memanjang di tubuh embung :
  - 1) Yang lurus
  - 2) Yang lengkung
- e) Retakan susut
- f) Erosi alur di tubuh embung
- g) Tumbuhan tinggi di tubuh embung
- h) Tumbuhan tinggi di saluran pelimpah
- i) Runtuhan di saluran pelimpah
- j) Erosi alur di pelimpah
- k) Gerusan lokal di pelimpah

### 6.7.1 Daerah Luas yang Basah Atau Menghasilkan Aliran

- 6) Tanda

Sering ditandai dengan tanaman yang tumbuh lebih subur daripada di tempat lain, dapat terjadi di lereng hilir tubuh embung atau di fondasi hilir.

- 7) Penyebab:

Rembesan melalui tubuh embung atau fondasi.

- b) Tindakan:

- 1) Singkirkan tanamannya dan amatilah permukaan tanahnya.
- 2) Bila daerahnya basah laporkan segera kepada Dinas Pengairan setempat.

- c) Akibat:

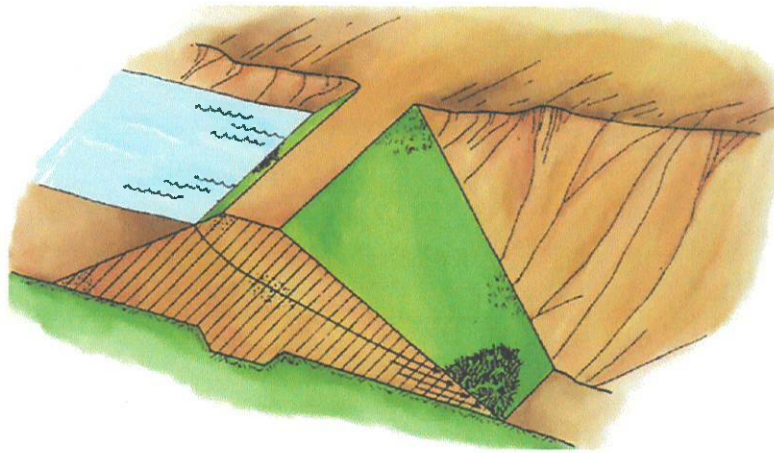
Daerah tanaman yang basah dapat menyebabkan terjadinya longsoran lokal (*sloughing*) karena jenuh.

- d) Teknik perbaikan

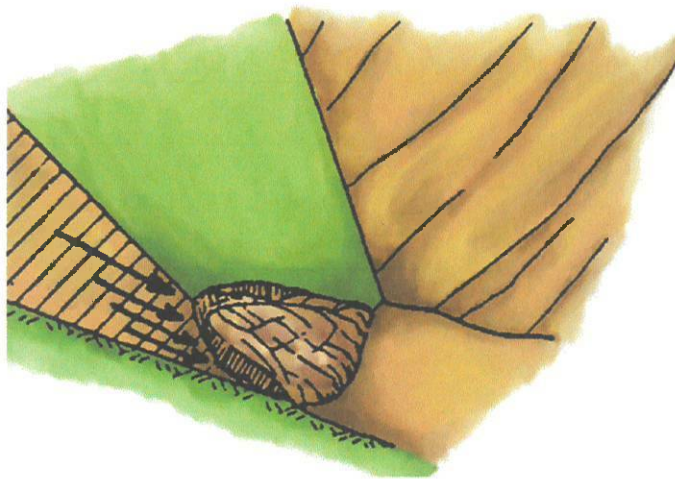
Di sekitar daerah basah perlu ditutup dengan urukan beban pengimbang (*counterweight*) lurus air yang landai.

Struktur urukan sebagai berikut :

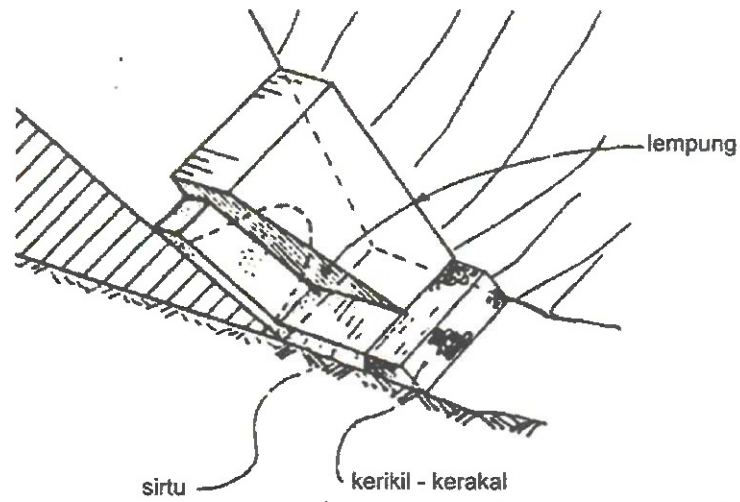
- 1) Paling bawah, langsung menutup daerah basah, urukan sirtu (campuran pasir-batu) atau pasir.
- 2) Di atas lapisan sirtu (pasir) adalah ditimbuni lapisan lempung dipadatkan.
- 3) Kaki luar beban pengimbang berupa urukan kerikil – kerakal.



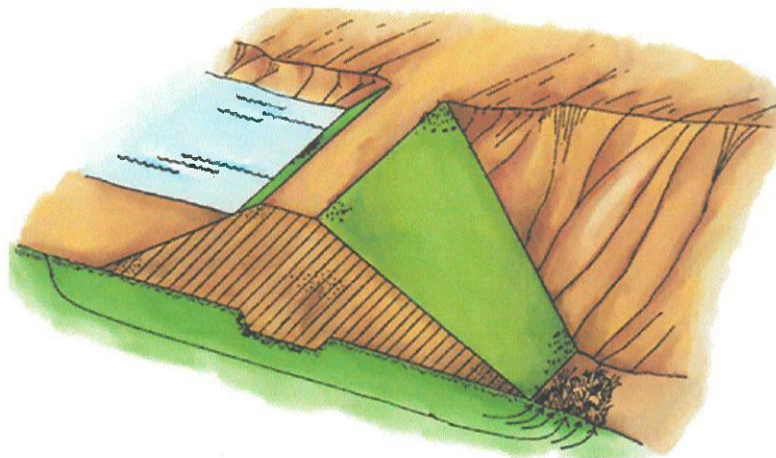
**Gambar 48 Rembesan dalam urukan**



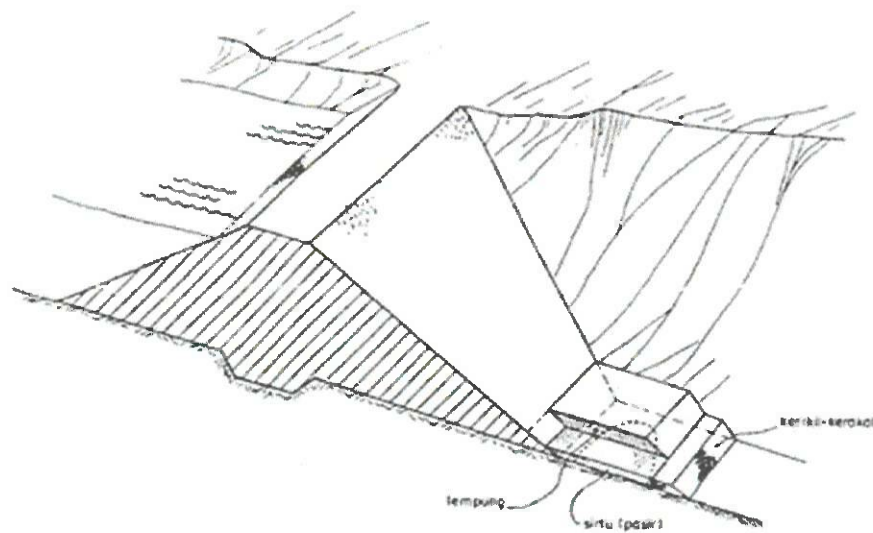
**Gambar 49 "Sloughing" (Longsor Lokal)**



**Gambar 50 Teknik perbaikan rembesan dalam urukan dan longoran**



**Gambar 51 Rembesan lewat fondasi**



**Gambar 52 Teknik perbaikan rembesan lewat fondasi**

### 6.7.2 Deretan Mata Air Atau Basahan di Lereng Hilir Tubuh Embung

a) Tanda:

Mata air atau basahan terjadi secara memanjang, relatif sempit, dan berarah horizontal.

b) Penyebab:

Adanya lapisan urukan lulus air di antara urukan lempung, sehingga terjadi rembesan.

c) Tindakan:

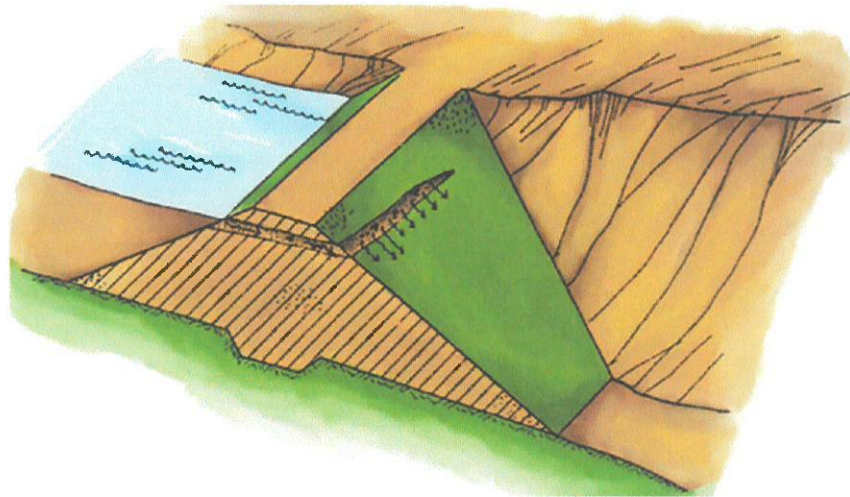
Laporkan kepada Dinas setempat yang terkait.

d) Akibat:

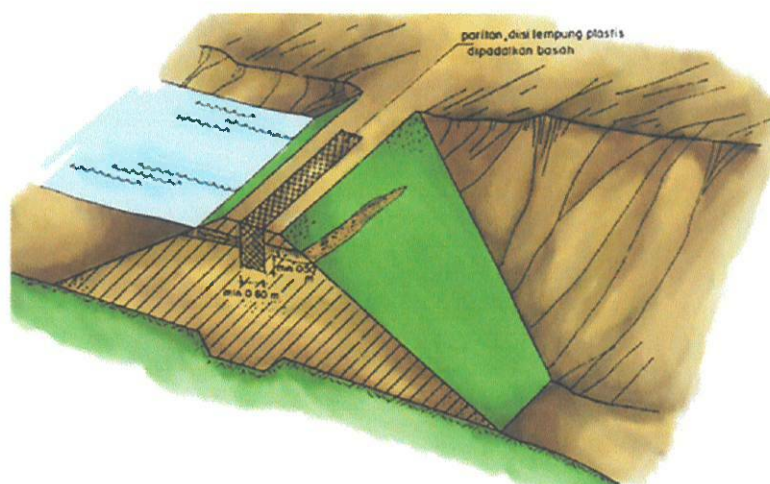
- 1) Erosi buluh pada lapisan lulus air, dan selanjutnya merusakkan tubuh embung.
- 2) Bocoran (kehilangan) air kolam/ tampungan.

b) Teknik perbaikan:

- 1) Buat paritan sejajar sumbu embung, dari puncak embung vertikal ke bawah menembus lapisan lulus air, lebar parit minimal 0,6 m, dasar parit mencapai minimal 0,5 m di bawah lapisan lulus air,
- 2) Isilah paritan dengan bahan lempung plastis yang dipadatkan dalam keadaan basah.



**Gambar 53 Daerah basahan/mata air memanjang**



**Gambar 54 Teknik perbaikan daerah basahan**

### 6.7.3 Retakan Melintang

a) Tanda:

- 1) Retakan terbuka di puncak embung, dari hulu ke hilir.
- 2) Air dapat mengalir dari kolam embung ke lereng hilir, sehingga terlihat sebagai mata air.

b) Penyebab:

Penurunan urukan tidak merata.

c) Tindakan:

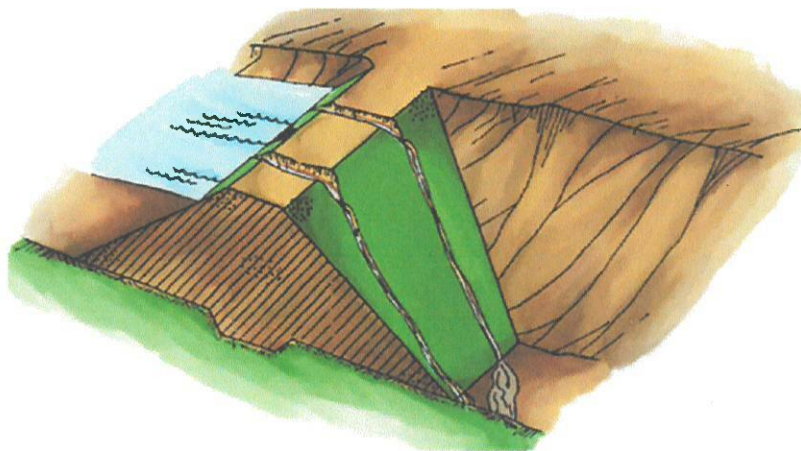
Laporkan kepada Dinas setempat yang terkait.

d) Akibat:

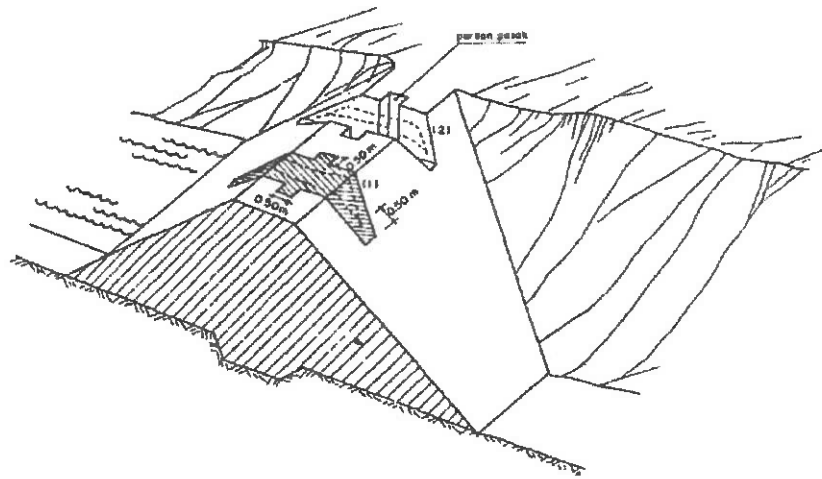
- 1) Erosi dapat memperlebar dan memperdalam retakan,
- 2) Air hujan dapat merembes dan menjenuhkan tubuh embung,
- 3) Bocoran (kehilangan) air dari kolam.

e) Teknik Perbaikan:

- 1) Buat paritan sepanjang retakan dan buatlah parit pasak di tengahnya,
- 2) Isi parit dengan urukan lempung plastis yang dipadatkan dalam keadaan basah.



**Gambar 55 - Retakan Melintang**



**Gambar 56 - Teknik Perbaikan Retakan Melintang**

#### **6.7.4 Retakan Memanjang Lurus Atau Lengkung di Tubuh Embung**

a) Tanda:

Retakan di puncak embung sejajar sumbu biasanya terbuka lebar dan dalam.

b) Penyebab:

- 1) Bila lurus merupakan penurunan tidak merata, misal antara zona urukan,
- 2) Bila lengkung merupakan awal longsoran.

c) Akibat:

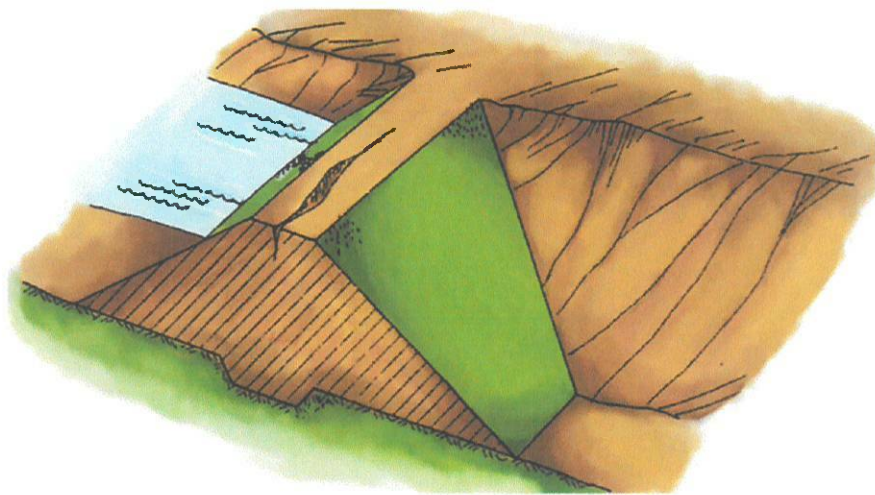
Air hujan dapat merembes dan menjenuhkan urukan serta dapat memicu terjadinya longsoran.

d) Tindakan:

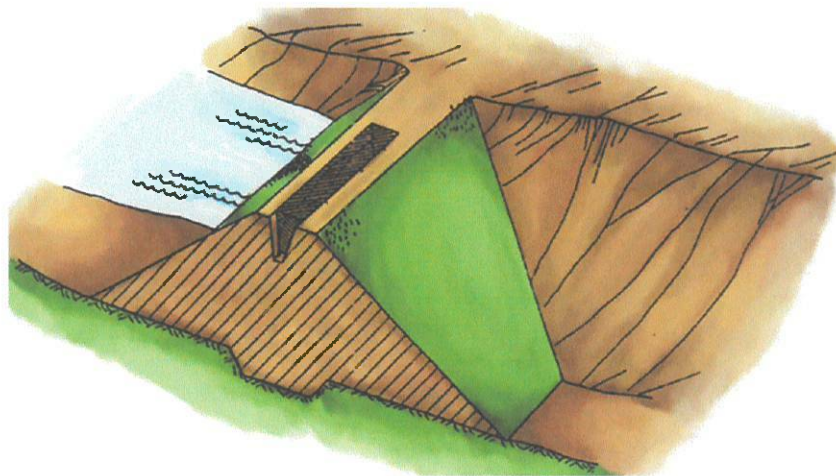
Laporkan kepada Dinas setempat yang terkait.

e) Teknik Perbaikan:

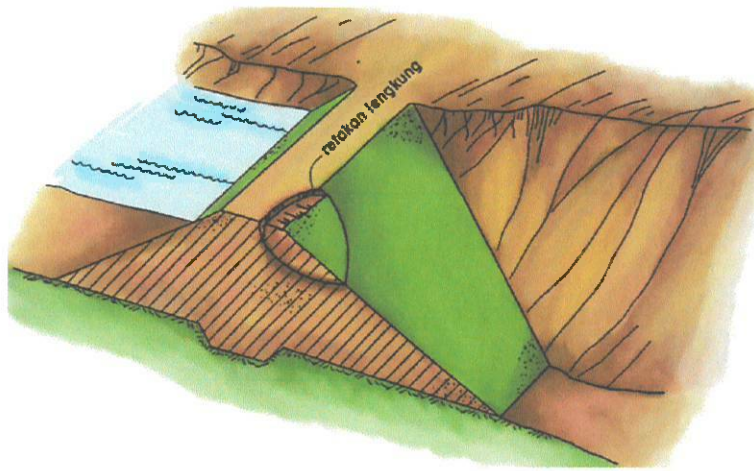
- 1) Retakan lurus,
- 2) Buat paritan dan isi dengan lempung plastis dipadatkan basah,
- 3) Retakan lengkung,
- 4) Kupas sampai ke dasar gerakan, dan isi kembali dengan bahan yang sesuai dan dipadatkan dengan baik.



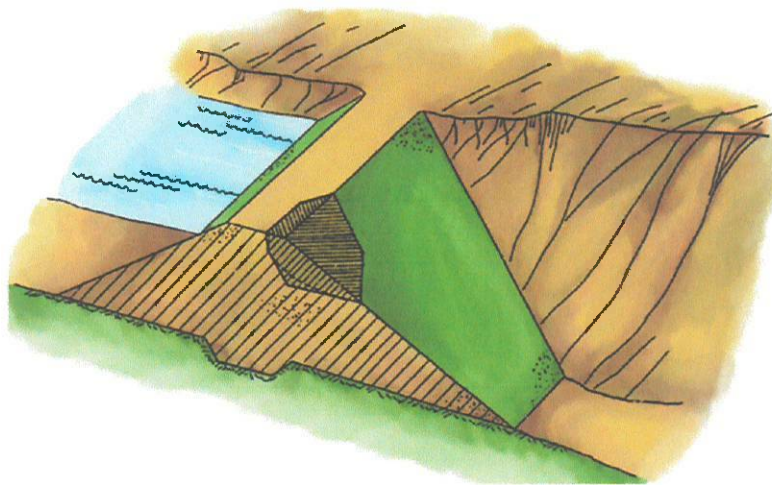
**Gambar 57 - Retakan memanjang lurus**



**Gambar 58 - Teknik perbaikan memanjang lurus**



**Gambar 59 - Retakan memanjang lengkung**



**Gambar 60 - Teknik perbaikan retakan memanjang lengkung**

#### **6.7.5 Retakan Susut di Tubuh Embung**

a) Tanda:

Retakan biasanya pendek, dangkal, sempit, banyak, dan berarah tidak teratur.

b) Penyebab:

Perubahan kadar air terutama karena panas matahari.

c) Akibat:

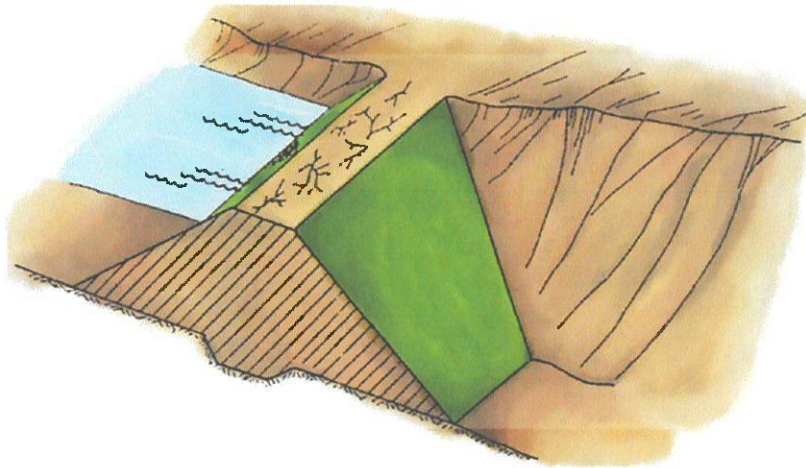
Meresapkan air hujan ke dalam urukan.

d) Tindakan:

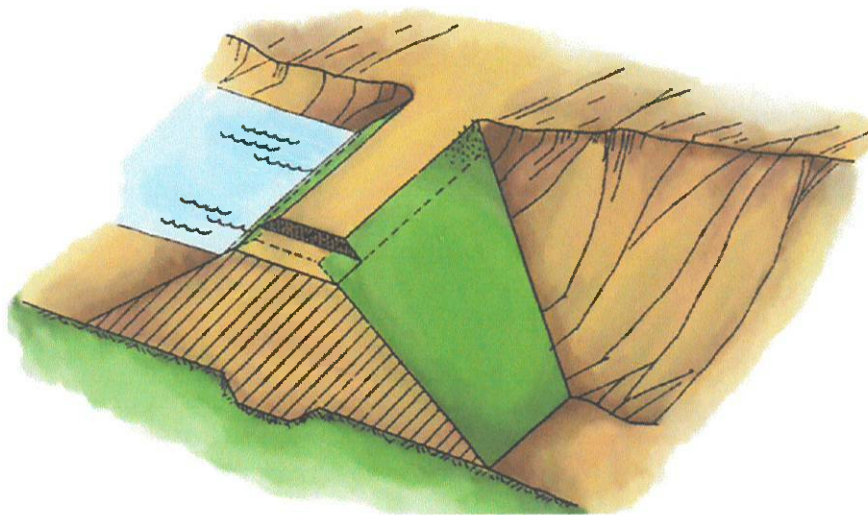
Laporkan kepada Dinas setempat yang terkait.

e) Teknik Perbaikan:

Kupas lapisan permukaan, dan urug kembali dengan bahan bukan lempung seperti: sirtu, pasir.



**Gambar 61 - Retakan susut**



**Gambar 62 - Teknik perbaikan retakan susut**

### 6.7.6 Erosi Alur di Tubuh Embung

a) Tanda :

Adanya alur bekas erosi di lereng tubuh embung dari puncak ke bawah, biasanya makin ke bawah makin lebar.

b) Penyebab :

- 1) Pelindung erosi tidak berfungsi baik (rumput atau pelindung yang lain),
- 2) Muka lereng tidak merata, sehingga permukaan yang rendah menjadi jalan air hujan.

c) Akibat :

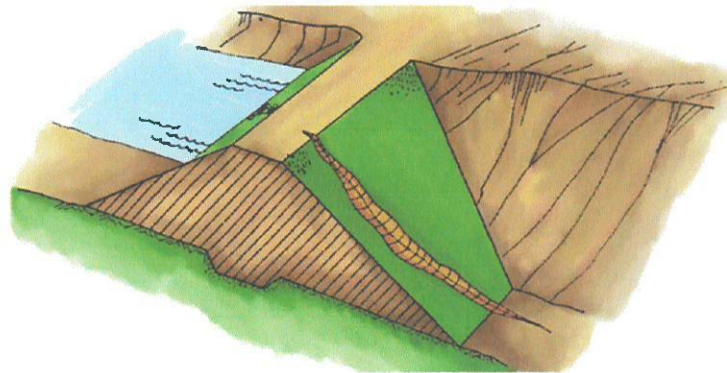
Bila dibiarkan alur dapat semakin dalam dan lebar sehingga dapat mengurangi tinggi jagaan, mengurangi lebar tubuh embung dan merusak jalan di puncak.

d) Tindakan:

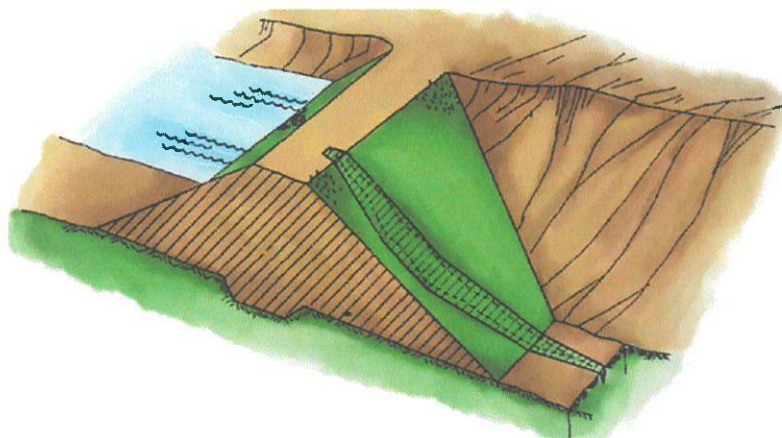
Laporkan kepada Dinas setempat yang terkait.

e) Teknik Perbaikan:

- 1) Bersihkan alur dan urug kembali dengan bahan sejenis,
- 2) Ratakan muka lereng tubuh embung.



**Gambar 63 - Alur erosi di tubuh embung**



**Gambar 64 - Teknik perbaikan erosi di tubuh embung**

### 6.7.7 Tumbuhan Tinggi di Tubuh Bendung Embung

a) Tanda:

Tanaman yang tumbuh tinggi lebih dari 0,50 m dapat berupa: rumput, semak, tanaman keras.

b) Penyebab:

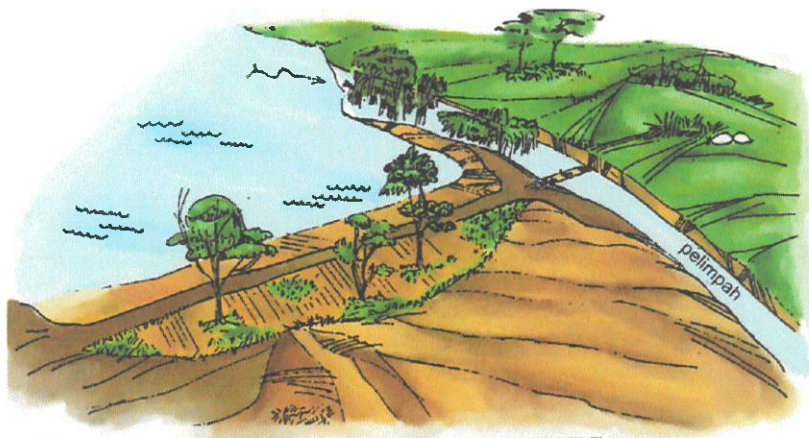
Perbedaan benih vegetasi dan pemeliharaan kurang memadai

c) Akibat:

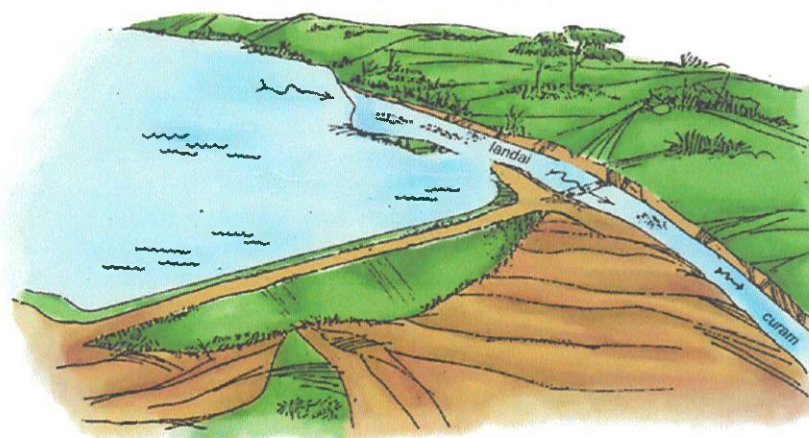
- 1) Menyulitkan pengamatan visual (inspeksi)
- 2) Akar tanaman dapat menembus tubuh embung, sehingga menjadi lintasan air.

d) Tindakan:

- 1) Singkirkan semua jenis tanaman yang (dapat) tumbuh lebih dari 0,50 m termasuk akarnya,
- 2) Buang bongkaran tanaman ke luar daerah embung,
- 3) Tanam rumput di tempat bekas tanaman.



**Gambar 65 - Tumbuhan Tinggi di Tubuh Embung dan Pelimpah**



**Gambar 66 - Tubuh embung dan saluran pelimpah setelah dibersihkan dari tumbuhan tinggi**

### 6.7.8 Runtuhan di Saluran Pelimpah

a) Tanda :

Tumpukan tanah menutup sebagian atau seluruh saluran pelimpah.

b) Penyebab :

- 1) Hasil erosi dari lereng saluran atau bukit di atasnya,
- 2) Longsoran tebing saluran.

c) Akibat :

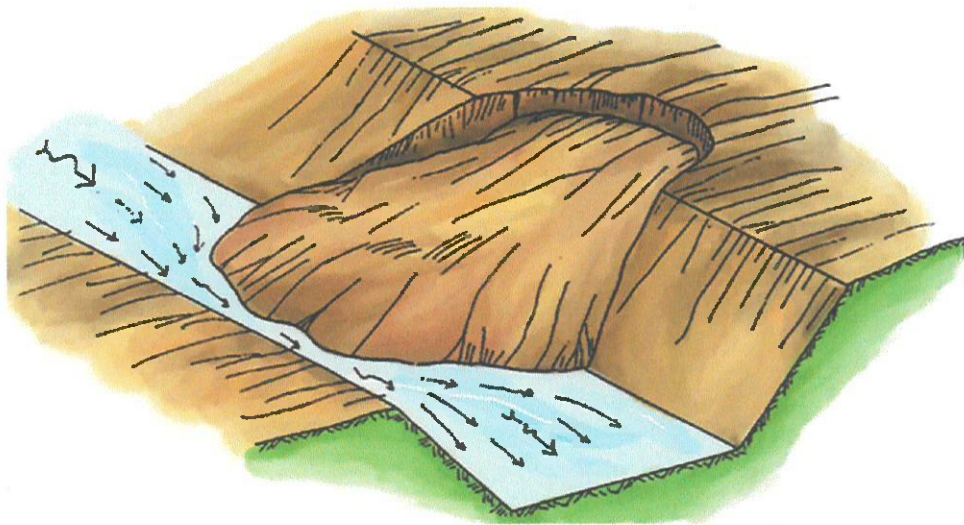
Menghalangi aliran banjir sehingga dapat menyebabkan peluapan pada puncak embung.

d) Tindakan :

- 1) Buang tumpukan tanah ke luar saluran pelimpah sehingga tidak akan terangkut aliran kembali ke pelimpah,
- 2) Kalau tumpukan tanah merupakan longsoran laporkan ke Dinas setempat yang terkait.

e) Teknik Perbaikan :

- 1) Bila longsoran, buang runtuhannya hingga ke bidang gerakan,
- 2) Isi kembali galian tersebut dengan tanah yang sesuai untuk urukan dan dipadatkan.



**Gambar 67 - Runtuhan menutup saluran pelimpah**

### 6.7.9 Alur Erosi di Pelimpah

a) Tanda :

Adanya alur bekas erosi di dasar saluran pelimpah berarah sejajar sumbu saluran luncur pelimpah.

b) Penyebab :

- 1) Proteksi erosi kurang berfungsi,
- 2) Dasar saluran kurang rata.

c) Akibat :

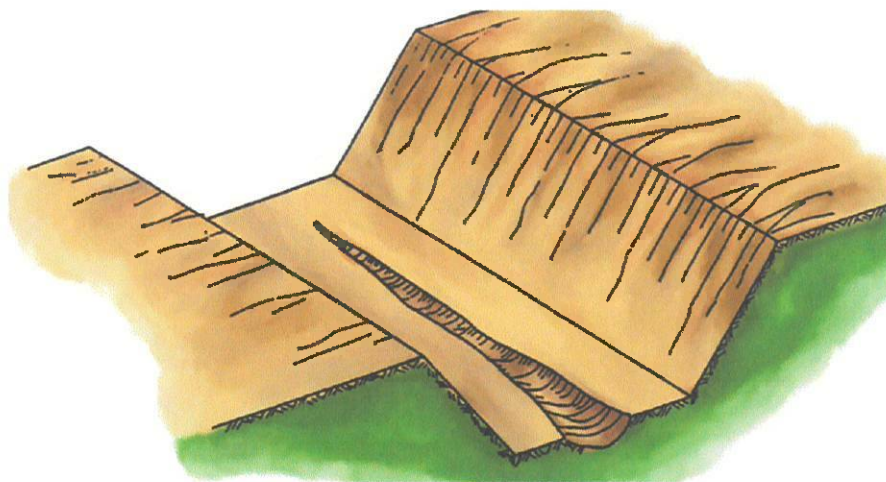
- 1) Alur erosi berkembang makin lebar, makin dalam, dan makin panjang menuju ke hulu,
- 2) Dapat mengakibatkan longsoran,
- 3) Bila berkembang ke hulu hingga ke kolam embung akan mengakibatkan kehilangan air karena daya tampung embung berkurang.

d) Tindakan :

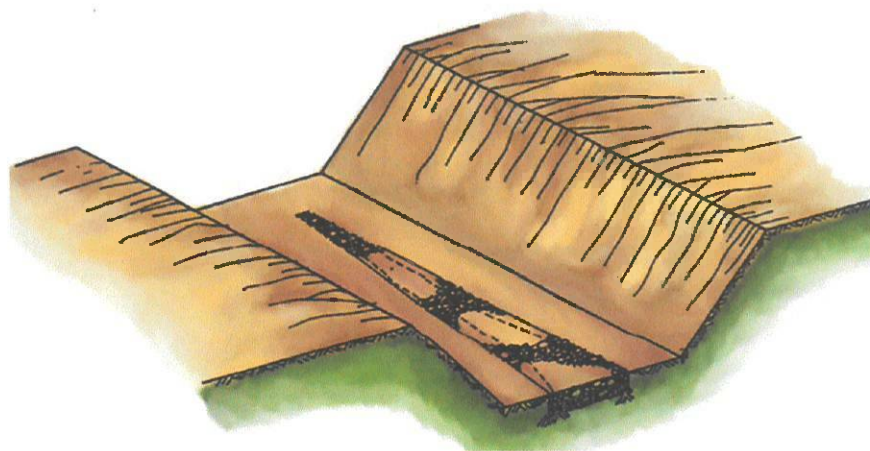
Laporkan kepada Dinas setempat yang terkait.

e) Teknik Perbaikan :

- 1) Tutuplah alur dengan bahan kerikil – kerakal,
- 2) Ratakan dasar saluran pelimpah.



**Gambar 68 - Alur erosi di pelimpah**



**Gambar 69 - Teknik perbaikan erosi di pelimpah**

#### **6.7.10 Gerusan Lokal di Pelimpah**

a) Tanda :

Lubang setempat di dasar pelimpah, biasanya dalam, area terbatas, dan membentuk tangga (kaskade).

b) Penyebab :

- 1) Proteksi erosi kurang memadai,
- 2) Dasar saluran tidak rata, sedikit membentuk tangga.

c) Akibat :

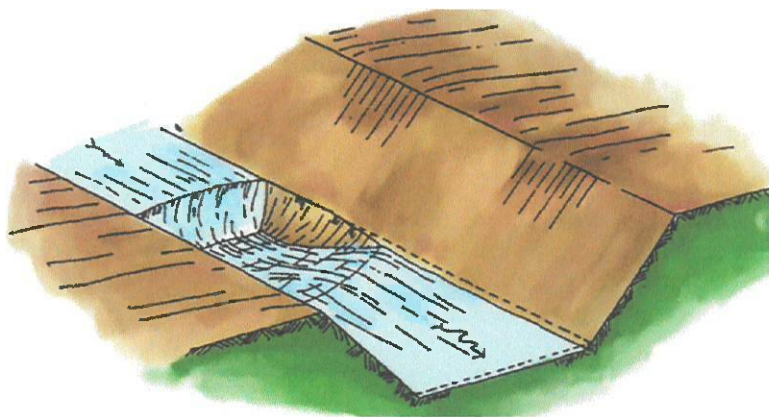
- 1) Gerusan dapat makin dalam sehingga dapat mengakibatkan longsor,
- 2) Gerusan dapat berkembang ke hulu, sehingga dapat membahayakan tubuh embung, dan bila mencapai kolam dapat mengakibatkan kehilangan air karena daya tampung embung berkurang.

d) Tindakan :

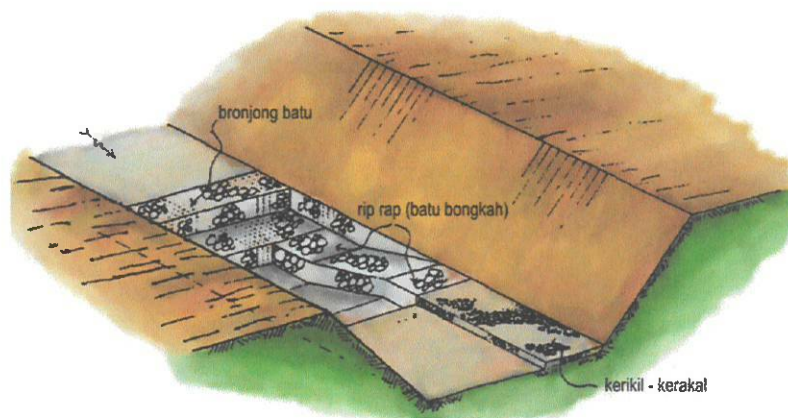
Laporkan kepada Dinas setempat yang terkait.

e) Teknik Perbaikan :

- 1) Tutuplah lubang dengan batu ukuran bongkahan,
- 2) Bila perlu gunakan beronjong.



**Gambar 70 - Gerusan lokal di pelimpah**



**Gambar 71 - Teknik perbaikan gerusan lokal di pelimpah**

## 6.8 Instrumentasi

Instrumentasi embung adalah segala jenis peralatan atau instrument yang dipasang di dalam tubuh dan atau fondasi embung atau di tempat-tempat lain yang terutama dimaksudkan untuk melakukan pemantauan terhadap perilaku embung secara berkesinambungan.

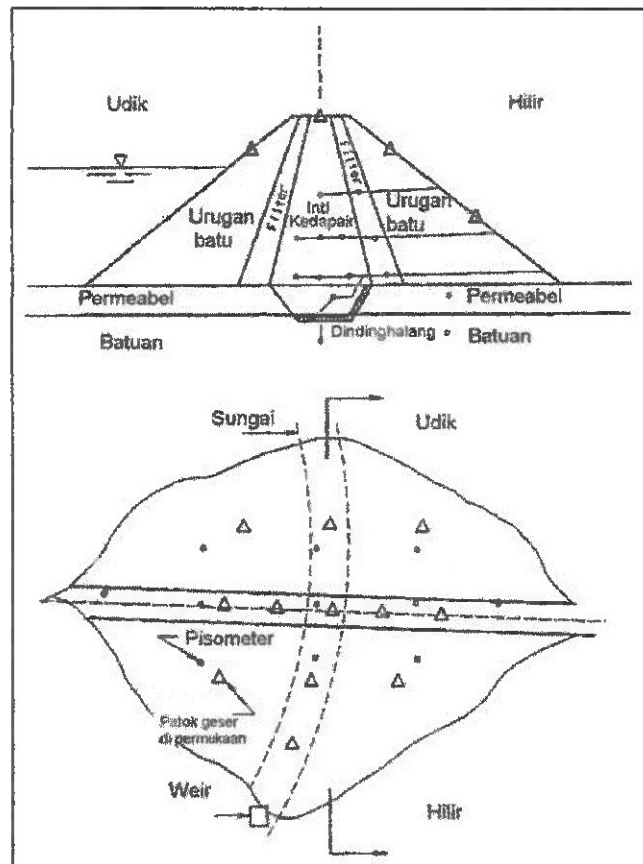
Kegagalan embung bisa dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kategori, yaitu kegagalan hidrolis, kegagalan akibat rembesan dan kegagalan structural. Kegagalan tersebut bisa diakibatkan oleh faktor-faktor internal, eksternal atau keduanya yang dapat menyebabkan terjadinya deformasi pada tubuh maupun fondasi embung. Deformasi dapat terjadi akibat proses konsolidasi dan atau rayapan jangka panjang yang seringkali ditunjukkan atau didahului oleh adanya kelainan atau kenampakan-kenampakan yang dinilai menyimpang dari kebiasaan (kecenderungan) yang ada. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem dan metode pemantauan untuk mengetahui perubahan atau perkembangan perilaku embung setiap saat.

Instrumentasi ini khususnya diperlukan untuk embung di dalam alur sungai dengan tipe urugan. Beberapa instrumentasi yang diperlukan adalah alat ukur tekanan air pori, alat ukur rembesan, dan alat ukur pergerakan.

### a. Lokasi Instrumen

Lokasi instrumen harus ditentukan berdasarkan perkiraan perilaku pada lokasi yang ditentukan. Lokasi harus cocok dengan kondisi geoteknik dan metode analisis yang akan digunakan untuk interpretasi data. Pertimbangan praktis untuk memilih lokasi instrumen mencakup:

- 1) Identifikasi zona-zona bagian khusus misalnya daerah yang strukturnya lemah yang dibebani sangat berat, harus ditempatkan instrumentasi yang cocok.
- 2) Memilih zona yang dapat mewakili penampang melintang tipikal, yang diperkirakan dapat mewakili perilaku keseluruhan (secara tipikal, satu penampang melintang akan berada atau mendekati tinggi maksimum embung, dan satu atau dua penampang lainnya akan berada pada lokasi yang tepat).
- 3) Identifikasi zona-zona yang mengandung diskontinuitas dalam fondasi.
- 4) Memasang beberapa instrumen tambahan pada lokasi-lokasi lain yang berpotensi kritis sekunder untuk menunjukkan perilaku pembandingan.
- 5) Menempatkan patok-patok tanda survei pada jarak interval dalam arah memanjang (longitudinal) pada elevasi yang tepat.
- 6) Jika perilaku dari salah satu atau lebih lokasi sekunder penampang utama menunjukkan perbedaan yang signifikan, tenaga ahli desain juga harus menyediakan instrumen tambahan pada lokasi-lokasi sekunder tersebut. Pemilihan lokasi tersebut harus mempertimbangkan kelangsungan fungsi instrumen. Kerusakan pada instrumen atau kabel selama konstruksi berlangsung harus dicegah dengan cara membuat desain yang baik serta perlindungan sementara dan permanen pada bidang permukaan terbuka. Perlindungan terhadap kerusakan juga harus merupakan bagian dari desain.



Gambar 72 Contoh Lay Out Penempatan Instrumen pada Embung

**b. Kalibrasi Instrumen**

Kalibrasi instrument adalah mencocokkan kinerja dan ketepatan pembacaan instrumen dengan peralatan standar. Selain penerapan parameter-parameter tertentu dan terukur sesuai standar, kalibrasi dapat pula berarti pengujian awal fungsi instrument yang dilakukan segera setelah instalasinya. Secara umum, kalibrasi instrumentasi dilakukan dalam 3 tahap, yaitu:

- 1) **Kalibrasi Pabrik** yang dilakukan sebelum pengiriman instrument kepada calon pengguna. Kalibrasi ini seringkali tidak diberikan oleh Pabrik secara otomatis, oleh karena itu harus diminta/disebutkan di dalam dokumen pembelian, termasuk jaminan mutu dan pelayanan purna jualnya.
- 2) **Kalibrasi Lapangan** yakni pada saat instrument diserahkan/diterimakan kepada pengguna. Bila tidak dapat dilakukan secara komprehensif, kalibrasi ini bisa berupa uji pembacaan/pengukuran segera setelah instrument terpasang.
- 3) **Kalibrasi Penggunaan** yang dilakukan dalam rangka mengecek fungsi dan ketepatan pembacaan intrumen selama masa penggunaannya dan bisa dilakukan secara insitu atau dibawa ke Laboratorium dengan jadwal yang teratur.

**c. Perawatan Instrumen**

Berikut ini adalah hal-hal yang perlu dicermati dalam merawat instrument:

- 1) Instrumen harus diusahakan tetap bersih dan kering agar dapat berfungsi lama dan dapat diandalkan.
- 2) Bagian-bagian tertentu yang bergerak/berputar harus dibersihkan dan diminyaki secara teratur pada selang waktu tertentu.

- 3) Pita-pita ukur harus dicuci setelah digunakan agar terhindar dari bahan-bahan pengikis dan/atau bahan-bahan kimia yang dapat menyebabkan karat.
- 4) Baterai (aki) yang digunakan untuk peralatan baca harus diupayakan agar tidak mati dengan cara mengecek/mengisi air aki secara teratur. Hal ini untuk mencegah pengaruhnya terhadap memori pembacaan.
- 5) Tutup dan sumbat yang digunakan pada peralatan baca harus dibersihkan dan diganti, yakni apabila peralatan sedang tidak digunakan.
- 6) Komponen-komponen elektrik dan menarik pada peralatan baca, hendaknya dijaga secara hati-hati, baik penempatan/penyimpanannya, pengangkutannya maupun instalasinya.

### 6.8.1 Alat Ukur Tekanan Air Pori

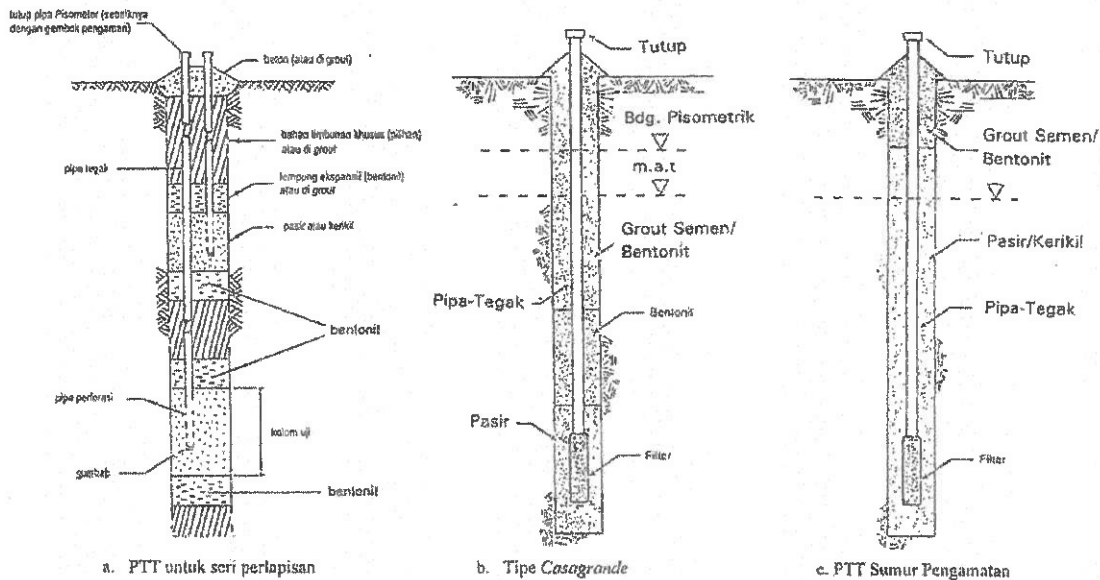
Pisometer digunakan untuk mengukur tekanan air pori pada batuan fondasi embung pada umumnya berupa tekanan air pori antara lain digunakan untuk menentukan stabilitas lereng timbunan, memantau efektifitas dan kualitas sistem drainase dan pemadatan, efektifitas upaya penurunan muka air tanah pada penggalian, pemantauan rembesan dan gerakan air tanah, dan lain-lainnya.

Selain untuk mengukur tekanan air pori, Pisometer jenis Pipa Tegak Terbuka dapat digunakan pula untuk menentukan angka permeabilitas material di sekitarnya. Terdiri atas serangkaian pipa-pipa PVC berdiameter 0,5 inci yang dimasukkan ke dalam lubang bor. Bagian bawah rangkaian pipa dapat berupa pipa bercelah (jenis Pipa-Celah), berpori (jenis Pipa Pori-Pori) atau dilengkapi dengan TIP dari bahan filter. Ujung atas selain dilindungi dengan pipa-lindung jenis galvanis atau dicor dengan beton, juga dilengkapi dengan tutup pengaman.

Akibat tekanan air pori di sekitar pisometer, air dapat masuk ke dalam rangkaian pipa lewat celah-celah, lubang pori atau TIP, hingga tercapai keseimbangan antara tekanan air di dalam dan di luar pipa. Besarnya tekanan air pori di tempat tersebut kemudian dapat diukur dengan menggunakan alat/pita ukur atau dengan alat duga elektrik yang dihubungkan dengan sistem bunyi, lampu atau dengan *voltmeter*. Di bawah ini adalah gambar dari jenis-jenis pipa tegak terbuka dengan keterangan sebagai berikut.

- Gambar a adalah tipikal jenis Pipa-Celah atau Pipa-Pori yang khusus didesain untuk mengukur tekanan air pori dari berbagai lapisan tanah/batuan.
- Gambar b adalah jenis Tip dari filter yang lebih dikenal dengan jenis Casagrande
- Gambar c adalah jenis Tip dari filter yang sering digunakan untuk sumur-sumur pengamatan.

Pada lapisan kedap air, respons pengukuran pada awal pembacaan biasanya dipercepat dengan cara mengisi rangkaian pipa dengan air sampai ke elevasi tertentu, kemudian dilakukan pembacaan penurunan muka air pada selang-selang waktu yang sudah ditentukan untuk menentukan kapan atau pada elevasi berapa tercapainya keseimbangan. Mengingat lokasi TIP berada di dalam timbunan, maka perawatan Pisometer ini sebatas pada pembersihan Probe (alat ukur) dan baterai.



**Gambar 73 Jenis-jenis Pipa Tegak Terbuka**

Cara pemasangan biasanya dilakukan dengan bantuan mesin bor, tetapi ada juga dapat ditekan ke dalam lapisan tanah yang lunak. Tekanan air pori dihitung sebagai perbedaan elevasi muka air di dalam pipa dengan elevasi mata pisometer, yang diukur secara manual menggunakan alat ukur (dipmeter).

### 6.8.2 Alat Ukur Rembesan

Pengukuran atau pemantauan rembesan lewat fondasi, tubuh dan kedua bukit tumpuan embung, baik kualitas maupun kuantitasnya, merupakan salah satu hal penting dalam rangka mengetahui kondisi umum kaitannya dengan stabilitas embung. Oleh karena itu, desain embung pada umumnya telah mencakup sistem drainase, sistem penampungan berikut pengukurannya. Sistem penampungan tersebut bisa dibuat per bagian sesuai dengan bentuk topografi fondasi embung atau dengan membuat dinding-dinding sekat (cut off walls).

Pengukuran rembesan lewat saluran pipa atau bak penampungan dapat dilakukan dengan salah satunya adalah menggunakan bendung dengan ambang tajam. Pelat untuk ambang tajam ini biasanya terbuat dari baja tahan karat (*Consteel 316*) atau pelat tembaga dengan ketebalan 1 – 2 mm. Bendung dengan ambang-tajam yang biasa dan sering digunakan adalah jenis V-Notch. Bila laju rembesan berkisar antara 5 – 10 lt/dtk biasanya digunakan jenis V-Notch bersudut 22,5° - 45°, walaupun ada kemungkinan penyumbatan. Titik nol pada mistar ukur untuk berbagi sistem di set pada dasar ambang. Papan duga atau *Peil Schaal* hendaknya terbuat dari enamel atau metal tahan karat. Besarnya air rembesan bisa dihitung dengan menggunakan rumus atau dengan cara mengkonversikan ketinggian limpasan air di atas ambang dengan tabel konversi yang telah tersedia. Untuk itu, dimensi V-Notch, ketebalan dan ketajaman ambang serta tata letak alat-alat ukur harus betul-betul sesuai standar. Bila tidak, debit air limpasan di atas ambang harus dikalibrasi dengan gelas ukur atau wadah terkalibrasi.

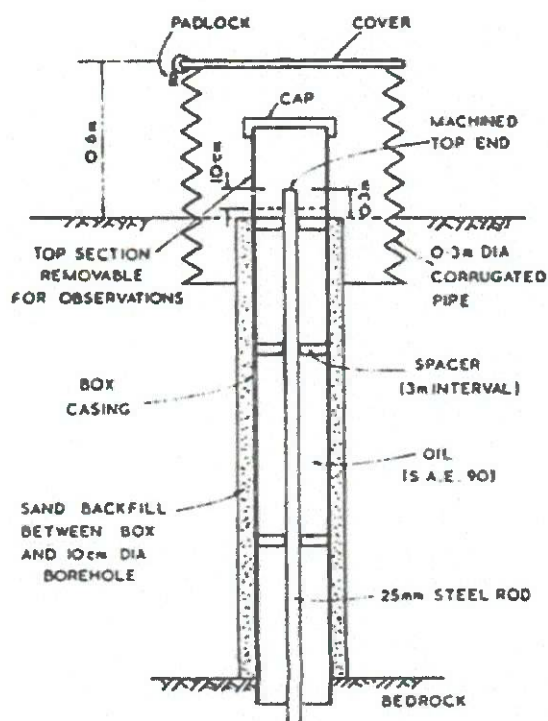


Gambar 74 V-Notch

### 6.8.3 Alat Ukur Pergerakan

Alat ukur pergerakan ini bernama Patok Geser (*Surface Monuments*). Alat ini berupa patok/monument dipasang untuk mengukur pergerakan permukaan tanah (vertical dan horisontal) di sekeliling struktur yang diamati, misalnya di bagian puncak dan lereng embung. Patok/ monument tersebut harus cukup kuat tertanam, stabil dan mudah diakses oleh petugas pengukur.

Alat pengukur pergerakan permukaan atau *Surface Movement Devices (SMD)*, digunakan untuk memantau gerakan horisontal dan vertikal dari embung, fondasi, dan bangunan-bangunan pelengkap lainnya. Instrument ini berupa unit/ alat yang sederhana. Umumnya, terdiri dari beton yang dicor kedalam lubang-lubang bor. Sedangkan baja tulang atau angker diikatkan dalam "Survey Monument" beton. Kedalaman lubang tergantung dari posisinya, tetapi pada umumnya minimum sebesar 1,20 m.



Gambar 75 Patok Geser Permukaan (*Surface Monuments*)

Suatu titik tetap (*Bench Mark*) pada bangunan yang ada (lama) dapat dipakai sebagai titik pengukuran awal (referensi) pada arah horisontal maupun vertikal. Titik-titik tetap tersebut sebagai titik referensi sebaiknya dibuat di luar dari bagian yang masih dapat dipengaruhi oleh pergerakan dari bangunan yang diukur. Paling tidak diperlukan dua buah titik tetap yang secara periodik diperiksa ketelitiannya. Dengan bertambahnya kemandirian di bidang elektronika maka telah ditemukan alat pengukur jarak dan perpindahan horisontal yang lebih teliti. Cara pengukuran dapat dilakukan dengan dengan cara tertutup, yakni melakukan pengukuran terhadap titik-titik SMD yang diikat pada dua titik referensi (BM). Hasil pengukuran pada 3 arah (X,Y dan Z) pada waktu tertentu dapat diketahui dengan membandingkan dengan hasil pengukuran awal yang telah dibuat. Perlu diperhatikan agar di dalam menentukan titik referensi atau titik-titik BM, lokasinya supaya terletak di luar daerah yang di pengaruhi oleh bangunan tersebut

## 6.9 Struktur Organisasi Pelaksana Operasi dan Pemeliharaan

Syarat utama agar operasi dan pemeliharaan suatu embung dapat dilaksanakan secara layak, efektif dan efisien adalah adanya wadah berupa organisasi yang dapat mengatur pemberian tugas dan tanggung jawab yang jelas serta prosedur pelaporan yang teratur.

Organisasi pelaksana O & P juga harus didukung oleh staf pelaksana yang memadai secara kuantitas maupun kualitas. Untuk itu diperlukan suatu program pelatihan berikut pelaksanaannya serta didukung dengan sarana dan peralatan yang dibutuhkan guna menunjang pelaksanaan tugas personil pelaksana O & P di lapangan. Jenis dan periode pelatihan yang sesuai perlu dijadwalkan dalam rangka menjaga dan meningkatkan kemampuan personil yang bersangkutan.

Bagian-bagian yang terlibat dan terkait dalam organisasi pelaksana O & P Embung antara lain adalah:

- 1) Bagian Operasional (termasuk Sekuriti)
- 2) Bagian Pemeliharaan Bangunan dan Peralatan
- 3) Bagian Pemantauan dan Pengamatan Embung dan Bangunan

Secara umum, personil pelaksana O & P Embung dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok personil sebagai berikut:

- 1) Personil Tetap : Untuk melaksanakan kegiatan rutin operasi, pemeliharaan, pemantauan dan pengelolaan embung, termasuk di dalamnya petugas sekuritu embung.
- 2) Peronil Tidak Tetap : Adalah "pekerja lepas" atau sebagai kontraktor dana tau sub-kontraktor yang melaksanakan sejumlah kegiatan yang berhubungan dengan pekerjaan pemeliharaan/perbaikan.

## **6.10 Perencanaan Biaya O & P Embung**

Biaya O & P Embung adalah segala biaya yang dibutuhkan/dikeluarkan untuk membiayai kegiatan O & P Embung dalam rangka mengoptimalkan fungsi dan manfaat Embung berikut bangunan prasarannya sesuai dengan umur layanan yang telah direncanakan serta menjaga kondisi keamanannya.

Besarnya biaya pokok O & P Embung tergantung kepada dimensi, kondisi dan umur embung beserta bangunan pelengkap dan prasarana lainnya. Dalam rangka menunjang program keamanan embung secara berkesinambungan dan sekaligus menjaga konsistensi layanan operasionalnya, maka perencanaan biaya O & P embung perlu disiapkan untuk jangka panjang.

Biaya O & P embung biasanya dihitung berdasarkan komponen-komponen yang secara teknik memang memerlukan pemeliharaan. Pada periode-periode tertentu, biaya O & P tahunan embung biasanya meningkat sebagai akibat dari adanya penyusutan, keausan atau kerusakan yang terjadi seiring dengan bertambahnya umur layanannya. Oleh karena itu, biaya pokok tersebut harus ditinjau dan dievaluasi lagi, biasanya setiap tahun oleh personil O & P dan atau setiap periode yang dilaksanakan oleh unit yang memonitor keamanan embung.

Perhitungan dan perencanaan biaya O & P embung untuk setiap tahunnya dapat dilakukan dengan cara membuat daftar atau melakukan inventarisasi terhadap komponen-komponen pokok yang perlu mendapatkan perbaikan, pemeliharaan dan perawatan secara kontinyu, termasuk jenis dan metode pemeliharaan dan atau perbaikan yang akan dilakukan. Evaluasi biaya yang dibutuhkan mencakup biaya langsung dan tak langsung serta biaya tak terduga, sebagai berikut:

### **1) Biaya Langsung**

Biaya langsung adalah segala biaya yang disediakan dan akan digunakan untuk keperluan operasi dan pemeliharaan embung, antara lain untuk:

- Biaya perawatan /pemeliharaan rutin embung serta bangunan pelengkap dan prasarana lainnya.
- Biaya untuk Operasi dan Pemeliharaan Peralatan.
- Biaya untuk kegiatan pemantauan dan pengamatan, termasuk pembacaan dan perawatan sistem instrumentasi.
- Biaya untuk Upah dan Gaji karyawan, termasuk upah biaya untuk pengawasan.
- Biaya pembelian/penggantian peralatan dan bahan-bahan.
- Biaya untuk pekerjaan perbaikan dan atau rehabilitasi.
- Biaya untuk program pelatihan personil O & P.
- Dan lain-lain.

### **2) Biaya Tak Langsung**

Adalah segala biaya yang disediakan untuk menunjang kelancaran pekerjaan dan atau kegiatan yang berkaitan dengan penyelenggaraan O & P embung, yang antara lain terdiri dari:

- Biaya Umum

- Biaya Perjalanan Dinas
- Biaya untuk cadangan/rencana pengembangan/rehabilitasi, dll.
- Depresiasi

### 3) Biaya Tak Terduga

Biaya tak terduga adalah dana yang dialokasikan khusus untuk mengantisipasi segala kejadian di luar perhitungan yang dapat menimbulkan kerusakan sehingga mengganggu kelancaran kegiatan O & P embung beik sebagian (partial) maupun secara keseluruhan. Kejadian di luar perhitungan tersebut diantaranya adalah bencana alam dan vandalisme. Antisipasi besar-kecilnya biaya tak terduga ini antara lain bisa diperkirakan dari berbagai faktor, antara lain seperti:

- Tingkat permasalahan yang dijumpai pada saat penyusunan desain dan pelaksanaan konstruksinya.
- Kondisi geoteknik di lokasi embung dan di sekitar genangan embung.
- Kondisi sosial ekonomi dan budaya masyarakat setempat.
- Kecanggihan teknologi dan kualitas peralatan yang digunakan.

Perencanaan biaya O & P jangka panjang dapat disusun berdasarkan atas *data base* serta asumsi-asumsi program pelayanan dan pengembangan untuk jangka panjang serta prakiraan tingkat inflasi. *Data base* tersebut dapat dibuat berdasarkan pengalaman operasional tahunan serta data aktual biaya pokok rutin O & P embung yang sudah berjalan ditambah pengalaman dari embung-embung lain yang sejenis.

## 7 Perhitungan Volume dan Biaya

Penghitungan Volume dan Biaya mengacu kepada Lampiran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016 Tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum. Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) adalah perhitungan kebutuhan biaya tenaga kerja, bahan dan peralatan untuk mendapatkan harga satuan atau satu jenis pekerjaan tertentu.

Adapun Komponen pekerjaan embung di luar alur sungai yang termasuk dalam pelaksanaan pembangunan embung tipe urukan seperti tabel berikut:

**Tabel 31 - Jenis pekerjaan untuk setiap komponen embung di luar alur sungai**

No	Komponen	Jenis Pekerjaan				
		Tanah	Pasangan	Beton	Dewatering	dll.
1	Tubuh embung	✓			✓	✓
2	Bangunan pelimpah	✓	✓	✓	✓	✓
3	Kolam olak	✓	✓			✓
4	Bangunan pengambilan	✓	✓			✓

## 7.1 Volume Pekerjaan

Untuk mendapatkan besarnya RAB yang telah direncanakan, sebagai langkah awal adalah dengan menghitung volume pekerjaan yang berkaitan dengan pelaksanaan fisik yang akan dilaksanakan.

Untuk perhitungan kuantitas pekerjaan adalah dilakukan dengan menghitung setiap item pekerjaan berdasarkan gambar perencanaan dimana secara umum jenis pekerjaan tersebut adalah :

### 1) Pekerjaan tanah

Perhitungan volume dilakukan berdasarkan rerata luasan data potongan penampang desain tanah dengan dikalikan dengan jarak untuk setiap jenis kegiatan ataupun material jenis material yang digunakan dengan satuan kuantitas, yaitu  $m_2$  ataupun  $m_3$ .

### 2) Pekerjaan bangunan

Perhitungan volume dilakukan berdasarkan rerata luasan data potongan penampang desain bangunan yang mewakili bentuk dengan dikalikan jarak untuk setiap jenis kegiatan ataupun material yang digunakan dengan satuan kuantitas, yaitu  $m^2$  ataupun  $m^3$ .

### 3) Pekerjaan lainnya

Pekerjaan ini disesuaikan dengan sifatnya yang dihitung dalam bentuk satuan kuantitas, yaitu  $m^3$ ,  $m^2$ , buah, set ataupun lainnya.

## 7.2 Analisa Harga Satuan

Rencana Anggaran Biaya adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tertentu. Untuk membuat RAB konstruksi embung di luar alur sungai diperlukan data antara lain :

### a) Gambar Rencana

Untuk menghitung volume pekerjaan diperlukan gambar rencana yang baik dengan dimensi dan skala yang tepat. Gambar rencana yang diperlukan antara lain : denah, potongan memanjang, potongan melintang, dan detail.

### b) Koefisien

Koefisien pada tabel AHSP dapat diambil dari *Lampuran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016 Tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum*.

### 7.2.1 Jenis Harga Satuan

Selain gambar rencana, harga satuan juga diperlukan dalam menghitung RAB suatu konstruksi. Harga satuan yang dimaksud adalah harga satuan bahan, harga satuan upah dan harga satuan peralatan. Harga satuan ini berbeda untuk masing-masing daerah di Indonesia.

a) Harga satuan bahan

Harga atau biaya satuan yang dibutuhkan untuk pengadaan suatu material yang dibutuhkan untuk pelaksanaan konstruksi.

b) Harga satuan upah

Harga atau biaya satuan yang dibayarkan kepada pekerja sebagai upah atas kerja yang dilakukannya (baik langsung ataupun tidak langsung). Upah langsung adalah upah yang langsung dibayarkan kepada pekerja berdasarkan tarif hariannya sesuai dengan lamanya bekerja, sedangkan upah tidak langsung meliputi pajak, asuransi, dan berbagai macam tunjangan.

c) Harga satuan peralatan

Harga atau biaya satuan yang dibutuhkan untuk pengadaan dan operasional semua peralatan yang digunakan untuk melaksanakan pekerjaan konstruksi (tidak termasuk biaya transportasi untuk mendatangkan dan mengembalikan peralatan, biaya mobilisasi, dan biaya demobilisasi).

### 7.2.2 Data Teknis

Berikut ini adalah contoh data teknis embung :

a) Kolam embung

- |                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| 1) Lokasi embung                   | : Desa xxx              |
| 2) Nama sungai                     | : kali xxx              |
| 3) Luas daerah aliran sungai (DAS) | : 0.103 km <sup>2</sup> |
| 4) Elv. muka air Maksimum (HWL)    | : + 107,00              |
| 5) Elv. muka air normal            | : + 106,00              |
| 6) Elv. muka air minimum (LWL)     | : + 100,00              |
| 7) Elv. muka air banjir (Q100 th)  | : + 102,00              |
| 8) Luas Daerah Genangan (pada HWL) | : 2,71 ha               |
| 9) Kapasitas Tampungan Total       | : 50.832 m <sup>3</sup> |
| 10) Kapasitas Tampungan Efektif    | : 46.695 m <sup>3</sup> |

b) Tubuh embung

- |                       |          |
|-----------------------|----------|
| 1) Tipe embung        | : Urukan |
| 2) Elv. puncak        | : + 91   |
| 3) Lebar atas/ puncak | : 3.5 m  |
| 4) Tinggi embung      | : 10 m   |
| 5) Panjang as embung  | : 135 m  |

c) Bangunan pelimpah

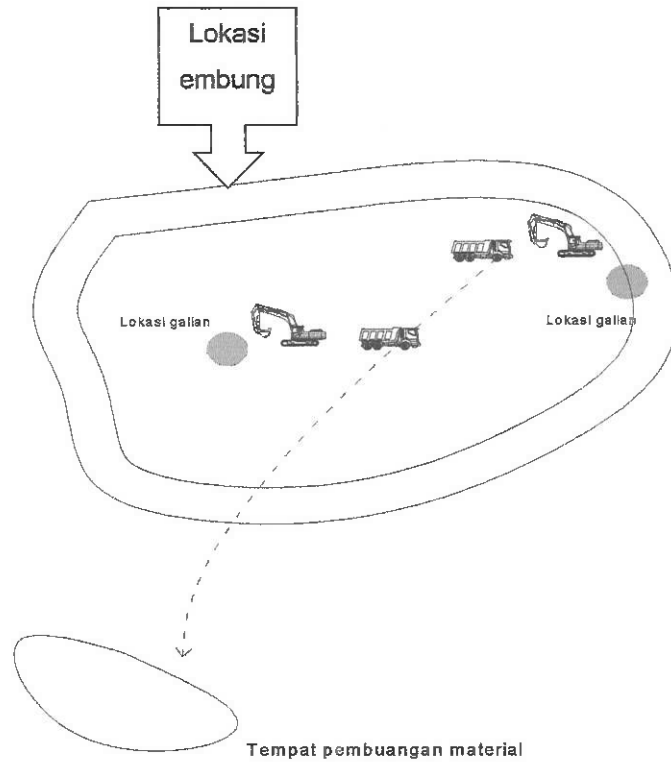
- |                 |               |
|-----------------|---------------|
| 1) Tipe         | : Mercu bulat |
| 2) Elv. ambang  | : + 89.5      |
| 3) Lebar ambang | : 5,00 m      |

- 4) Debit banjir rencana : 3.3 m<sup>3</sup>/s
- 5) Bahan konstruksi : Pasangan batu kali

d) Kolam olak

- 1) Tipe : USBR Type III
- 2) Lebar kolam olak : 3 m
- 3) Panjang kolam olak : 60.7 m
- 4) Bahan konstruksi : Pasangan batu kali

### 7.2.3 Analisa Jarak



**Gambar 76 - Contoh denah lokasi embung**

**Tabel 32 Analisa Jarak**

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1	Material hasil galian dimuat ke <i>Dump Truck</i>		m <sup>3</sup>	1.00		0
2	<i>Dump Truck</i> angkut material hasil galian sejauh 1 km		m <sup>3</sup>	1.00		0
3	Tanah dihampar, diratakan dan dirapihkan		m <sup>3</sup>	1.00		0

### 7.2.4 Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

Berikut adalah contoh AHSP dengan nilai harga satuan dasar tenaga kerja di daerah tertentu. Untuk setiap daerah, harga dasar tenaga kerja tersebut mungkin akan berbeda satu sama lain dan dapat disesuaikan. Pekerjaan di bawah ini adalah pekerjaan pembangunan embung secara umum, namun bisa disesuaikan lagi dengan desain embung itu sendiri. AHSP di bawah ini adalah berdasarkan Lampiran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016 tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum.

a) Pekerjaan persiapan

1) Mobilisasi dan demobilisasi

L.04 Mobilisasi

Pelaksanaan mobilisasi/demobilisasi harus dilakukan sesuai dengan kebutuhan pelaksanaan pekerjaan yang berdasarkan tuntutan kondisi pekerjaan dan/atau lapangan.

**Tabel 33 AHSP Inverstigasi Lapangan**

L.04a Investigasi Lapangan  
Lokasi tempat peralatan mempunyai tingkat kesulitan sedang dengan tersedianya akses jalan kecil

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Ahli alat berat (ahli madya)	L.14b	OH	1		
2	Pelaksana kegiatan (pemberi tugas)	L.16	OH	1		
3	Staf (kontraktor)	L.16	OH	2		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan (D+E)</b>						

**Tabel 34 AHSP Sewa Lahan**

L.04b Sewa Lahan  
Lahan yang diperlukan untuk base camp dan tempat alat berat diperlukan 1,5 ha atau sesuai kebutuhan  
Lama waktu penyewaan harus menghitung 1 bulan sebelum dan sesudah pelaksanaan pekerjaan

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Sewa lahan	-	ha-bulan	8		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan (D+E)</b>						

**Tabel 35 AHSP Fasilitas**

L.04c

**Fasilitas**

Berdasarkan asumsi kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan diperlukan luas berbagai fasilitas seperti pada koefisien berikut ini

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Petugas K3	L.16	OB	8		
2	Tenaga spesialis (seperti dokter/perawat)	L.16	OB	8		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Fasilitas Bangunan</b>						
1	Poliklinik lapangan		m <sup>2</sup>	12		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Perabotan dan layanan: meja, kursi, dll		set	1		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan (D+E)</b>						

**Tabel 36 AHSP Kebutuhan Lain-lain**

L.04d

**Kebutuhan Lain-Lain**

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Perkuatan jalan yang dilalui		LS	1		
2	Biaya pengaturan lalu lintas		LS	1		
3	Biaya transportasi peralatan*		LS	1		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan (D+E)</b>						

\*d disesuaikan dengan jumlah, volume dan berat peralatan yang diangkut

\*d disesuaikan dengan jumlah pekerja dan jenis pekerjaannya yang disesuaikan dengan RMK3

2) Pembuatan direksi keet dan gudang

**Tabel 37 AHSP Pembuatan Direksi Keet dan Gudang**

L.02

Pembuatan Direksi Keet, Los Kerja dan Gudang

1 m<sup>2</sup> pembuatan direksi keet atap asbes gelombang, dinding triplek, kaca nako

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.2		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.4		
3	Kepala tukang batu	L.03	OH	0.04		
4	Mandor	L.04	OH	0.12		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Kayu Kaso 5/7	M.33.d	m <sup>3</sup>	0.35		
2	Dinding triplek 4mm		lbr	1		
3	Fondasi pasangan batu		m <sup>3</sup>	0.17		
4	GRC pelat, t=4 mm, uk.122 x 244 cm		lbr	1.24		
5	Paku	M.71.b	kg	0.75		
6	Atap gelombang kecil ukuran 80 x 180, 4 mm	M.110.b	lbr	0.3		
7	Paku GRC		kg	0.1		
8	Floor lantai (beton lantai kerja)		m <sup>3</sup>	0.15		
9	Pintu double teakwood rangka kayu		m <sup>3</sup>	0.1		
10	Jendela kaca nako		daun	1		
11	Cat dinding/plafon	M.115.d	m <sup>3</sup>	16.5		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

3) Papan nama

**Tabel 38 AHSP Papan Nama**

LA.03

Pembuatan Papan Nama Pekerjaan

1 m<sup>2</sup> papan nama proyek

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1		
2	Tukang kayu	L.02	OH	1		
3	Kepala tukang kayu	L.03	OH	0.1		
4	Tukang cat dan tulis *	L.02	OH	1.5		
5	Mandor	L.04	OH	0.1		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Multiplek tebal 18 mm **		lbr	1		
2	Kayu 8/12 kelas II		m <sup>3</sup>	0.077		
3	Frame besi L.30.30.3 ***		kg	5.8		
4	Paku campuran 5 cm dan 7 cm		kg	1.25		
5	Cat kayu		kg	2.5		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

\* Sesuai kebutuhan cat labur/tulis dan/atau cat semprot

\*\* Koefisien disesuaikan dengan kebutuhan, dalam contoh ini untuk papan nama ukuran 0,8 x 1,2 m<sup>2</sup>

\*\*\* Disesuaikan kebutuhan, misalnya dapat menggunakan frame kayu atau aluminium panjang 4 m

4) Pengukuran kembali/uitzet

**Tabel 39 AHSP Pengukuran Kembali/Uitzet**

T.02.a Pengukuran Kembali/Uitzet  
1 m<sup>2</sup> pengukuran kembali/uitzet

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.012		
2	Pembantu juru ukur	L.06	OH	0.004		
3	Juru ukur	L.05	OH	0.004		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Waterpass	E.50	sewa-hr	0.004		
2	Theodolite	E.43a	sewa-hr	0.004		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

5) Pembersihan dan *stripping*/kosrekan

**Tabel 40 AHSP Pembersihan dan *Stripping*/Kosrekan**

T.01.a Pembersihan dan *Stripping* / Kosrekan  
1 m<sup>2</sup> pembersihan dan *stripping*/kosrekan

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.06		
2	Mandor	L.04	OH	0.006		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

b) Pekerjaan tubuh embung

1) Pengadaan dan pemasangan patok kayu

**Tabel 41 AHSP Pengadaan dan Pemasangan Patok Kayu**

T.03.a.1) Pengadaan dan Pemasangan Patok Kayu  
1 buah patok kayu (Kaso 5/7), panjang 0.5 m'

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.025		
2	Juru ukur	L.05	OH	0.0083		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
1*	Patok kayu kaso 5/7 - 0,5 m'	M.09.b	m <sup>3</sup>	0.0018		
2	Paku payung	M.56.e	dus	0.012		
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
1	Roll meter	E.34.i	buah	0.008		
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per buah (D+E)</b>						

\*Mutu kayu disesuaikan dengan kebutuhan

2) Patok tetap bantu

**Tabel 42 AHSP Pengadaan dan Pemasangan Patok Tetap Bantu (PTB)**

T.03.b) Pengadaan dan Pemasangan Patok Tetap Bantu (PTB)  
1 buah patok tetap bantu

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
1*	Galian tanah biasa	T.06a.1)	m <sup>3</sup>	0.273		
2*	Timbunan pasir	T.14c	m <sup>3</sup>	0.003		
3*	Pembesian	B.17.a	kg	2.3		
4*	Bekisting	B.21.b	m <sup>2</sup>	0.4		
5*	Beton mutu K175, slump (12±2) cm, w/c=0.66	B.05a	m <sup>3</sup>	0.013		
6*	Pen kuringan untuk titik acuan pengukuran	M.72	buah	1.05		
7*	Marmer ukuran 10 x 10 cm, dengan tulisan graph	M.127.a	buah	1.05		

\*Disesuaikan dengan kebutuhan

3) Galian tanah biasa

**Tabel 43 AHSP Galian Tanah Biasa Cara Manual**

T.06.a.1) Galian Tanah Biasa Cara Manual  
1 m<sup>3</sup> galian tanah biasa sedalam ≤ 1 meter

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.563		
2	Mandor	L.04	OH	0.0563		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 44 AHSP Galian Tanah Biasa Cara Mekanis**

TM.04.a.1 Galian Tanah Biasa Cara Mekanis

1 m<sup>3</sup> galian tanah biasa sedalam 0 - 2 meter

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.1633		
2	Mandor	L.04	jam	0.0163		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
1	Excavator (standard)	E.11.b	jam	0.0272		
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

4) Galian batu

**Tabel 45 AHSP Galian Batu**

T.08.b.2) Galian Batu

1 m<sup>3</sup> galian batu sedalam 1 - 2 meter

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.2		
2	Mandor	L.04	OH	0.12		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
1	BBM non subsidi	M.137.b	liter	2.5		
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
1	Jack hammer	E.14.a	sewa-hr	0.25		
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

5) Perbaikan fondasi

**Tabel 46 AHSP Perbaikan Pondasi**

p.01d.2) Perbaikan Pondasi\*\*

Pasangan batu 1 pc : 5 ps, menggunakan molen

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.8		
2	Tukang Batu	L.02	OH	0.9		
3	Mandor	L.04	OH	0.18		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
1	Batu belah	M.06.a	m <sup>3</sup>	1.2		
2	Pasir pasang	M.14.c	m <sup>3</sup>	0.544		
3	Portland cement	M.15	kg	135		
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.076		
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

\*\* dapat dilakukan dengan pasangan batu, beton atau grouting

**Tabel 47 AHSP Menggunakan Ready Mixed dan Pompa Beton**

B.13.a

Menggunakan *Ready Mixed* dan Pompa Beton

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.25		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.025		
4	Mandor	L.04	OH	0.1		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan*</b>						
1	Campuran beton <i>ready mixed</i>	M.09.x	m <sup>3</sup>	1.02		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Pompa dan conveyor beton	E.35	Sewa-hr	0.12		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

\* sesuai dengan mutu beton yang digunakan

6) Urukan *backfill*

**Tabel 48 AHSP Uruhan *Backfill***

T.14.a

Uruhan *Backfill*

1 m<sup>3</sup> timbunan tanah atau uruhan tanah kembali termasuk peralatan dan perapihan

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.33	50,000	
2	Mandor	L.04	OH	0.033	100,000	
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan***</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

7) Lapisan pelindung erosi (pasir-kerakal) hulu

**Tabel 49 AHSP Lapisan Pelindung Erosi (Pasir-Kerakal) Udik**

TM.11.03

Lapisan Pelindung Erosi (Pasir-Kerakal) Udik

Sistem penyalir (pasir-kerakal) atau pelindung erosi (pasir-kerakal)

	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
1	Galian pasir atau pasir-kerakal kedalaman 0-2 m	TM.11.1.b	m <sup>3</sup>	1		
2	Pengadaan dan angkutan pasir-kerakal jarak angkut 1 km	TM.11.2.d	m <sup>3</sup>	1		
3	Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan pasir (filter)	TM.11.3.b	m <sup>3</sup>	1		
<b>Harga Satuan Pekerjaan</b>						

8) Urukan tanah lempung

**Tabel 50 AHSP Timbunan dan Pemadatan Tanah Lempung**

TM.11.01 Timbunan dan Pemadatan Tanah Lempung

	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
1	Galian tanah lempung kedalaman 0-2 m	TM.11.1.a	m <sup>3</sup>	1		
2	Pengadaan dan angkutan tanah lempung 2.2 km	TM.11.2.a	m <sup>3</sup>	1		
3	Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan tanah lempung	TM.11.3.a	m <sup>3</sup>	1		
Harga Satuan Pekerjaan						

9) Sistem penyalir (pasir-kerakal)

TM.11.03 Sistem penyalir (pasir-kerakal) atau pelindung erosi (pasir-kerakal)

10) Urukan filter (pasir)

**Tabel 51 AHSP Urukan Filter**

TM.11.02 Urukan Filter (Pasir)

	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
1	Galian pasir atau pasir-kerakal kedalam 0-2 m	TM.11.1.b	m <sup>3</sup>	1		
2	Pengadaan dan angkutan pasir untuk filter jarak angkut 1 km	TM.11.2.b	m <sup>3</sup>	1		
3	Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan lapisan pasir (filter)	TM.11.3.b	m <sup>3</sup>	1		
Harga Satuan Pekerjaan						

11) Urukan kerikil-kerakal dan/atau pecahan batu maksimum 20 cm

**Tabel 52 AHSP Urukan Kerikil-Kerakal dan/Atau Pecahan Batu Maksimum 20 cm**

TM.11.02 Urukan Kerikil-Kerakal dan/atau Pecahan Batu Maksimum 20 cm

	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
1	Galian pasir atau pasir-kerakal kedalaman 0-2 m	TM.11.1.b	m <sup>3</sup>	1		
2	Pengadaan dan angkutan kerikil-kerakal jarak angkut 1 km	TM.11.2.d	m <sup>3</sup>	1		
3	Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan kerikil-kerakal	TM.11.3.b	m <sup>3</sup>	1		
Harga Satuan Pekerjaan						

**Tabel 53 AHSP Galian Tanah Lempung/Pasir Kerakal di Borrow Area**

TM.11.1 Galian Tanah Lempung/Pasir Kerakal di Borrow Area  
a Galian tanah lempung kedalaman 0-2 meter

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Excavator (standard)	E.11.b	jam	0.1069		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 54 AHSP Galian atau Pasir-Kerakal Kedalaman 0-2 meter**

b Galian pasir atau pasir-kerakal kedalaman 0-2 meter

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Excavator (standard)	E.11.b	jam	0.1361		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 55 AHSP Pengadaan dan Angkutan Tanah Lempung/Pasir Kerakal di Borrow Area**

TM.11.2 Pengadaan dan Angkutan Tanah Lempung/Pasir Kerakal di Borrow Area  
a Pengadaan dan angkutan tanah lempung jarak 2.2 km

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Tanah lempung	M.17.a	m <sup>3</sup>	1		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Dump truck	E.11.b	jam	0.23		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 56 AHSP Pengadaan dan Angkutan Pasir Untuk Filter Jarak 1 km**

b

Pengadaan dan angkutan pasir untuk filter jarak 1 km

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Pasir untuk filter	M.14.a	m <sup>3</sup>	1		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Dump truck	E.11.b	jam	0.2427		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 57 AHSP Pengadaan dan Angkutan Pasir-Kerakal Jarak 1 km**

c

Pengadaan dan angkutan pasir-kerakal jarak 1 km

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Pasir-kerakal	M.14.b	m <sup>3</sup>	1		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Dump truck	E.11.b	jam	0.2427		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 58 AHSP Pengadaan dan Angkutan Kerikil-Kerakal Jarak 1 km**

d

Pengadaan dan angkutan kerikil-kerakal jarak 1 km

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Kerikil-kerakal	M.12.a	m <sup>3</sup>	1		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Dump truck	E.11.b	jam	0.2427		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 59 AHSP Penghamparan, Pemadatan, dan Perapihan Lapisan Tanah Lempung/ Pasir Kerakal**

TM.11.3  
a

Penghamparan, Pemadatan, dan Perapihan Lapisan Tanah Lempung/Pasir Kerakal  
Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan tanah lempung

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.1422		
2	Mandor	L.04	jam	0.01422		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Bulldozer	E.05.b	jam	0.02		
2	Sheepfoot roller	E.39.b	jam	0.01		
3	Roller vibro	E.39.f	jam	0.0178		
4	Water tank truck	E.49	jam	0.0078		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 60 AHSP Penghamparan, Pemadatan, dan Perapihan Lapisan Pasir (Filter)/ Pasir Kerakal/ Kerikil-Kerakal**

b

Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan pasir (filter)/pasir-kerakal/kerikil-kerakal

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.1422		
2	Mandor	L.04	jam	0.01422		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Bulldozer	E.05.b	jam	0.02		
2	Roller vibro	E.39.f	jam	0.0178		
3	Water tank truck	E.49	jam	0.0078		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

12) Lapisan geotekstil (woven)

**Tabel 61 AHSP Lapisan Geotekstil (Woven)**

P.09  
b

Lapisan Geotekstil (Woven)  
1 m<sup>2</sup> pasangan geotekstil, tipe B, tebal sedang

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.16		
2	Tukang tembok	L.02	OH	0.032		
3	Mandor	L.04	OH	0.016		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Geotekstil (tipe B, tebal sedang)	M.122.b	m <sup>2</sup>	1.08		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

c) Pekerjaan *inlet*, *pelimpah*, dan *outlet*

1) Galian tanah biasa

TM.04. galian tanah biasa kedalaman 0-2 m

2) Urukan dan pemadatan

T.14.a. 1 m<sup>3</sup> urukan tanah atau urukan tanah kembali termasuk perataan dan perapihan

3) Pemasangan batu belah

**Tabel 62 AHSP Pasangan Batu Belah (1 pc : 4 pp)**

P.01.c

Pasangan Batu Belah (1 pc : 4 pp)

1 m<sup>3</sup> pekerjaan pasangan batu belah

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.8		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.9		
3	Mandor	L.04	OH	0.18		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Batu belah	M.06.a	m <sup>3</sup>	1.2		
2	Pasir pasang	M.14.c	m <sup>3</sup>	0.52		
3	Portland cement	M.15	kg	163		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.076		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

4) Plesteran

**Tabel 63 AHSP Plesteran (1 pc : 3 pp)**

P.04.i

Plesteran (1 pc : 3 pp)

1 m<sup>3</sup> pekerjaan plesteran

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.8		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.9		
3	Mandor	L.04	OH	0.18		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Batu belah	M.06.a	m <sup>3</sup>	1.2		
2	Pasir pasang	M.14.c	m <sup>3</sup>	0.485		
3	Portland cement	M.15	kg	202		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.076		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

5) Siaran mortar

**Tabel 64 AHSP Siaran Mortar**

P.03.a

Siaran Mortar

1 m<sup>2</sup> pekerjaan siaran mortar (1 pc : 2 pp)

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.323		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.189		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.019		
4	Mandor	L.04	OH	0.132		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	PC / portland cement	M.15	kg	371		
2	PB / pasir beton	M.14.a	kg	689		
3	Kr / kerikil	M.12.b	kg	1047		
4	Air	M.02	ltr	215		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.25		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

6) Beton

**Tabel 65 AHSP Beton Mutu K-225**

B.07.a

Beton Mutu K-225

1 m<sup>3</sup> pekerjaan beton mutu k-225

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.323		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.189		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.019		
4	Mandor	L.04	OH	0.132		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	PC / portland cement	M.15	kg	371		
2	PB / pasir beton	M.14.a	kg	698		
3	Kr / kerikil	M.12.b	kg	1047		
4	Air	M.02	ltr	215		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.25		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 66 AHSP Beton Mutu K-300**

B.10.b

**Beton Mutu K-300**

1 m<sup>3</sup> pekerjaan beton mutu k-300

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.323		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.189		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.019		
4	Mandor	L.04	OH	0.132		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	PC / portland cement	M.15	kg	413		
2	PB / pasir beton	M.14.a	kg	681		
3	Kr / kerikil	M.12.b	kg	1021		
4	Air	M.02	ltr	215		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.25		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

7) Pembesian

**Tabel 67 AHSP Pembesian 100 kg dengan Besi Polos Atau Ulir**

B.17

**Pembesian 100 kg dengan besi polos atau ulir**

100 kg pekerjaan pembesian dengan besi polos atau ulir

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.7		
2	Tukang besi	L.02	OH	0.7		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.07		
4	Mandor	L.04	OH	0.07		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Besi beton (polos/ulir)	M.55.d	kg	105		
2	Kawat ikat	M.66	kg	1.5		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per 100 kg (D+E)</b>						

8) Bekisting

**Tabel 68 AHSP Bekisting Lantai Beton Biasa dengan Multipleks 12 mm atau 8 mm (Tanpa Pemecah)**

B.21.a Bekisting Lantai Beton Biasa dengan Multipleks 12 mm atau 8 mm (tanpa perancah)  
1 m<sup>2</sup> pekerjaan bekisting

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.2		
2	Tukang kayu	L.02	OH	0.1		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.01		
4	Mandor	L.04	OH	0.02		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Multipleks 12 mm atau 8 mm**	M.39.c	lbr	0.128		
2	Kaso 5/7 cm**	M.33.d	m <sup>3</sup>	0.005		
3	Paku 5 cm dan 7 cm	M.71.b	kg	0.22		
4	Minyak bekisting	M.129	ltr	0.2		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

CATATAN: \* bahan digunakan berulang kali, yang ke-1, koefisien 0.353 (multipleks) dan 0.014 (kaso)  
yang ke-2, koefisien menjadi 0.203 (multipleks) dan 0.008 (kaso)  
yang ke-3, koefisien menjadi 0.128 (multipleks) dan 0.005 (kaso)  
yang ke-4, koefisien menjadi 0.091 (multipleks) dan 0.003 (kaso)

9) Inlet sadap (dapat berupa pintu sorong baja, *flap gate*, dll)

Contoh perhitungan Pintu sorong baja

**Tabel 69 AHSP Pintu Air**

H.03.6 Pintu Air  
a Pintu sorong baja b=100; h=100 cm

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	2.58		
2	Tukang	L.02	OH	1.29		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.13		
4	Mandor	L.04	OH	0.26		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Besi pengaku	M.54.g	kg	7.74		
2	Kawat las listrik	M.69	kg	1.72		
3	Campuran beton K-225	B.07.a	m <sup>3</sup>	0.077		
4	Pasangan bata	P.02.b	m <sup>3</sup>	0.155		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Pintu air	M.76.c	bh	1		
2	Tripod tinggi 4-5 cm	E.45	sewa-hr	0.387		
3	Mesin listrik 250A, diesel	E.22	sewa-hr	0.387		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan</b>						

**Tabel 70 AHSP Pintu Sorong Baja B=100; H=150 cm**

b Pintu sorong baja b=100; h=150 cm

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	2.52		
2	Tukang	L.02	OH	1.26		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.13		
4	Mandor	L.04	OH	0.25		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Besi pengaku	M.54.g	kg	7.56		
2	Kawat las listrik	M.69	kg	1.68		
3	Campuran beton K-225	B.07.a	m <sup>3</sup>	0.076		
4	Pasangan bata	P.02.b	m <sup>3</sup>	0.151		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Pintu air	M.76.c	bh	1		
2	Tripod tinggi 4-5 cm	E.45	sewa-hr	0.378		
3	Mesin listrik 250A, diesel	E.22	sewa-hr	0.378		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
D	Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)					
E	Overhead & Profit (Contoh 15%) (15% x D)					
F	Harga Satuan Pekerjaan					

**Tabel 71 AHSP Pintu Sorong Baja B=80; H=60 cm**

c Pintu sorong baja b=80; h=60 cm

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	2.6		
2	Tukang	L.02	OH	1.3		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.13		
4	Mandor	L.04	OH	0.26		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Besi pengaku	M.54.g	kg	7.8		
2	Kawat las listrik	M.69	kg	1.73		
3	Campuran beton K-225	B.07.a	m <sup>3</sup>	0.078		
4	Pasangan bata	P.02.b	m <sup>3</sup>	0.156		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Pintu air	M.76.c	bh	1		
2	Tripod tinggi 4-5 cm	E.45	sewa-hr	0.39		
3	Mesin listrik 250A, diesel	E.22	sewa-hr	0.39		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
D	Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)					
E	Overhead & Profit (Contoh 15%) (15% x D)					
F	Harga Satuan Pekerjaan					

**Tabel 72 AHSP Pasangan Bata Merah**

P.02.b

Pasangan Bata Merah

1 m<sup>3</sup> pekerjaan bata merah

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.5		
2	Tukang batu	L.02	OH	1.2		
3	Mandor	L.04	OH	0.15		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Bata merah	M.05.c	bh	500		
2	Portland cement	M.15	kg	132		
3	Pasir pasang	M.14.c	m <sup>3</sup>	0.345		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.1		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

10) Pasangan gebalan rumput

**Tabel 73 AHSP Pasangan Gebalan Rumput**

P.12.a

Pasangan Gebalan Rumput

1 m<sup>2</sup> pekerjaan pasangan gebalan rumput

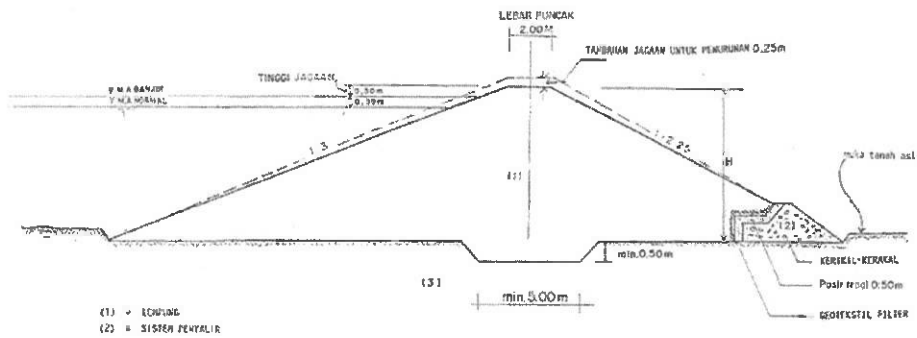
No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.1		
2	Mandor	L.04	OH	0.01		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Gebalan rumput	M.136	m <sup>2</sup>	1.1		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

### 7.3 Volume Pekerjaan (*Bill of Quantity*) dan Rencana Anggaran Biaya

Berikut ini adalah contoh alternatif volume pekerjaan untuk dari berbagai tipe embung.

**Tabel 74 Contoh Volume Pekerjaan**

Embung tipe 1 - Urugan homogen, material utama lempung, diatas fondasi kedap air



Panjang tubuh embung: 100 m

Volume berdasarkan potongan melintang:

- 1 Lempung = 14.541 m<sup>3</sup>
- 2 Sistem penyalir = 651 m<sup>3</sup>
- 3 Filter kerikil - kerakal = 195 m<sup>3</sup>
- 4 Filter pasir = 117 m<sup>3</sup>

Luas filter geotekstil = 397,43 m<sup>2</sup>

Rencana anggaran biaya pembangunan embung adalah hasil penjumlahan total dari volume pekerjaan dikalikan dengan harga satuan pekerjaan yang diperoleh dari AHSP, dimana satuan pekerjaan ini untuk lebih jelas dapat dilihat di dalam Lampiran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 28/PRT/M/2016 tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum. Berikut ini adalah daftar pekerjaan untuk pembangunan embung.

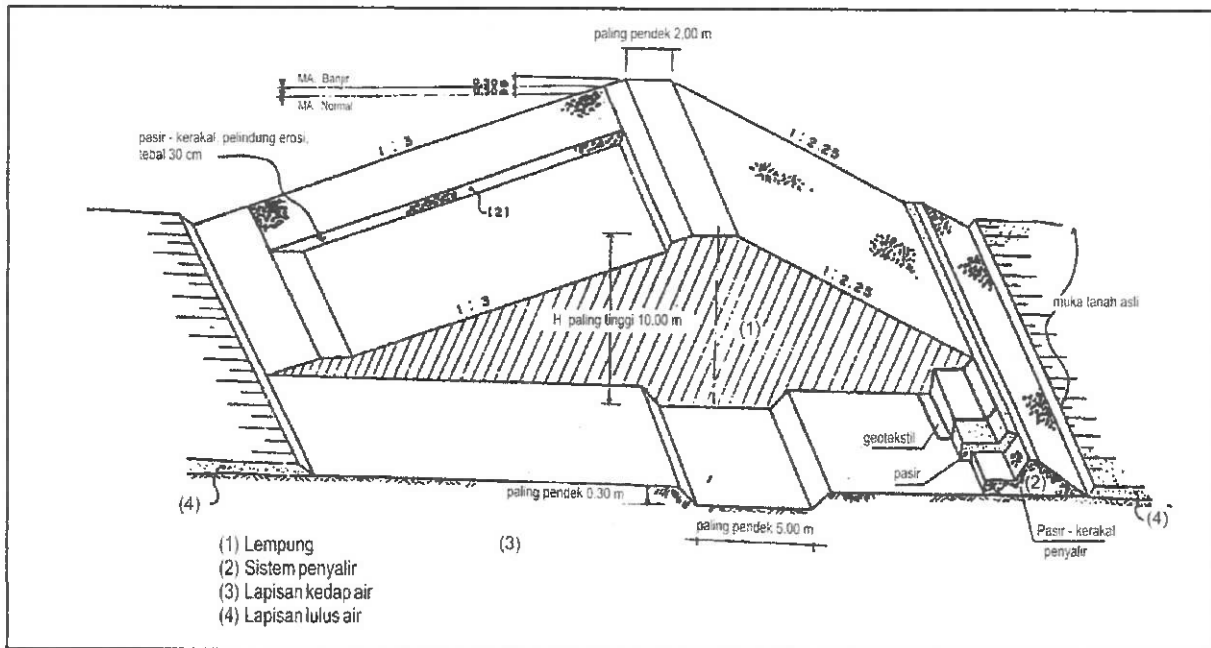
**Tabel 75 Daftar Pekerjaan Pembangunan Embung di Luar Alur Sungai**

No.	Kode	Jenis Pekerjaan
a		Pekerjaan Persiapan
1		Mobilisasi dan demobilisasi
	L.04	Mobilisasi
	L.04a	Investigasi Lapangan
	L.04b	Sewa Lahan
	L.04c	Fasilitas
	L.04d	Kebutuhan Lain-lain
2		Pembuatan Direksi Keet dan Gudang
	L.02	Pembuatan Direksi Keet , Los Kerja, dan Gudang
3		Papan Nama
	LA.03	Pembuatan Papan Nama Pekerjaan
4		Pengukuran Kembali/Uitzet

No.	Kode	Jenis Pekerjaan
	T.02.a	Pengukuran Kembali/Uitzet
5		Pembersihan dan Stripping/Kosrekan
	T.01.a	Pembersihan dan Stripping/Kosrekan
b		Pekerjaan Tubuh Embung
1		Pengadaan dan Pemasangan Patok Kayu
	T.03.a.1	Pengadaan dan Pemasangan Patok Kayu
2		Patok Tetap Bantu
	T.03.b	Pengadaan dan Pemasangan Patok Tetap Bantu (PTB)
3		Galian Tanah Biasa
	T.06.a.1	Galian Tanah Biasa Cara Manual
	TM.04.a.1	Galian Tanah Biasa Cara Mekanis
4		Galian Batu
	T.08.b.2	Galian Batu
5		Perbaikan Fondasi
	P.01d.2	Perbaikan Fondasi
	B.13.a	Menggunakan Ready Mixed dan Pompa Beton
6		Urukan Backfill
	T.14.a	Urugan Backfill
7		Lapisan Pelindung Erosi (Pasir-Kerakal) Hulu
	TM.11.03	Lapisan Pelindung Erosi (Pasir-Kerakal) Udik
8		Urukan Tanah Lempung
	TM.11.01	Timbunan dan Pemadatan Tanah Lempung
9		Sistem Penyalir (Pasir-Kerakal)
	TM.11.03	Sistem Penyalir (Pasir-Kerakal)
10		Urukan Filter (Pasir)
	TM.11.02	Urugan Filter (Pasir)
11		Urukan Kerikil-Kerakal dan/atau Pecahan Batu Maksimum 20 cm
	TM.11.02	Urugan Kerikil-Kerakal dan/atau Pecahan Batu Maksimum 20 cm
	TM.11.1	Galian Tanah Lempung/Pasir Kerakal di Borrow Area
	TM.11.2	Pengadaan dan Angkutan Tanah Lempung/Pasir Kerakal di Borrow Area
	TM.11.3	Penghamparan, Pemadatan, dan Perapihan Lapisan Tanah Lempung/Pasir Kerakal
12		Lapisan Geotekstil (Woven)
	P.09	Lapisan Geotekstil (Woven)
c		Pekerjaan <i>Inlet</i> , <i>Pelimpah</i> , dan <i>Outlet</i>
1		Galian Tanah Biasa

No.	Kode	Jenis Pekerjaan
	TM.04.a.1	Galian Tanah Biasa Kedalaman 0-2 m
2		Urukan dan Pematatan
	T.14.a	Urukan Tanah Atau Urukan Tanah Kembali Termasuk Perataan dan Perapihan
3		Pemasangan Batu Belah
	P.01.c	Pasangan Batu Belah (1 pc: 4 pp)
4		Plesteran
	P.04.i	Plesteran (1 pc: 3 pp)
5		Siaran Mortar
	P.03.a	Siaran Mortar
6		Beton
	B.07.a	Beton Mutu K-225
	B.10.b	Beton Mutu K-300
7		Pembesian
	B.17	Pembesian 100 kg dengan besi polos atau ulir
8		Bekisting
	B.21.a	Bekisting Lantai Beton Biasa dengan Multipleks 12 mm atau 8 mm (tanpa pemecah)
9		Inlet sadap (dapat berupa pintu sorong baja, <i>flap gate</i> , dll)
	H.03.6	Pintu Air
	P.02.b	Pasangan Bata Merah
10		Pasangan Gebalan Rumput
	P.12.a	Pasangan Gebalan Rumput

Berikut ini adalah contoh perhitungan Rencana Anggaran Biaya Pembuatan Embung Tipe – 1 :  
Urugan Homogen, Material Utama Lempung, Di Atas Fondasi Kedap Air



**Gambar 77 Embung Tipe – 1 : Urugan Homogen, Material Utama Lempung, Di Atas  
Fondasi Kedap Air**

**Tabel 76 Contoh Perhitungan Rencana Anggaran Biaya Embung Tipe – 1 : Urugan Homogen, Material Utama Lempung, Di Atas Fondasi Kedap Air**

No	Uraian	Kode	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
I	<b>PEKERJAAN PERSIAPAN</b>					<b>208,797,078.09</b>
1	Mobilisasi dan demobilisasi	L.04	LS	1	72,289,000.00	72,289,000.00
2	Pembuatan direksi keet dan gudang	L.02	m <sup>2</sup>	20	1,549,124.75	30,982,495.00
3	Papan nama	L.03a	buah	2	696,296.25	1,392,592.50
4	Pengukuran kembali/uitzet	T.02.a	m <sup>2</sup>	6000	2,530.00	15,180,000.00
5	Pembersihan dan striping/kosrekan	T.01.a	m <sup>2</sup>	21267	4,140.00	88,045,380.00
6	Pengadaan dan pemasangan patok kayu	T.03.a.1)	buah	77	3,761	289,593.92
7	Pengadaan dan pemasangan PTB	T.03.b	buah	4	154,504	618,016.67
II	<b>PEKERJAAN EMBUNG</b>					<b>2,646,266,568.44</b>
1	Galian tanah di borrow area	TM.04.a.1	m <sup>3</sup>	18743.1	18,743	351,303,351.52
2	Galian tanah biasa (mekanis)	TM.04.a.1	m <sup>3</sup>	2571.7	13,183	33,902,151.65
3	Galian tanah keras/batu	T.08.b.2)	m <sup>3</sup>	692.4	155,106	107,389,751.02
4	Timbunan backfill	T.14.a	m <sup>3</sup>	176.4	22,770	4,016,628.00
5	Timbunan tubuh embung	TM.11.01	m <sup>3</sup>	16076.0	57,874	930,389,396.05
6	Timbunan penyalir	TM.11.03	m <sup>3</sup>	1105.5	303,091	335,078,946.16
7	Timbunan filter	TM.11.02	m <sup>3</sup>	91.6	216,841	19,853,583.43
8	Timbunan rip-rap	P.05	m <sup>3</sup>	2398.8	319,827	767,187,015.14
9	Lapisan geotekstil (woven)	P.09.b	m <sup>2</sup>	457.4	162,541	74,345,745.46
10	Parapet		buah	114	200,000	22,800,000.00
III	<b>PEKERJAAN SPILLWAY</b>					<b>297,559,974.67</b>
1	Galian tanah biasa (mekanis)	TM.04.a.1	m <sup>3</sup>	274.24	13,183	3,615,266.47
2	Galian tanah keras/batu	T.08.b.2)	m <sup>3</sup>	350.49	155,106	54,362,680.19
3	Pasangan batu dengan mortar	P.01.a.1)	m <sup>3</sup>	261.11	862,500	225,206,490.35
4	Beton K300	B.05.a	m <sup>3</sup>	13	1,090,557	14,375,537.66
IV	<b>PEKERJAAN INTAKE</b>					<b>19,173,496.31</b>
1	Galian tanah biasa (manual)	T.06.a.1)	m <sup>3</sup>	0.5	38,847	19,811.97
2	Instalasi pompa distribusi		LS	1	14,505,304	14,505,303.84
5	Instalasi pipa distribusi ke bak tampung		LS	1	4,648,381	4,648,380.50
V	<b>PEKERJAAN BAK AIR</b>					<b>10,019,329.44</b>
a	<i>Pekerjaan bak air manusia</i>					<b>4,982,618.02</b>
	Galian tanah	T.06.a.1)	m <sup>3</sup>	0.9	38,847	34,962.30
	Pondasi pasangan batu	A.3.2.1.2	m <sup>3</sup>	0.9	635,289	571,759.88
	Pembuatan lantai kerja (sirtu)	A.2.3.1.14	m <sup>3</sup>	0.3	169,050	50,715.00
	Pembesian	B.17.a	kg	195	11,960	2,332,200.00
	Beton 1 : 2 : 3	B.05.a	m <sup>3</sup>	2	960,303	1,920,605.59
	Instalasi keran outlet	A5.1.1.19	bh	1	72,375	72,375.25
b	<i>Pekerjaan bak hewan</i>					<b>3,165,207.83</b>
	Galian tanah	T.06.a.1)	m <sup>3</sup>	0.9	38,847	34,962.30
	Pondasi pasangan batu	A.3.2.1.2	m <sup>3</sup>	0.9	635,289	571,759.88
	Pembuatan lantai kerja (sirtu)	A.2.3.1.14	m <sup>3</sup>	0.3	169,050	50,715.00
	Pembesian	B.17.a	kg	122	11,960	1,459,120.00
	Beton 1 : 2 : 3	B.05.a	m <sup>3</sup>	1.092	960,303	1,048,650.65
c	<i>Pekerjaan bak kebun</i>					<b>1,871,503.60</b>
	Galian tanah	T.06.a.1)	m <sup>3</sup>	0.54	38,847	20,977.38
	Pondasi pasangan batu	A.3.2.1.2	m <sup>3</sup>	0.54	635,289	343,055.93
	Pembuatan lantai kerja (sirtu)	A.2.3.1.14	m <sup>3</sup>	0.18	169,050	30,429.00
	Pembesian	B.17.a	kg	68	11,960	813,280.00
	Beton 1 : 2 : 3	B.05.a	m <sup>3</sup>	0.6912	960,303	663,761.29
VI	<b>Total</b>					<b>3,181,816,446.95</b>
	PPN 10%					318,181,644.70
	<b>Grand Total</b>					<b>3,499,998,091.65</b>
	<b>Pembulatan</b>					<b>3,499,999,000.00</b>

## 8 Pekerjaan Konstruksi

### 8.1 Ketentuan Umum

Pekerjaan yang harus dilakukan pada saat pembangunan embung adalah sebagai berikut:

- a) Pekerjaan Persiapan
  - 1) Mobilisasi dan demobilisasi peralatan konstruksi dan sumber daya
  - 2) Mobilisasi dan demobilisasi fasilitas kontraktor
  - 3) Penyediaan sarana air bersih selama konstruksi
  - 4) Mobilisasi dan demobilisasi peralatan laboratorium
  - 5) Penyediaan sarana listrik dan penerangan
  - 6) Penyediaan sarana dan fasilitas komunikasi
  - 7) Penyediaan foto dan video selama konstruksi
  - 8) Investigasi geologi dan mekanika tanah pada awal konstruksi
  - 9) Penyelenggaraan SMK3 selama konstruksi
- b) Pekerjaan Utama
  - 1) Pekerjaan bangunan penahan/ tubuh embung
  - 2) Pekerjaan bangunan pelimpah
- c) Pekerjaan Pelengkap
  - 1) Pekerjaan bangunan *intake*
  - 2) Pemasangan jaringan pipa pasok air
  - 3) Pembuatan bak air
  - 4) Pemasangan gebalan rumput, dan lain-lain.

Tahapan pelaksanaan konstruksi embung di dalam alur sungai ini adalah sebagai berikut.

- a) Tahap pertama adalah pekerjaan pengelakan saluran/ kanal. Pengelakan saluran/ kanal ini dilakukan dengan memasang beton buis (tidak dengan membangun bangunan pengelak, karena saluran/ kanal pada embung *off stream* relatif kecil) untuk mengalihkan aliran sehingga lokasi pembangunan embung kering.
- b) Setelah lokasi rencana pembangunan tubuh embung kering, tahap selanjutnya adalah pembangunan bangunan pelimpah dan dilanjutkan dengan pembangunan tubuh embung dan komponen-komponen pelengkap lainnya. Untuk beberapa pekerjaan konstruksi ini dapat bersifat simultan dengan tetap dilakukan sesuai ketentuan yang berlaku.
- c) Setelah pembangunan tubuh embung dan komponen-komponennya selesai, selanjutnya adalah proses pengisian embung. Saluran beton buis selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai *intake* atau ditutup perlahan-lahan selama proses pengisian embung.

- d) Proses pengisian embung ini dilakukan pada musim hujan, dengan waktu pengisian embung sesuai dengan besarnya debit *inflow* atau curah hujan.
- e) Pengoperasian embung harus seimbang antara keluaran dan tampungan dalam siklus 1 (satu) tahun.

## 8.2 Jenis Alat yang Diperlukan

Beberapa alat berat yang biasanya dipergunakan dalam pekerjaan konstruksi embung yakni sebagai berikut:

a) *Bulldozer*

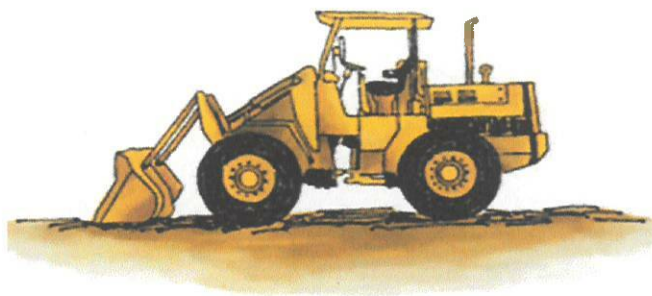
- Jumlah : 1 buah
- Kapasitas :  $\leq$  tipe D7
- Penggunaan : Pembersihan semak, rumput, dan pohon, Penggusuran dan penghamparan tanah, Perataan tanah.



**Gambar 78 Bulldozer**

b) *Wheel Loader*

- Jumlah : 1 buah
- Kapasitas : *Bucket*  $\frac{1}{2}$  - 1 m<sup>3</sup>
- Penggunaan : Menggali dan memuat tanah atau material berbutir, mengangkat, mengangkut, dan membuang pada ketinggian tertentu ke dalam *dump truck* atau tempat pembuangan.



**Gambar 79 Wheel Loader**

c) *Backhoe*

Jumlah : 1 buah dengan alat penggerak roda ban

Kapasitas : *Bucket*  $\frac{1}{2}$  - 1 m<sup>3</sup>

Penggunaan : Penggalian tanah yang terletak di bawah tempat kedudukan *backhoe*. Selain itu juga dapat digunakan untuk memuat hasil galian ke dalam *truck*.



**Gambar 80 Backhoe**

d) *Dump Truck*

Jumlah : 2 buah

Kapasitas : 7 ton

Penggunaan : Transportasi material yang akan digunakan untuk konstruksi dan material buangan.



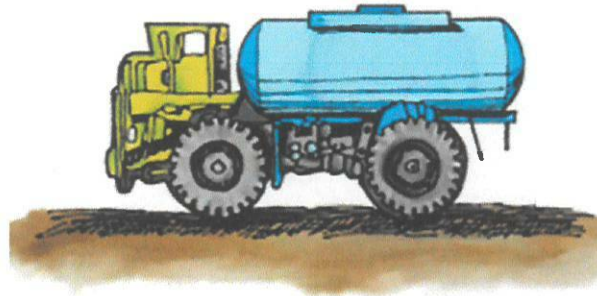
**Gambar 81 Dump Truck**

e) Truk Tangki Air

Jumlah : 1 buah

Kapasitas : 4.000 - 10.000 liter

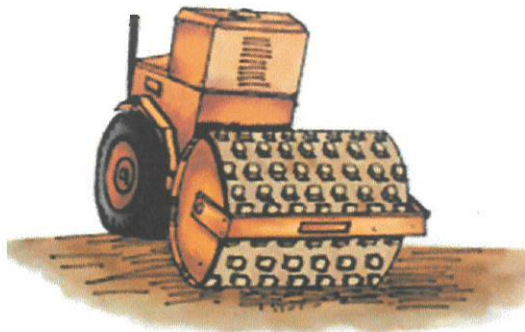
Penggunaan : Penyiraman tanah / material bagi keperluan pemadatan. Penyediaan air bagi kebutuhan konsumsi.



**Gambar 82 Truk Tangki Air**

f) *Sheepfoot Roller*

- Jumlah : 1 buah dengan alat penarik beroda ban  
Kapasitas : 8 - 10 ton termasuk *ballast*  
Penggunaan : Alat pemadat material berlempung.



**Gambar 83 Sheepfoot Roller**

g) *Tandem Roller*

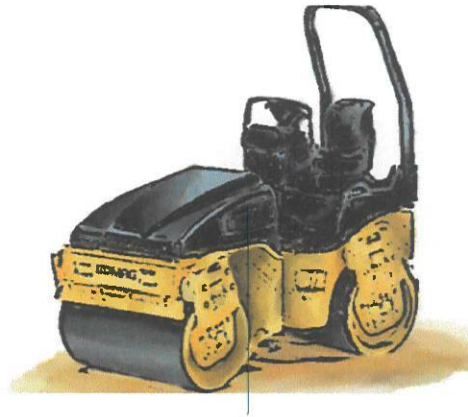
- Jumlah : 1 buah  
Kapasitas : 8-10 ton termasuk *ballast*  
Penggunaan : Alat pemadat berbutir kasar.



**Gambar 84 Tandem Roller**

h) *Tandem Roller Mini*

- Jumlah : 1 buah  
Kapasitas : 1 - 2 ton  
Penggunaan : Pemadatan tanah khususnya di tempat yang sempit.



**Gambar 85 Mini Tandem Roller**

- i) Excavator  
Jumlah : 1 buah  
Penggunaan : Penggalian Tanah



**Gambar 86 Excavator**

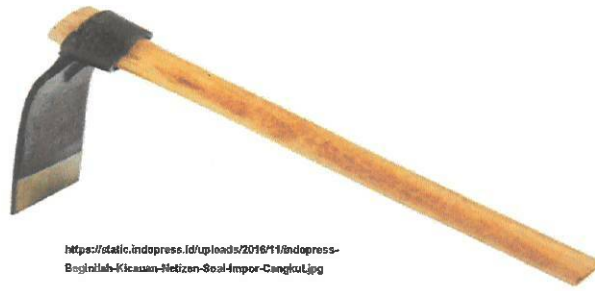
- j) Pick Hammer  
Jumlah : 1 buah  
Penggunaan : Penggalian Tanah



**Gambar 87 Pick Hammer**

- k) Cangkul

Jumlah : 1 buah  
Penggunaan : Penggalan Tanah



Gambar 88 Cangkul

l) Stamper  
Jumlah : 1 buah  
Penggunaan : Pemasatan tanah di tempat yang sempit



Gambar 89 Stamper

### 8.3 Bahan Bangunan

Material yang diperlukan untuk membangun embung adalah:

- b) Tanah lempung untuk:
- 1) Urukan homogen tubuh embung,
  - 2) Inti kedap air,
  - 3) Selimut kedap air di dasar, dan
  - 4) Dinding lulus air kolam embung.
- c) Pasir halus hingga kerikil untuk:
- 1) Urukan *filter*,
  - 2) *Backfil* (penimbunan atau urugan kembali),
  - 3) Semen – tanah,
  - 4) Adukan pasangan batu,
  - 5) Agregat halus beton.

- d) Batu pecah ukuran kecil, kerakal, hingga bongkah (paling besar 20 cm), untuk:
- 1) Urukan tubuh embung,
  - 2) Urukan salir,
  - 3) Agregat kasar beton,
  - 4) Lapisan pelindung erosi.
- e) Semen untuk pasangan batu dan beton bak air dan bila diperlukan untuk selimut semen-tanah.
- f) Geotekstil untuk *filter* di urukan penyalir.



**Gambar 90 Geotekstil**

- g) Pipa HDPE Ø 1 ¼ " dan Ø 2", dan pipa besi Ø 1 ¼ " untuk jaringan distribusi.
- h) Besi tulangan Ø 8 dan 10 mm untuk penulangan dinding beton bak air.
- i) Kran air dan pelampung.
- j) Geomembran bila diperlukan untuk selimut kolam embung.



**Gambar 91 Geomembran**

Jumlah atau volume setiap jenis material bangunan yang diperlukan dapat dihitung berdasarkan gambar desainnya yang harus dipersiapkan terlebih dahulu.

### 8.3.1 Pasangan Batu



**Gambar 92 Pasangan Batu**

Batu yang akan digunakan untuk pekerjaan pasangan batu ini harus dibersihkan dari bahan yang merugikan, yang dapat mengurangi kelekatan dengan adukan. Sebelum pemasangan, batu harus dibasahi seluruh permukaannya dan diberikan waktu yang cukup untuk proses penyerapan air sampai dengan jenuh.

Untuk struktur pasangan batu yang dibuat dalam galian parit di mana terdapat kestabilan akibat daya lekat tanah atau akibat disediakannya cetakan, harus dilaksanakan dengan mengisi galian atau cetakan dengan adukan setebal 60% dari ukuran maksimum batu yang digunakan dan kemudian dengan segera memasang batu di atas adukan yang belum mengeras. Landasan dari adukan semen paling sedikit setebal 3 cm harus dipasang pada formasi yang telah disiapkan. Landasan adukan ini harus dikerjakan sedikit demi sedikit sedemikian rupa sehingga permukaan batu akan tertanam pada adukan sebelum mengeras. Batu harus ditanam dengan kuat di atas landasan adukan semen sedemikian rupa sehingga satu batu berdekatan dengan lainnya sampai mendapatkan tebal pelapisan yang diperlukan di mana tebal ini akan diukur tegak lurus terhadap lereng. Rongga yang terdapat di antara satu batu dengan lainnya harus diisi adukan dan adukan ini harus dikerjakan sampai hampir sama rata dengan permukaan lapisan tetapi tidak sampai menutupi permukaan lapisan.

Pemasangan batu harus dilaksanakan dengan cara pemasangan adukan mortar kemudian diikuti dengan batu sedemikian sehingga semua batu akan terlapisi dengan adukan mortar. Dalam hal apapun pelaksanaan pemasangan batu tidak boleh dilakukan dengan cara menumpuk batu terlebih dahulu baru dituangkan adukan mortar ke atasnya.

### 8.3.2 Beton

Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus jenis semen portland yang memenuhi SNI 2049:2004 Semen Portland kecuali jenis IA, IIA, IIIA dan IV. Apabila menggunakan bahan tambahan yang dapat menghasilkan gelembung udara, maka gelembung udara yang dihasilkan

tidak boleh lebih dari 5%. Sementara itu, air yang digunakan untuk campuran, perawatan, atau pemakaian lainnya harus bersih, dan bebas dari bahan yang merugikan seperti minyak, garam, asam, basa, gula atau organis. Air harus diuji sesuai dengan dan harus memenuhi ketentuan dalam SNI 6817:2002 *Metode pengujian mutu air untuk digunakan dalam beton*. Campuran beton yang digunakan harus dibuat dan diuji sesuai dengan SNI 2834:2000 *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*.

Beton diklasifikasikan berdasarkan tekanan pada 7 hari dan umur 28 hari dengan ukuran maksimum agregat dan dibuat mengikuti berikut ini.

**Tabel 77 - Klasifikasi beton berdasarkan besarnya tekanan**

Tipe Campuran Beton	Kuat tekan umur 7 hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat tekan umur 28 hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Ukuran agregat maksimum ( mm )	Nilai faktor air semen maksimum (%)	Perkiraan kebutuhan semen (kg/m <sup>3</sup> )
AR $f_c' = 25$ MPa (K-300)	195	300	20	50	400
A $f_c' = 20$ MPa (K-225)	147	225	40 (20)	50	330 (350)
B $f_c' = 15$ MPa (K-175)	114	175	40	50	310
C $f_c' = 10$ Mpa (K-125)	82	125	40	57	250
D $f_c' = 8$ Mpa (K-100 )	65	100	40	60	200

**Tabel 78 - Klasifikasi jenis beton**

Tipe	Uraian
AR	Beton bertulang untuk melapis permukaan lantai bendung, mercu bendung, tembok bendung, talang, dan terowongan pengelak.
A	Beton yang digunakan kolam olak/apron bendung.
B	Beton tanpa tulangan, seperti beton siklop, pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu pada bangunan air.
C	Beton tumbuk untuk lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton.
D	Beton tumbuk untuk lantai kerja dan pengisi.

Keseragaman kekentalan beton pada setiap adukan adalah perlu. *Slump* adukan beton harus mengikuti tabel berikut ini, setelah beton diendapkan.

Tabel 79 - Nilai slump beton

Tipe Campuran	Tipe Konstruksi	Besaran Nilai Slump
AR	Mercu bendung, lantai bendung, talang, dan terowongan pengelak	7,5 – 2,5
A	Unit beton pracetak pelat dan balok	12,5 – 5,0
B	Pelat, dinding, balok dari tembok dan dermaga	15,0 – 7,5
C	Talud pada transisi	12,5 – 5,0
D	Konstruksi massal	5,0 – 2,5
	Lantai kerja	7,5 – 2,5
	Gorong-gorong	7,5 – 5,0
	Fondasi	9,0 – 2,5

Pengambilan contoh, perawatan, dan pengujian dilakukan sesuai dengan SNI 1974:2011 *Cara Uji Kuat Tekan Beton*, SNI 4810:1998 *Metode pembuatan dan perawatan benda uji beton di lapangan*, SNI 2493:2011 *Metode pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium*, SNI 2458:-2008 *Tata cara pengambilan contoh untuk campuran beton segar*.

## 8.4 Konstruksi Tubuh dan Kolam Embung

### 8.4.1 Penggalan dan Pengurukan Tanah Embung

#### 8.4.1.1 Galian Tanah Biasa

Galian tanah biasa adalah pekerjaan galian dengan material hasil galian berupa tanah pada umumnya, yang dengan mudah dapat dilakukan dengan cara manual atau mesin *excavator*. Galian tanah biasa dimaksudkan untuk daerah yang material hasil galiannya terdiri dari tanah, pasir dan kerikil.

#### 8.4.1.2 Galian Tanah Keras/Batu

Galian Batu harus mencakup galian bongkahan batu atau material lainnya. Penggunaan alat pemecah bertekanan udara, pemboran dan peledakkan harus dipertimbangkan untuk kepraktisan pelaksanaannya.

##### a) Galian batu tanpa menggunakan bahan peledak

Bila material galian adalah gumpalan (konglomerat) atau batuan lunak, pekerjaan material tersebut tidak cukup padat sehingga masih dapat dibongkar dengan penggaru dan tidak perlu dilaksanakan dengan alat bertekanan udara atau pun diledakkan.

b) Galian batu menggunakan bahan peledak

Apabila dirasa bahwa pekerjaan penggalian tidak praktis dengan menggunakan alat bertekanan udara atau penggaruk hidrolis berkuku tunggal, dan penggalian hanya praktis menggunakan peledakan.

Galian batu termasuk semua batuan padat dan keras di tempat yang sulit dilakukan baik dengan cangkul, *excavator* biasa maupun *pick hammer*, kecuali dengan *excavator* yang dilengkapi dengan *breaker* atau dengan peledakan. Apabila menggunakan peledakan, maka segala peralatan dan material yang diperlukan berikut perizinan dan penanganan peledakan harus sudah diperhitungkan.

#### 8.4.1.3 Pekerjaan Urukan Homogen

Tubuh embung yang didesain dengan tipe ini harus memperhatikan kemiringan lereng dan muka garis freatik atau rembesan. Kemiringan lereng umumnya cukup landai terutama untuk menghindari terjadinya longsor di lereng hulu pada kondisi surut cepat serta menjaga stabilitas lereng hilir urugan pada kondisi rembesan langgeng. Untuk mengontrol rembesan diperlukan pembuatan sistem penyalir di kaki hilir urugan. Garis freatik harus diusahakan agar tidak ke luar lewat lereng hilir.

Material galian yang memenuhi persyaratan yang akan digunakan sebagai material urukan harus bebas dari bahan-bahan organik dalam jumlah yg merusak, seperti daun, rumput, akar dan kotoran.

#### 8.4.1.4 Pekerjaan Urukan Majemuk

Urukan majemuk terdiri atas urukan kedap air, urukan semi kedap air (transisi) dan urukan lulus air.

Urukan kedap air atau inti kedap air umumnya dari lempung atau tanah berlempung, dan ditempatkan vertikal didesain di bagian tengah. Tanah material urukan inti harus mengandung lempung minimal 25% (perbandingan berat). Bagian inti tanah ini dilindungi dengan urukan semi kedap air di bagian hulu dan hilirnya. Sedangkan bagian paling luar terdiri dari urukan lulus air. Dengan susunan seperti itu koefisien kelulusan air dan gradasi material berubah secara bertahap, makin ke luar makin besar.

Untuk mencegah terangkurnya butiran halus material urukan inti ke dalam urukan paling luar yang lulus air oleh aliran rembesan, maka urukan semi kedap air di hulu dan di hilir inti kedap air harus dapat berfungsi sebagai "filter" dan transisi.

Apabila tanah bahan inti tidak dapat diperoleh di tempat, maka inti dapat dibuat dari bahan substitusi, misal beton atau semen tanah. Bila bahan substitusi dipakai maka inti menjadi relatif tipis, tebal minimal 0,60 m, dan disebut dinding diapragma. Urukan hanya boleh diklasifikasikan sebagai "timbunan pilihan" bila digunakan pada lokasi atau untuk maksud urukan pilihan yang telah ditentukan. Urukan pilihan harus terdiri dari bahan tanah atau tanah berbatu yang memenuhi semua ketentuan diatas untuk urukan biasa dan sebagai tambahan harus memiliki sifat-sifat

tertentu yang tergantung dari maksud penggunaannya. Dalam segala hal, seluruh urukan pilihan bila dipadatkan sampai 100% kepadatan kering maksimum sesuai dengan SNI 03-1742-1989.

Dalam pekerjaan urukan ini harus dilaksanakan tes uji urukan (*trial embankment*) untuk menentukan efektifitas dari beberapa metode pemadatan dari material yang tersedia untuk pekerjaan urukan. Sasaran hasil dari uji test urukan adalah untuk mengevaluasi efektifitas dari metode pemadatan yang berkaitan dengan jenis dan ukuran dari alat pemadat, jumlah lintasan untuk ketebalan lapisan yang disyaratkan, efek getaran terhadap kadar air dan aspek lain dari pemadatan.

Tidak diizinkan adanya semak, akar, rumput atau material tidak memenuhi syarat lain yang akan dipakai sebagai material urukan. Kelayakan dari setiap bagian fondasi untuk penempatan material urukan dan semua material yang digunakan dalam konstruksi urukan adalah sesuai dengan spesifikasi teknik. Selain itu, apabila ditemukan/dijumpai tanah yang berbeda pada waktu pelaksanaan dikemudian hari, maka percobaan-percobaan lebih lanjut harus dilaksanakan terlebih dahulu. Bila hasil percobaan pemadatan tanah dilaksanakan untuk tanggul pada bangunan yang permanen, percobaan tersebut akan dianggap sebagai suatu bagian pekerjaan dalam penyelesaian pekerjaan tersebut, dan apabila pekerjaan tersebut gagal serta tidak memenuhi persyaratan, pekerjaan permanen yang didasarkan pada percobaan yang gagal tersebut harus dibongkar kembali.

#### **8.4.1.5 Tata Cara Pelaksanaan Penimbunan**

- a) Sebelum pekerjaan penimbunan dilakukan, permukaan tanah harus dibersihkan dan dikupas atau digali hingga mencapai kedalaman yang ditunjukkan dalam gambar. Jika sampai kedalaman tersebut masih terdapat retakan-retakan tanah, maka penggalian dilanjutkan sampai pada elevasi 15 cm di bawah tanpa retakan-retakan. Daerah penimbunan harus bersih dari tunggul-tunggul pohon, akar, rumput, humus-humus dan unsur lain yang bisa membusuk, serta semua lubang-lubang dan bekas-bekas yang terjadi pada permukaan tanah harus diratakan. Permukaan tanah yang telah dikupas atau digali tersebut, sebelum pelaksanaan pekerjaan urukan harus dibuat alur-alur terbuka sedalam 20 cm dengan jarak antara alur lebih kurang 1 m. Kondisi kadar air permukaan yang akan ditimbun harus dijaga pada kadar air optimumnya, jika kadar airnya berlebih dapat dibiarkan melalui pengeringan secara alami dan jika kekeringan dapat dilakukan pembasahan dengan cara penyemprotan air secukupnya.
- b) Secara berurutan material harus ditempatkan agar supaya menghasilkan distribusi material yang baik.
- c) Penimbunan harus dilakukan lapis demi lapis dengan ketebalan maksimum hamparan material sebelum dipadatkan adalah 30 cm.
- d) Tanah asli harus rapat air dan tidak boleh ada rembesan pada tanah urukan yang dianggap membahayakan.

- e) Ketika masing-masing lapisan material telah dikondisikan untuk kadar air yang diperlukan, kepadatan kering lapangan yang dihasilkan minimal 95% dari kepadatan kering maksimum laboratorium sesuai dengan SNI 03-1742-1989.
- f) Setiap lapis dari material urukan harus memenuhi kadar air untuk pemadatan yang dibutuhkan dengan menggunakan alat *vibrator roller* dengan berat lebih dari 9 ton atau alat pemadat lain yang telah disetujui. Ini akan dapat dipenuhi dengan dilewati alat pemadat kira-kira 6 lintasan setiap lapis atau disesuaikan dengan hasil uji coba urukan/*trial embankment*.
- g) Untuk material yang ditempatkan berdekatan dengan struktur beton, penempatannya harus ditunda atau menunggu hingga struktur telah mencapai umur 28 hari. Material akan ditempatkan sepanjang mungkin disekitar struktur beton untuk memperkecil pembebanan tidak seimbang pada struktur, walaupun telah dipertimbangkan dalam perencanaan.

#### **8.4.2 Pemadatan Tanah Embung**

Inti tubuh embung dibuat di atas fondasi kedap air. Apabila ada lapisan fondasi lulus air, diperlukan tindakan:

- a) Menggali habis lapisan fondasi lulus air, bila pelaksanaannya mudah,
- b) Membuat dinding halang untuk memotong lapisan lulus air.

Sebelum pemadatan dilakukan, terlebih dahulu dilakukan tes uji urukan (*trial embankment*) untuk menentukan efektifitas dari beberapa metode pemadatan dari material yang tersedia untuk pekerjaan urukan. Sasaran hasil dari uji test urukan adalah untuk mengevaluasi efektifitas dari metode pemadatan yang berkaitan dengan jenis dan ukuran dari alat pemadat, jumlah lintasan untuk ketebalan lapisan yang disyaratkan, efek getaran terhadap kadar air dan aspek lain dari pemadatan.

Pemadatan tanah harus dilakukan lapis demi lapis menggunakan alat berat dengan cara dan ketentuan sebagai berikut:

##### **8.4.2.1 Tata Cara Pemadatan Tanah Berkohesi (Lempung)**

- a) Bersihkan tempat penambangan material urukan (*borrow area*) dari bahan organik, dengan mengupas permukaannya,
- b) Gali dan kemudian angkutlah material urukan ketempat tubuh embung dan tumpahkan bahan di atas tanah yang telah dipadatkan terlebih dahulu,
- c) Hamparkan tanah material urukan menjadi rata (lapisan) dengan ketebalan 25 cm, di atas lapisan tanah yang telah dipadatkan lebih dulu,
- d) Siram lapisan tanah butir (c) untuk mendapatkan kadar air  $-3 \leq w_f \leq 3\%$  OMC dan kriteria kepadatan minimal 90% MDD,
- e) Gilaslah lapisan tanah dengan alat pemadat yang sesuai sehingga tebalnya berkurang dari 25 cm menjadi 15 cm yang dapat dicapai kira-kira 6-8 kali lintasan.
- f) Ulangi pekerjaan (b), (c), (d), dan (e) hingga urukan mencapai elevasi yang dikehendaki.

Apabila tempat pemadatan cukup luas (contoh: tubuh embung) gunakan alat pemadat *sheepfoot roller*, atau bila tidak ada, gunakan *tandem roller*. Bila tempat pemadatan sempit (contoh: di puritan) gunakan alat *stamper*.

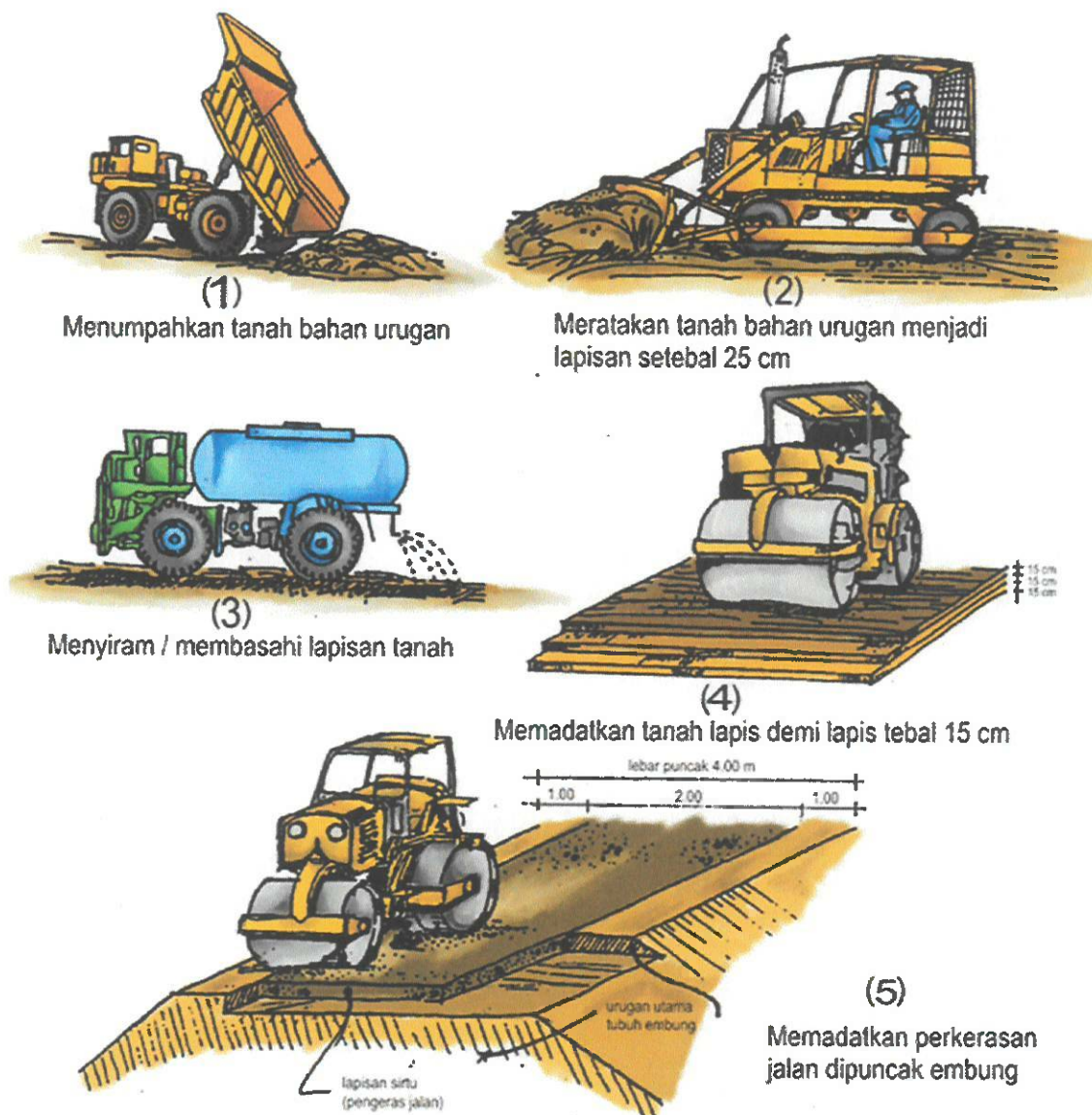
#### 8.4.2.2 Tata Cara Pemadatan Tanah Tak Berkohesi

- a) Tata cara seperti di atas harus dilakukan pula untuk tanah jenis ini, kecuali langkah no.(d) tidak diperlukan, sehingga urutannya adalah (a), (b), (c), dan (e), dengan catatan untuk pekerjaan (e) tebal lapisan menjadi 20 cm,
- b) Alat yang diperlukan untuk pemadatan tanah jenis ini adalah *tandem roller* bila tempat cukup luas, dan *stamper* bila tempat sempit,
- c) Alat pemadat zona tanah lempung tidak boleh melintasi urukan tanah tak berkohesi agar urukan tidak terkotori lempung.

#### 8.4.2.3 Tata Cara Pemadatan Tanah Ekspansif

Jika tanah untuk urukan diindikasikan merupakan tanah ekspansif maka dapat dipilih salah satu dari beberapa cara berikut:

- a) Jika terdapat tanah non-ekspansif, maka material urukan dapat diganti atau jika tidak mencukupi jumlahnya maka dapat dicampur dengan tanah ekspansif yang ada.
- b) Jika terdapat bahan tambahan seperti kapur, semen atau *fly-ash* maka salah satu bahan tersebut dapat dicampur dengan tanah non-ekspansif sebesar 5% - 7% untuk menurunkan indeks plastisitas dan potensi mengembang. Pencampuran dilakukan sebaik mungkin dengan menggunakan *backhoe*.
- c) Jika tidak tersedia bahan tambahan atau biaya yang terlalu mahal maka setelah tubuh embung dapat ditutup menggunakan geomembran sebagai penghalang kelembaban horisontal pada tanah ekspansif.
- d) Jika tanah ekspansif tetapi tidak bersifat dispersif dapat menggunakan urukan batu/rip-rap untuk memberikan beban ke tubuh embung, sehingga sifat kembang susutnya berkurang.



Gambar 93 Prosedur Pemadatan Tanah

Berdasarkan gambar di atas, dapat dilihat bahwa :

- e) Gambar (1) sampai Gambar (4) – Prosedur Pemadatan Tanah Lempung
- f) Gambar (5) – Pemadatan Jalan di Puncak Hamparan campuran pasir, kerikil, kerakal (sirtu) di puncak tubuh embung, lebar minimal 2 m, tebal 30 cm. Kemudian gilas sehingga tebalnya menjadi 20 cm.

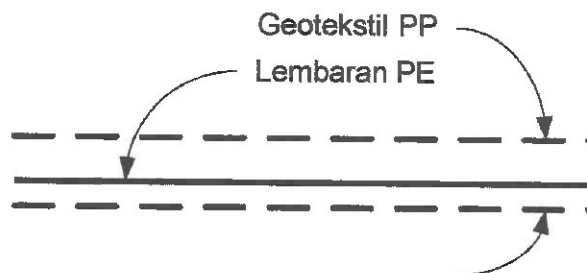
#### 8.4.2.4 Tata Cara Konstruksi dan Penempatan Geomembran

Konstruksi dan penempatan geomembran harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

##### 1. Sifat fisik

- a) Material geomembran bersifat kedap air dengan konstruksi komposit berupa bahan polyethylene yang berada di antara dua lembar teranyam (*woven*) atau tak teranyam (*nonwoven*) polypropylene atau bahan polyester. Geomembran harus lembam terhadap

bahan kimia dan hidrokarbon dan harus tahan terhadap lumut, akar, sinar ultra violet, serangga dan binatang pengerat.



**Gambar 94 Konstruksi komposit geomembran**

- b) Geomembran harus memenuhi persyaratan nilai-nilai gulungan rata-rata minimum (*minimum average roll values*) untuk sifat-sifat yang perlihatkan pada tabel di bawah ini.

**Tabel 80 Persyaratan minimum sifat-sifat geomembran**

Sifat	Persyaratan	Metoda Pengujian
Lebar, m (feet)	2,74 (9)	-
Tebal, mm (mils)	0,36 (14)	ASTM D5199
Grab tensile strength, kN (lbs.), pada saat putus atau perpanjangan 100% (tergantung mana yang terjadi lebih dulu)	756,16 (170)	ASTM D4632
Grab elongation saat putus, %	20	ASTM D4632
Kuat tusuk, kN (lbs.)	311,36 (70)	ASTM D4833
Kuat pecah, kPa (psi.)	1722,5 (250)	ASTM D3786
Sobekan trapezoid, kN (lbs.)	177,92 (40)	ASTM D4533
Permittivity	0 max	ASTM D4491

Nilai gulungan rata-rata minimum geomembran menyatakan hasil uji rata-rata dari suatu bagian geomembran pada arah yang terlemah yang diambil menurut ASTM D 4354 dan pengujiannya berdasarkan metoda uji di atas.

Contoh-contoh Geomembran harus diambil untuk diuji, tetapi contoh tidak boleh diambil dari ujung gulungan sejarak 1,52 m (5 feet) dari ujung tersebut. Panjang minimum contoh geomembran adalah 0,91 m (3 feet) dengan lebar gulungan penuh. Minimum satu sampel diambil untuk masing-masing bagian. Banyaknya contoh yang diambil tergantung pada perekayasa yang ditunjuk.

Kontraktor harus mengajukan contoh geomembran yang akan digunakan, yang dipilih berdasarkan persyaratan sifat-sifat material sebagaimana yang telah dibahas terdahulu, sebelum diaplikasikan di lapangan. Maksimal 3 buah produk geomembran dievaluasi dan diuji oleh pemberi tugas. Masing-masing kontraktor diharuskan menyertakan informasi produk dan sertifikat analisis.

## 2. Persyaratan pengujian

Uji laboratorium untuk memenuhi persyaratan-persyaratan di atas belum tercakup dalam Standar Nasional Indonesia (SNI), sehingga harus mengacu pada standar-standar yang dikeluarkan oleh ASTM (*American Society for Testing and Materials*), PGI (*PVC Geomembrane Institute*) dan GRI (*Geosynthetic Research Institute*).

## 3. Pengepakan (*packaging*)

Persyaratan pengepakan terdiri dari hal-hal berikut:

- a) material geomembran dipak dalam gulungan-gulungan dengan panjang dan lebar seperti yang telah ditentukan dalam rencana, sebagaimana yang diatur oleh perekrayasa, atau seperti yang tercantum di dalam perintah pembelian yang diberikan oleh pemberi kerja;
- b) penyerahan material sebagai satu potongan per gulungan;
- c) penggabungan potongan-potongan material pada gulungan tidak diijinkan;
- d) gulung material geomembran (dengan ukuran yang sama) ke dalam bentuk silinder yang sesuai untuk mempermudah penanganan dan pembukaan gulungan;
- e) bungkus masing-masing gulungan bahan ke dalam kontainer yang sesuai untuk melindungi bahan tersebut dari kerusakan akibat sinar ultraviolet dan kelembaban selama penyimpanan dan penanganan.

## 4. Pemberian etiket dan label

Tandai masing-masing gulungan dengan etiket atau label yang dilekatkan dengan aman di luar gulungan pada salah satu ujung gulungan. Etiket atau label tersebut harus mencantumkan hal-hal berikut:

- a) nomor gulungan yang unik, dinyatakan secara berurutan;
- b) nomor tempat atau nomor kendali dari pabrik, jika ada;
- c) nama pabrik pembuat;
- d) nama merek produk;
- e) nomor katalog bahan dari pabrik, jika ada;
- f) lebar gulungan dalam meter;
- g) panjang gulungan dalam meter.

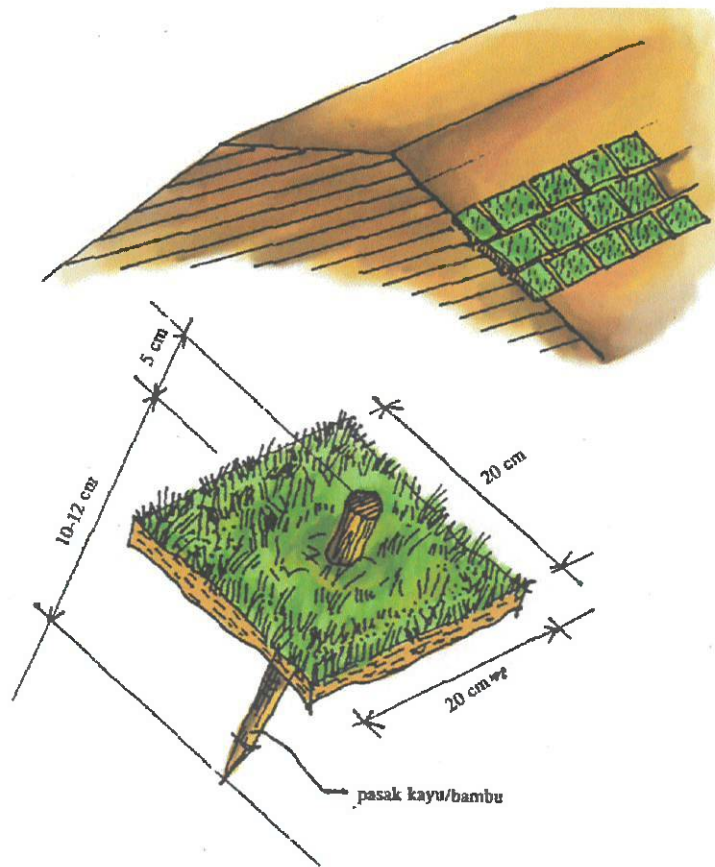
## 5. Konstruksi dan penempatan geomembran

- a) Geomembran harus dipasang dan dihamparkan secara tepat sesuai dengan Gambar Rencana atau petunjuk Direksi (Pengawas Lapangan), persyaratan-persyaratan dalam pedoman ini, serta rekomendasi dan persyaratan pemasangan yang dikeluarkan oleh pihak pabrik.

- b) Peralatan untuk menempatkan geomembran, baik secara mekanik maupun manual, harus mampu menangani keseluruhan gulungan geomembran dan dapat membaringkan geomembran tanpa menimbulkan kerutan dan lipatan pada posisi yang sudah ditentukan. Peralatan yang digunakan harus sesuai dengan rekomendasi pihak pabrik atau persetujuan pihak perekayasa.
- c) Permukaan tanah tempat geomembran akan digelar haruslah bersih dari benda-benda tajam/runcing dan tak yang dapat menimbulkan kerusakan pada geomembran.
- d) Permukaan tanah harus rata, Ketidakrataan permukaan tidak boleh melebihi 10 cm.
- e) Geomembran tidak boleh dipasang pada saat kondisi cuaca, yang tidak memungkinkan di mana terjadi hujan lebat atau cuaca/udara yang sangat panas. Pemasangan geomembran termasuk penyambungan/penjahitan (*seaming*) harus dilakukan pada suhu antara 4 °C (40 °F) sampai dengan 40 °C (104 °F). Instalasi juga tidak boleh dilakukan pada saat udara sangat lembab dan angin bertiup sangat kencang.
- f) Sambungan berupa *overlap* harus setidaknya selebar 61 cm (24 inci). Geomembran yang terentang dari parit vertikal sampai tanah dasar harus juga di-*overlap* minimum 61 cm (24 inci). Sambungan berupa jahitan tidak diperkenankan kecuali jika sambungan tersebut dilakukan di pabrik dan telah terbukti kedap air.
- g) Penimbunan material urukan setelah penggelaran geomembran harus dilakukan dengan baik sehingga geomembran tidak mengalami beban melebihi tegangan ijin material. Material urukan harus disebarakan secara merata tiap lapis dengan tinggi urukan tidak melebihi 50 cm dan penimbunannya harus dilakukan pada satu arah dan dimulai dari satu titik tertentu. Peralatan konstruksi tidak boleh berada langsung di atas geomembran dan baru dapat diijinkan beroperasi di atasnya bila tinggi urukan telah mencapai paling tidak 30 cm. Kerusakan geotekstil selama penimbunan material urukan harus diperbaiki atas petunjuk Direksi (Pengawas Lapangan).

#### **8.4.3 Pemasangan Gebalan Rumput**

- a) Tempelkan gebalan rumput pada permukaan lereng hilir urukan tubuh embung. Sambungan vertikal tidak boleh dalam satu garis lurus. Ukuran gebalan 20 x20 cm.
- b) Pasang pasak bambu/ kayu, Ø 10-15 mm panjang 15 cm, pada gebalan rumput untuk memperkuat ikatannya dengan urukan.
- c) Pemasangan dilakukan sedapat mungkin dimulai dari baris atas dan dilanjutkan dengan baris di bawahnya.

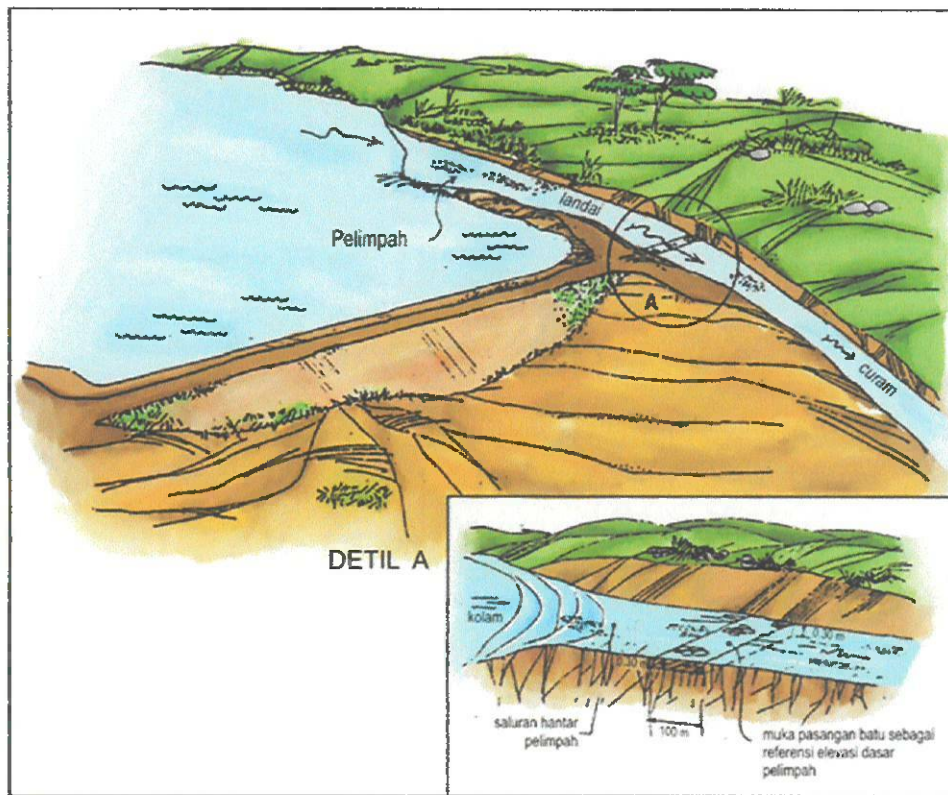


Gambar 95 Susunan gebalan rumput

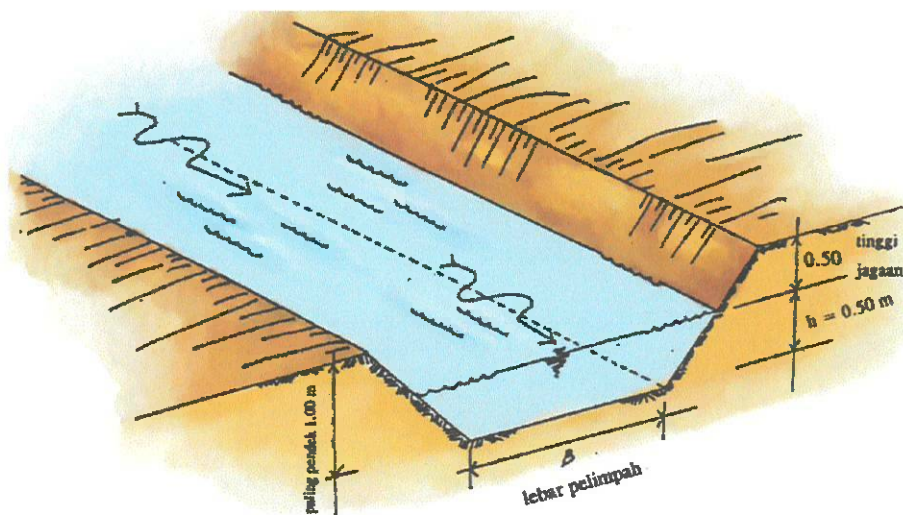
## 8.5 Konstruksi Pelimpah

Konstruksi pelimpah dapat memperhatikan alur pekerjaan sebagai berikut:

- a) Gali saluran pelimpah di bukit tumpu dengan *dozer* atau *ripper*, terpisah dari tubuh embung, kapasitas  $Q_{50}$ . Saluran ini bermula dari kolam embung dan turun menuju alur di hilir tubuh embung.
- b) Tanam rumput – pelindung erosi dari jenis:
  - 3) Jenis yang tumbuh rendah dan rapat (*encephalum sp*) di bagian saluran yang landai (hulu).
  - 4) Jenis yang tumbuh tinggi (gajah) di bagian saluran yang curam (hilir).
- c) Buat pelat beton/ pasangan batu (ukuran: tebal 30 cm, lebar 100 cm) rata dengan dasar saluran dan tempatkan di saluran bagian hulu sebagai referensi elevasi dasar pelimpah (detil A).



Gambar 96 Pelimpah tanah di samping tubuh embung



Gambar 97 Dimensi saluran pelimpah

Lebar saluran pelimpah (B dalam meter) untuk berbagai debit (Q dalam  $m^3/s$ ) dan kemiringan dasar (i).

Tabel 81 Hubungan debit dan kemiringan dasar untuk lebar saluran pelimpah

\*tambahkan kolam olak

Debit ( $m^3/s$ )	Kemiringan dasar saluran					Keterangan
	0,001	0,002	0,004	0,005	0,0075	
5	35	18	12	8	7	

10	-	35	22	16,50	13	Dasar dan dinding saluran dilindungi terhadap erosi dengan rumput rendah (misal: encephalum Sp).
15	-	-	32	23	18	
20	-	-	42	32	25	
25	-	-	-	38	32	
30	-	-	-	46,50	37	

Sumber: SNI 8063:2015

## 8.6 Konstruksi Sistem Distribusi

Berikut langkah – langkah pekerjaan yang dilakukan untuk pembangunan sistem distribusi:

- a) Alat sadap terapung, dibuat dengan cara ujung pipa utama dilubangi (*perforated*) sepanjang 1,5 m dan dibungkus dengan *filter* geotekstil, kemudian digantungkan pada pelampung (misal bola plastik).
- b) Pipa utama, dari bahan HDPE Ø 2" dipasang pada galian kemudian diurug kembali. Di bawah tubuh embung pipa diberi lembaran karet 30 cm x 30 cm setiap jarak 5 m kemudian diurug lempung plastik dipadatkan dalam keadaan basah.
- c) Pipa sekunder, ada 3 buah semua dari bahan HDPE Ø 1 1/4". Pipa ini dipasang dalam parit yang ditimbun kembali, langsung disambungkan pada pipa utama, dan masing-masing menuju ke tiga buah bak air.
- d) Bak air, ada 3 jenis, yaitu:
  - 1) Bak air bersih untuk penduduk di pemukiman, berukuran : lebar 1 m, panjang 2 m, tinggi 150 cm.
  - 2) Bak air untuk hewan ternak dibuat di tempat penggembalaan, berukuran lebar 1 m, panjang 2 m, tinggi 0,6 m.
  - 3) Bak air untuk tanaman dibuat di kebun, berukuran lebar 0,8 m, panjang 9 m, serta tinggi 0,6 m.
- e) Penguras, berupa pipa bercabang, dipasang sebuah di kaki hilir tubuh embung dan selanjutnya dipasang di pipa utama pada setiap jarak maksimal 100 m, dan minimal dipasang dua buah.

## 8.7 Pemasangan Instrumentasi

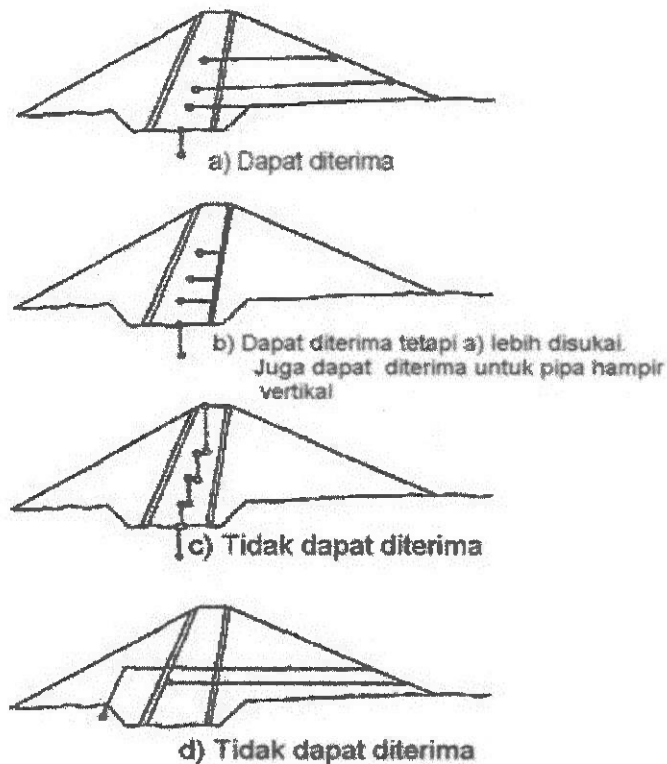
### 8.7.1 Instrumentasi Bangunan Baru

Terdapat banyak pilihan dalam desain pemasangan sistem instrumentasi untuk bangunan baru. Beberapa pertimbangan yang harus diperhatikan dalam pemasangan instrumen dapat diuraikan sebagai berikut:

- a) Pemasangan tabung, dan kabel instrumen dalam inti embung harus dipasang horizontal seperti diperlihatkan pada Gambar 98 (a) dan ditarik sampai dengan lereng udik ke dalam rumah instrumen.

- b) Cara pemasangan seperti Gambar 98 (b) yaitu menarik horizontal sampai dengan perbatasan antara inti, dan filter bisa saja dilakukan, tetapi tidak dianjurkan.
- c) Pemasangan tabung, dan kabel secara vertikal, dan horizontal seperti diperlihatkan pada Gambar 98 (c) tidak diperkenankan karena akan mempersulit proses pemadatan waktu konstruksi. Pemasangan secara vertikal dapat saja dilakukan melalui zona lain dari tubuh embung.
- d) Tabung horizontal, dan kabel jangan diperpanjang secara horizontal penuh melalui bagian udik, inti (Gambar 98 (d)), dan keluar melalui bidang permukaan hilir embung tidak dianjurkan.

Selain itu, keterlibatan instrumentasi dalam konstruksi embung dapat (hampir tak terelakkan) menyebabkan keterlambatan pada jadwal pelaksanaan. Penjadwalan pemasangan kabel harus dikoordinasikan dengan kegiatan lain untuk menghindari kerusakan pada kabel oleh alat konstruksi. Instrumen harus cukup terlindung, dan di tempatkan dengan tanda-tanda yang jelas misalnya dengan pemasangan bendera.



**Gambar 98 Contoh penempatan tabung, dan kabel yang diperkenankan, dan tidak diperkenankan**

### 8.7.2 Instrumentasi Bangunan yang Ada

Pemasangan instrumen di permukaan embung, dan penggantian sensor yang tidak tertanam pada umumnya tidak menimbulkan kesulitan dalam pemasangan. Akan tetapi, satu-satunya pilihan untuk pemasangan atau penggantian instrumen pada lapisan di bawah permukaan embung atau tanggul adalah dengan pengeboran. Tekanan air atau udara yang digunakan pada waktu pengeboran dalam lubang bor dapat merusak embung karena hidrofraktur. Hidrofraktur adalah proses yang dapat menimbulkan terbentuknya retakan, bidang geser, jalur rembesan, dan atau kondisi merusak lain yang dapat terjadi selama proses pengeboran. Inti kedap terutama

sangat rentan atau mudah rusak pada waktu dilakukan pengeboran. Oleh. Oleh karena itu, dari segi praktis pengeboran dalam embung atau fondasi menggunakan tekanan udara (termasuk udara dengan busa) tidak diperbolehkan.

### **8.8 Pelaksanaan Pengisian Awal Embung**

Pengisian awal embung dilakukan setelah pelaksanaan konstruksi embung selesai. Permohonan pengisian embung harus sudah memenuhi persyaratan teknis sebagai berikut.

- a) Laporan akhir pelaksanaan konstruksi
- b) Rencana pengisian awal embung
- c) Rencana pengelolaan embung

Izin pengisian awal embung paling sedikit memuat:

- a) Identitas Pembangun embung
- b) Lokasi embung yang dibangun
- c) Jenis dan tipe embung yang dibangun
- d) As built drawing
- e) Rencana pengisian awal embung
- f) Ketentuan hak dan kewajiban

Dalam jangka waktu 1 (satu) tahun sejak diterbitkannya izin pengisian awal embung, Pembangun embung wajib melaksanakan pengisian awal embung sesuai dengan rencana pengisian awal embung.

### **8.9 Kelengkapan Dokumen Pasca Konstruksi**

Dokumen-dokumen yang harus disiapkan setelah pelaksanaan konstruksi pelaksanaan adalah sebagai berikut.

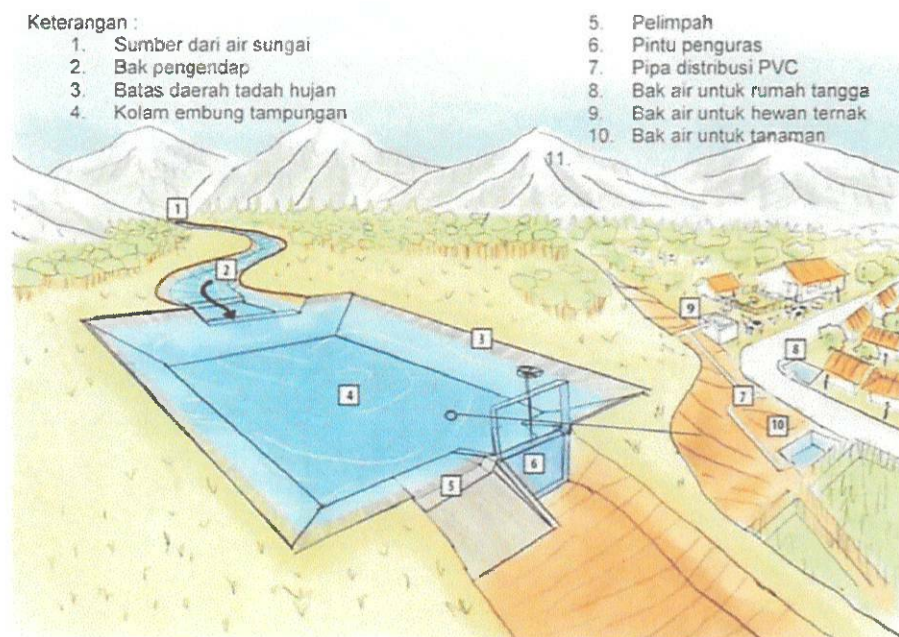
- Kontrak, Rencana Mutu Kontrak (RMK), addendum kontrak (jika embung dibangun secara kontraktual), perhitungan MC.0, dan perhitungan MC.100.
- Gambar perencanaan (Shop Drawing, Construction Drawing, As Built Drawing)
- Laporan harian/ mingguan/ bulanan
- Foto dokumentasi pelaksanaan (0%, 50%, dan 100%)
- Berita acara serah terima pekerjaan
- Manual Operasi dan Pemeliharaan
- Surat kepemilikan aset

## BAB III

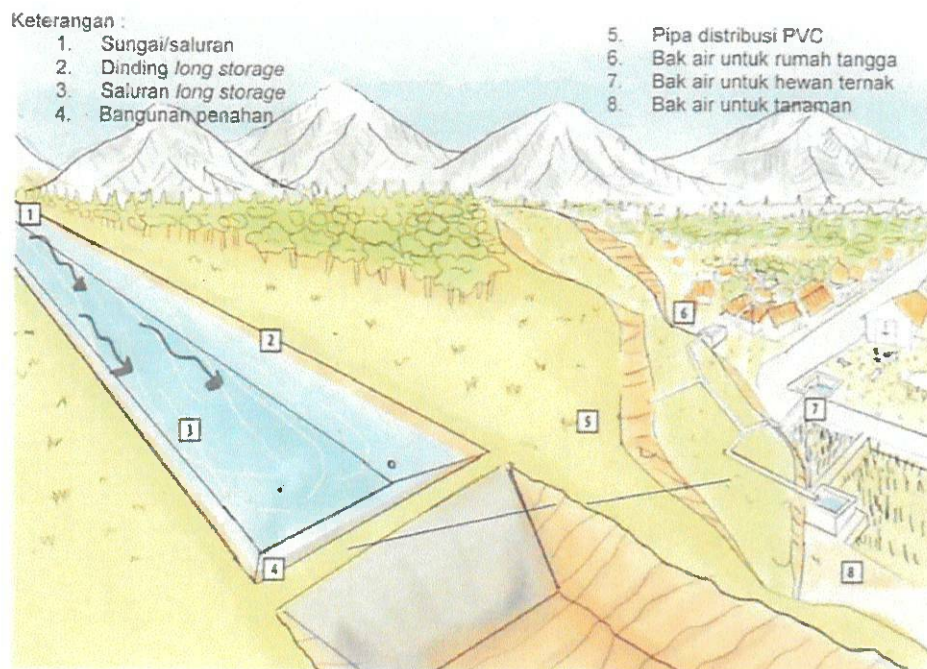
### Embung dengan Bentuk Kolam

#### 1 Umum

Embung dengan bentuk kolam dibangun dengan cara menggali lahan dan membentuk tampungan berbentuk kolam. Sumber air embung berbentuk kolam adalah sungai, air hujan, mata air, sungai mati, dan lain-lain. Pada umumnya embung dengan bentuk kolam ini terdapat di luar alur sungai (saluran *off stream* atau saluran di luar badan sungai), namun ada pula yang terdapat di dalam alur sungai contohnya *long storage*, yaitu bangunan penahan air yang berfungsi menyimpan air dalam sungai, kanal dan/ atau parit pada lahan yang relatif datar dengan cara menahan aliran untuk menaikkan permukaan air sehingga volume tampungan airnya meningkat. Komponen-komponen yang terdapat dalam embung berbentuk kolam adalah sebagai berikut.



Gambar 1 Komponen Embung dengan Bentuk Kolam

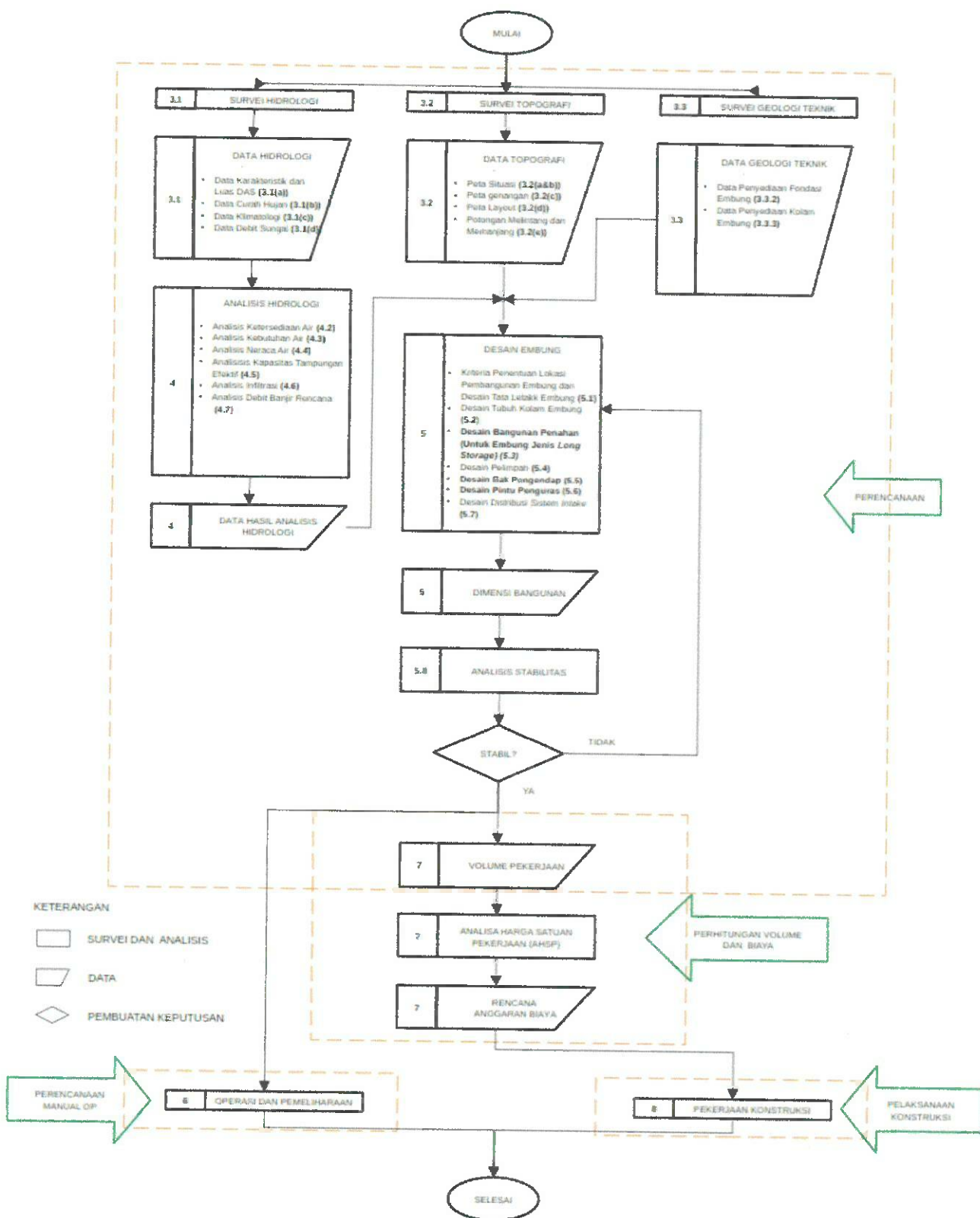


**Gambar 2 Komponen Long Storage**

Bangunan utama dari embung dengan bentuk kolam adalah kolam embung. Kolam embung adalah cekungan yang digunakan untuk menampung suplai aliran air dan air hujan serta digunakan untuk menjaga kualitas air tanah, mencegah banjir, estetika, dan pengairan. Sedangkan komponen lainnya seperti pelimpah, bangunan penahan, pintu penguras, pipa distribusi, dan bak distribusi adalah bangunan pelengkap.

## 2 Proses Desain Embung dengan Bentuk Kolam

Berikut ini adalah skema proses dalam mendesain embung dengan bentuk kolam:



Gambar 3 Skema Proses Desain Embung

### 3 Survei dan Pengumpulan Data

#### 3.1 Data Hidrologi

Data yang dibutuhkan dalam analisa hidrologi ini adalah data sekunder dan data primer hasil pengukuran berupa :

- a) Data karakteristik dan luas DAS yang diperoleh dari peta topografi (Rupabumi skala 1:25.000), peta jenis tanah, peta tutupan lahan (yang dihasilkan dari interpretasi citra dengan umur data 3-5 tahun)
- b) Data Curah Hujan diperoleh dari satu atau lebih pos curah hujan terdekat dan atau data satelit dengan periode minimal harian.
- c) Data Klimatologi diperoleh dari pos klimatologi terdekat dan atau data satelit.
- d) Data Debit Sungai dapat diperoleh dari sungai terdekat dengan lokasi embung (jika ada).

Ketersediaan data hidrologi dalam suatu DAS sangat mempengaruhi pemilihan metode/pendekatan analisis debit banjir rencana yang akan digunakan untuk perencanaan maupun *review study* embung. Data hidrologi yang dimaksud meliputi:

- a) Data hujan jam-jam-an dan atau harian
- b) Data debit jam-jam-an dan atau harian
- c) Data tinggi muka air jam-jam-an dan atau harian

Disamping data hidrologi, diperlukan juga data penunjang lainnya seperti:

- a) Peta DEM (*Digital Elevation Model*)
- b) Peta tata guna lahan, tanah, topografi/ RBI (Rupa Bumi Indonesia)

#### 3.2 Data Topografi

Pemetaan situasi (peta skala besar) dan penyelidikan geoteknik dilakukan setelah penentuan lokasi embung. Hal yang harus diperhatikan pada waktu pemetaan adalah sebagai berikut:

- a) Pemetaan situasi dilakukan meliputi seluruh daerah tadah hujan dan lokasi embung. Pemetaan situasi masuk dalam Kategori Peta RBI skala besar adalah skala 1:5.000, 1:2.500 dan 1:1000. Peta RBI skala besar ini bisa dibuat dengan menggunakan teknologi citra satelit resolusi sangat tinggi, foto-udara konvensional, pesawat nir awak (*Unmanned Aircraft System / UAS* atau drone), *Light Imaging Detecting and Ranging (Lidar)* dan survey terestris (BIG,2017). Untuk panduan dapat digunakan spesifikasi teknis peta rupabumi skala 1 : 10.000 (sampai spesifikasi teknis peta skala besar diterbitkan).
- b) Peta situasi minimal dibuat dengan skala 1 : 1 000 dengan perbedaan kontur ketinggian maksimum 1 meter. Ketinggian hendaknya mengacu pada bidang permukaan laut rata-rata (*Mean Sea Level / MSL*) atau di atas permukaan laut (dpl)
- c) Peta genangan minimal dibuat dengan skala 1 : 2 000. Metode yang digunakan adalah
  - Area genangan dapat menggunakan hasil pemotretan udara

- Untuk kedalaman dapat dilakukan survey batimetri sesuai dengan SNI 82832016 (Metode pengukuran kedalaman menggunakan alat perum gema untuk menghasilkan peta batimetri) atau sejenisnya.
- d) Peta *layout* minimal dibuat dengan skala 1 : 1 000, sesuai dengan kaidah kartografi dan mengacu kepada SNI 6502.2-2010 (Spesifikasi penyajian peta rupa bumi 25.000) dan disesuaikan dengan skala peta.
- e) Potongan melintang dan memanjang minimal dibuat dengan skala 1 : 100. Ketelitian vertikal mengacu ke Perka BIG no 15 tahun 2004 tentang pedoman ketelitian peta dasar

### 3.3 Penyelidikan Geologi Teknik

#### 3.3.1 Umum

Penyelidikan geoteknik bertujuan untuk menilai karakteristik fondasi dan bahan urukan (*borrow area*) dan kedua tumpuan urukan yang dapat dilakukan merupakan penyelidikan tanah sederhana dengan memilih salah satu metode sesuai kebutuhan dan kemampuan alat. Penyelidikan geoteknik dilakukan dengan survei di lapangan dan pengujian di laboratorium. Penyelidikan geoteknik dengan survei lapangan dapat dilakukan menggunakan dengan salah satu metode berikut ini:

- a) Pemboran tangan;
- b) Sondir tangan yang mengacu pada SNI 4153:2008;
- c) Pembuatan sumur uji atau parit uji sesuai SNI 03-6376-2000.

Untuk embung dengan bentuk kolam, jumlah titik bor minimalnya adalah 3, yaitu di bagian *intake*, pelimpah, dan tengah kolam embung.

Jika daerah embung berupa tanah maka harus dilakukan pengambilan contoh tanah dan diuji di laboratorium yang meliputi:

- a) Sifat fisik sebagai berikut:
  - 1) Kadar air asli sesuai SNI 1965:2008;
  - 2) Berat jenis sesuai tanah sesuai SNI 1964:2008;
  - 3) Distribusi butir sesuai SNI 3962:1995;
  - 4) Atterberg sesuai dengan SNI 1966:2008;
- b) Sifat teknik:
  - 1) Standar proctor sesuai dengan SNI 2832:1992 dengan batas  $-2\% \leq OMC \leq +2\%$ ;
  - 2) Kuat geser sesuai dengan SNI 2813:2008;
  - 3) Konsolidasi sesuai dengan SNI 2455:2015;
  - 4) Permeabilitas sesuai dengan SNI 1965:2008.

Jika daerah embung berupa batu maka perlu pengamatan struktur batuan untuk menilai sifat lulus air dan stabilitasnya.

Hasil survei dan pengujian tersebut dapat dikorelasikan dengan hasil pengukuran geolistrik yang dilakukan berdasarkan SNI 2528:2012 atau SNI 2818:2012 sehingga dihasilkan formasi batuan pada lokasi tubuh embung, pelimpah dan bahan urukan.

### 3.3.2 Fondasi Embung

Kondisi fondasi harus berupa tanah keras (nilai SPT > 15 kali/30cm, nilai sondir > 45 kg/cm<sup>2</sup>). Fondasi embung dibagi menjadi dua kelompok besar (batu dan tanah) yaitu:

#### a) Batu

Jenis batu dapat berupa batuan beku, batuan sedimen atau batuan malihan. Batu yang digunakan untuk fondasi umumnya merupakan batuan yang stabil, kecuali bila terdapat struktur yang rentan terhadap pergerakan. Struktur adalah bidang diskontinuitas atau batuan hancur yang arah dan kemiringannya tidak menguntungkan. Fondasi jenis ini dapat mendukung bangunan dari urukan tanah, maupun pasangan atau beton.

#### b) Tanah

##### (a) Tanah berkohesi

Tanah berkohesi merupakan tanah berbutir halus misalnya lempung

##### (b) Tanah tak berkohesi

Tanah tak berkohesi atau berbutir kasar misalnya pasir.

Jika tanah fondasi embung memiliki permeabilitas tinggi seperti gambut atau bertanah lunak, maka tanah harus diberi perkuatan terlebih dahulu misalnya dengan cerucuk, kemudian bagian kolam embung juga dilapisi dengan geotekstil. Selain itu untuk fondasi dengan jenis kapur atau karang juga perlu diberikan perkuatan sesuai dengan kondisi lapangan.

Pemilihan jenis fondasi harus memperhatikan sifat umum tanah tak berkohesi yaitu pada saat mendapat beban maka akan mengalami konsolidasi, tetapi jika proses konsolidasi tidak seragam maka akan menimbulkan retak pada bangunan di atasnya.

Tanah juga mempunyai kekuatan geser rendah, sehingga bangunan yang menumpang di atasnya berpotensi rusak karena longsor. Bangunan yang cocok untuk fondasi tanah ini adalah tipe urukan. Jika lapisan tanah tidak terlalu tebal, sebaiknya lapisan tersebut digali habis sampai dengan lapisan batu.

Tanah berbutir kasar (alluvial)

Tanah ini bersiat mudah lulus air tetapi kuat geser relatif lebih tinggi dibandingkan tanah kohesif.

### 3.3.3 Kolam Embung

Aspek geoteknik kolam embung yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

#### a) Infiltrasi air

Infiltrasi air bisa terjadi melalui rongga antar butir atau melalui retakan. Penanganan dari kemungkinan terjadinya infiltrasi air tersebut dapat didiskusikan dengan ahli geoteknik/geologi.

- 1) Infiltrasi melalui rongga antar butir terjadi pada tanah tak berkohesi, misalnya pasir, lanau, tanah berkohesi yang permeabilitasnya tinggi atau batu pasir.
- 2) Infiltrasi melalui retakan terjadi pada batu yang mengandung banyak retakan yang bersifat terbuka dan saling berhubungan. Rongga-rongga dalam batu gamping yang terbentuk karena pelarutan kimia dan meninggalkan rongga-rongga yang saling berhubungan dalam batu gamping juga dapat menyebabkan infiltrasi.

Infiltrasi melalui fondasi tubuh embung dapat menyebabkan stabilitas tubuh embung terganggu karena rembesan. Rembesan melalui fondasi lanau atau pasir dapat menyebabkan terjadinya proses erosi buluh.

Sedangkan infiltrasi yang terjadi pada dinding kolam menyebabkan kehilangan air kolam. Besarnya kehilangan air tergantung pada sifat lulus air material dasar dan dinding kolam. Untuk kebutuhan praktis, sifat lulus air dalam hubungannya dengan kehilangan air tersebut, dibagi menjadi tiga kelas yaitu: kedap air, semi lulus air dan lulus air.

#### b) Stabilitas dinding embung

Pada umumnya, material urukan di daerah depresi (cekungan) terdapat di dalam lembah calon kolam embung. Penggalan material dari dasar embung akan menambah kapasitas tampung embung. Kemiringan galian harus dibuat dengan mempertimbangkan kondisi geotekniknya. Dinding embung bisa terdiri atas tanah atau batu, atau keduanya.

- 1) Bila dinding embung terdiri atas tanah, maka lereng kolam harus disesuaikan dengan sudut lereng alam dalam kondisi jenuh (lihat bagian a pada gambar galian dan stabilitas dinding embung).
- 2) Bila dinding embung terdiri atas batu, maka perlu diperhatikan kemiringan bidang diskontinuitasnya. Yang dimaksud dengan bidang diskontinuitas adalah semua struktur yang menyebabkan masa batuan terpisah atau bahkan terpecah-pecah. Bidang itu bisa berupa pelapisan atau kekar.

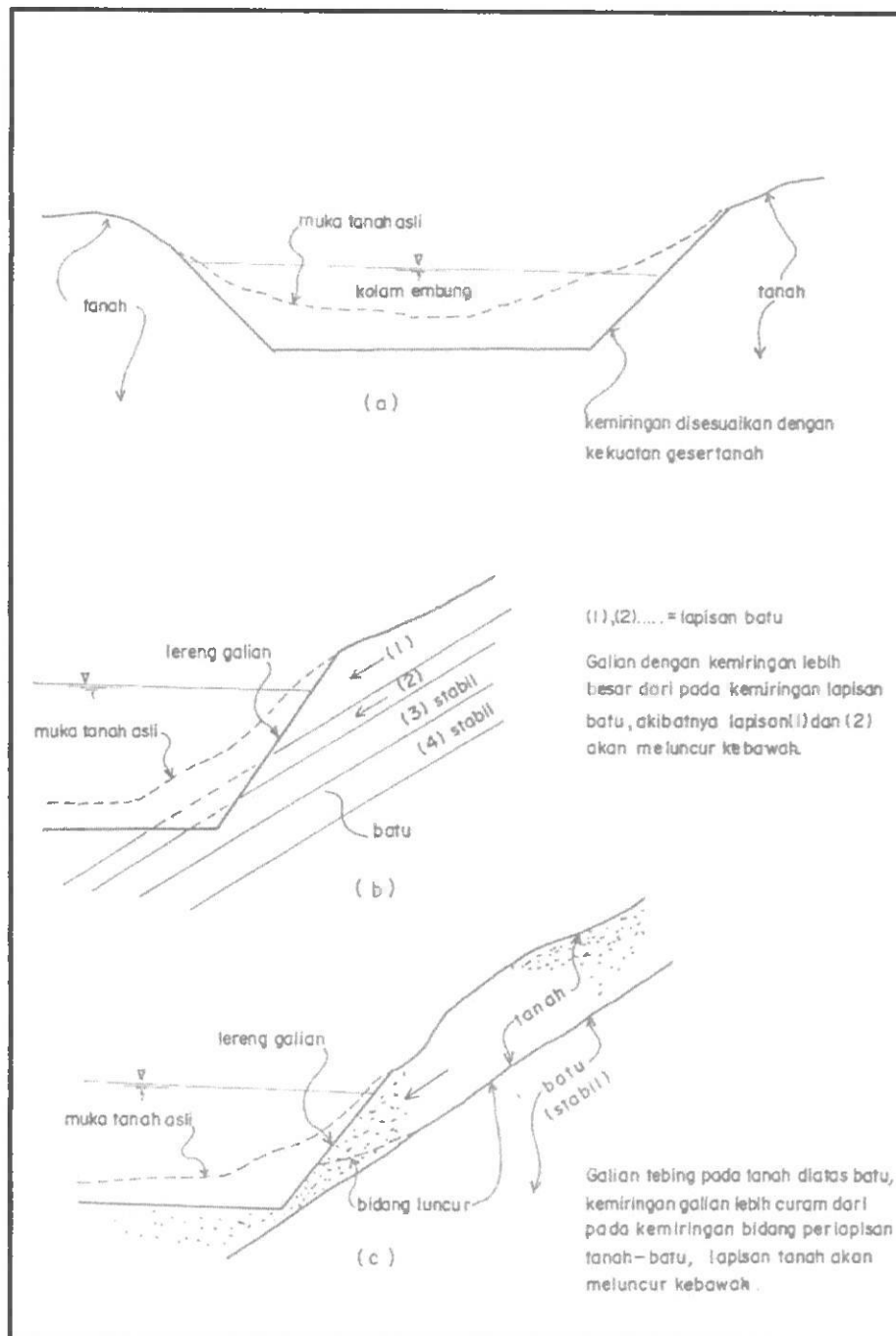
Apabila bidang diskontinuitas miring ke arah embung dengan sudut kemiringan berkisar antara  $20^\circ$  sampai dengan  $80^\circ$  maka lereng cenderung tidak stabil dan berpotensi longsor ke dalam waduk. Galian pada batu seperti itu harus dibuat dengan kelandaian minimal sebesar kemiringan bidang diskontinuitasnya (lihat bagian b pada gambar galian dan stabilitas dinding embung).

- 3) Bila dinding embung terdiri atas lapisan tanah yang menumpang di atas batu, maka galian pada lapisan tanah akan potensial longsor. Longsoran ini terjadi akibat lereng

kehilangan tumpuannya sehingga lapisan tanah bergerak meluncur di atas batu (longsoran planar). Kejadian semacam ini hanya dapat dicegah dengan cara menempatkan bangunan penahan, atau menggali lapisan tanah sesuai kemiringan batuan dasarnya (lihat bagian c pada gambar galian dan stabilitas dinding embung).

- 4) Kedalaman penggalian di calon lokasi embung yang akan digunakan sebagai material urukan supaya memperlihatkan lapisan tanah atau batuanya. Penggalian yang terlalu dalam dapat mengakibatkan bocoran dasar embung.

Ketiga hal tersebut di atas harus pula dipertimbangkan dalam mendesain kemiringan galian dinding saluran pelimpah dan galian lainnya.



**Gambar 4 Galian Dan Stabilitas Dinding Embung**

## 4 Analisis Hidrologi

### 4.1 Umum

Secara umum analisis hidrologi merupakan bagian dari analisis awal dalam perencanaan bangunan-bangunan pengairan. Dari analisis hidrologi, diperoleh informasi penting antara lain ketersediaan air, kebutuhan air, debit banjir rencana, elevasi muka air normal dan elevasi muka air banjir. Analisis hidrologi untuk perencanaan embung, meliputi tiga hal, yaitu:

- a) aliran masuk (*inflow*) yang mengisi embung,
- b) tampungan embung, dan
- c) banjir desain untuk menentukan kapasitas dan dimensi bangunan pelimpah (*pelimpah*).

Untuk menghitung semua besaran ini, lokasi dari rencana embung harus ditentukan dan digambarkan pada peta. Hal ini dilakukan supaya penetapan dari hujan rata-rata dan evapotranspirasi yang tergantung dari lokasi dapat ditentukan. Luas daerah tadah hujan atau cekungan harus sudah dihitung. Luas genangan embung harus diperkirakan dan elevasi dasar alur di tempat embung serta elevasi tertinggi di daerah cekungan juga harus ditentukan.

### 4.2 Analisis Ketersediaan Air

Dihitung berdasarkan analisis curah hujan, evapotranspirasi, hujan limpasan, dan ketersediaan air rata-rata bulanan

#### 4.2.1 Umum

Analisis hujan limpasan harus dilakukan dengan memperhatikan hal - hal sebagai berikut :

- a) Jika tersedia data debit pada sungai yang mempunyai karakteristik DAS yang sejenis dengan DAS embung yang akan dihitung, maka perhitungan mengacu pada SNI 6738:2015, Perhitungan debit andalan sungai dengan kurva durasi debit.
- b) Jika hanya tersedia data hujan dengan data debit terbatas, gunakan analisis hujan-debit limpasan misalnya menggunakan metode NRECA yang terkalibrasi. Jika tidak ada sama sekali kalibrasi, maka diperlukan asumsi penyesuaian parameter agar mewakili kondisi sesungguhnya.
- c) Jika tidak ada data hujan, maka mengacu pada Peta Ketebalan Aliran bulanan yang dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial atau mengacu pada "*Petunjuk Teknis Balai Bendungan<sup>1</sup>*" menggunakan data satelit pada lokasi bersangkutan dengan kalibrasi pada pos hujan terdekat yang diperkirakan memiliki karakteristik yang sama.

Setelah itu bandingkan antara besar tampungan, kebutuhan air, dan ketersediaan air. Dari ketiga hal tersebut dipilih yang paling kecil sebagai kapasitas tampung efektif (KTE).

---

<sup>1</sup> Ditjen SDA Kementerian PUPR, 2017

#### 4.2.2 Potensi Ketersediaan Air

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam menghitung potensi ketersediaan air yaitu metode NRECA.

Dalam metode NRECA terdapat dua tampungan yaitu tampungan kelengasan (*moisture storage*) dan tampungan air tanah (*groundwater storage*). Tampungan kelengasan ditentukan oleh hujan dan evapotranspirasi aktual. Tampungan air tanah ditentukan oleh kelebihan kelengasan (*excess moisture*).

Data masukan yang diperlukan dari metode hujan-limpasan NRECA adalah sebagai berikut.

- a) Hujan Rata-rata dari suatu DAS (P)
- b) Evapotranspirasi Potensial dari DAS (PET)  
Jika data yang ada adalah evapotranspirasi standar (ET<sub>o</sub>) maka  $PET = C_f \times ET_o$ , dimana  $C_f$  adalah faktor tanaman.
- c) Kapasitas Tampungan Kelengasan (NOM)  
Diperkirakan nilai  $NOM = 100 + (0.2 \times \text{hujan rata-rata tahunan (mm)})$ , dimana nilai  $C = 0.2$  untuk DAS yang hujannya terjadi terus-menerus sepanjang tahun, dan  $C < 0.2$  untuk DAS yang mempunyai tipe hujan musiman.
- d) Persentase limpasan yang keluar dari DAS di sub *surface* atau infiltrasi (PSUB). Parameter PSUB adalah parameter model yang menggambarkan bagian dari kelebihan hujan dan menjadi imbuhan. Sisanya mengalir sebagai aliran langsung yang terdiri dari aliran permukaan dan bawah permukaan. Tampungan air tanah menampung air imbuhan tersebut yang dikeluarkan menjadi aliran dasar di sungai. Besarnya aliran dasar yang dikeluarkan adalah GWF kali jumlah tampungan, dengan sendirinya GWF nilainya lebih kecil dari satu. Makin besar GWF makin banyak air yang dikeluarkan dari tampungan sehingga air tampungan akan cepat habis, begitu pula sebaliknya. Kombinasi parameter PSUB dan GWF memegang peranan penting dalam menentukan hidrograf aliran di sungai yang merupakan penjumlahan antara debit aliran langsung dan aliran dasar.  
Nilai PSUB berkisar antara 0.1 – 0.5  
Nilai median berkisar antara 0.6
- e) Persentase limpasan tampungan air tanah menuju ke sungai (GWF)  
Nilai GWF berkisar antara 0.5 – 0.9
- f) Nilai awal dari tampungan kelengasan tanah (*Soil Moisture Storage*)
- g) Nilai awal dari tampungan air tanah (*Ground Water Storage*)

Pemilihan parameter NRECA yang paling optimum didasarkan pada parameter dari DAS masing-masing. Data masukan yang diperlukan dari model hujan-limpasan NRECA adalah sebagai berikut :

- a) Hujan rata-rata bulanan dari suatu DAS.
- b) Evapotranspirasi potensial bulanan dari DAS (PET).
- c) Kapasitas tampungan kelengasan (NOM) dapat diperkirakan sebagai berikut :  
 $NOM = 100 + c \times \text{hujan rata-rata tahunan (mm)}$ .

dengan :

$c \geq 0,20$  bila cekungan mengalami hujan terus-menerus sepanjang tahun.

$c < 0,20$  bila cekungan mengalami hujan musiman.

Harga nominal dapat dikurangi hingga 25 % untuk daerah dengan tetumbuhan dan penutup tanah yang tipis.

- d) Persentasi limpasan yang keluar dari DAS di sub surface (PSUB). Nilai PSUB sebagai parameter yang menggambarkan karakteristik tanah permukaan berkisar antara 0.3 sampai dengan 0.9 tergantung pada sifat lulus air lahan.
- PSUB = 0,50 untuk daerah dengan hujan sepanjang tahun.
  - $0,50 < PSUB \leq 0,90$  untuk daerah dengan akuifer permeable yang besar.
  - $0,30 < PSUB \leq 0,50$  untuk daerah dengan akuifer terbatas dan lapisan tanah yang tipis
- e) Persentasi limpasan tampungan air tanah menuju ke sungai (GWF) yang berkisar 0.2 sampai dengan 0.8.
- GWF = 0,50 untuk daerah tangkapan hujan yang normal/biasa
  - $0,50 < GWF \leq 0,80$  untuk daerah yang memiliki aliran menerus yang kecil
  - $0,20 < PSUB \leq 0,50$  untuk daerah yang memiliki aliran menerus yang dapat diandalkan.
- f) Nilai awal dari tampungan kelengasan tanah (SMSTOR) dan air tanah (GWSTOR).
- g) Faktor tanaman (CROPF).

Urutan langkah perhitungan untuk limpasan bulanan adalah sebagai berikut :

- a) Perhitungan hujan wilayah dan evapotranspirasi potensial standar di daerah pengaliran (P dan Eto).
- b) Menentukan parameter model : NOM, PSUB, GWF dan nilai awal tampungan kelengasan tanah (SMSTOR) dan tampungan air tanah (GWSTOR) yang akan digunakan dalam proses kalibrasi atau penyesuaian.
- c) Perhitungan Angka tampungan tiap bulan (*storage ratio*) :  $Sr = SMSTOR/NOM$ , dimana untuk bulan ke 1 SMSTOR = angka awal tampungan dan untuk bulan selanjutnya adalah  $SMSTOR (n) = SMSTOR (n-1) + S(n-1)$ , S(n-1) adalah perubahan tampungan pada bulan sebelumnya.
- d) Perhitungan angka perbandingan antara hujan dan evapotranspirasi potensial :  $R = P/PET$
- e) Perhitungan evapotranspirasi actual (AET), dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ini :  $AET = k1 \times PET$ .
- K1 adalah koefisien evapotranspirasi yang tergantung pada nilai R dan Sr, dengan persamaan regresi sebagai berikut :  $k1 = P/PET ( 1 - 0,5 \times Sr) + 0,5 \times Sr$ , bila  $R < 1$  dan  $Sr < 2$   $k1 = 1$  bila  $P/PET \geq 1$  atau  $Sr \geq 2$ .
- f) Menghitung ratio kelebihan kelengasan (extrat) :
- Untuk  $Sr \leq 0$ , maka  $extrat = 0$
- Untuk  $Sr > 0$ , maka  $extrat = 0,5 \times ( 1 + \text{Tanh} (x))$
- $x = (Sr - 1)/0,52$
- $\text{tanh} = \{\exp (x) - \exp(-x)\} / \{\exp (x) + \exp (-x)\}$
- g) Perhitungan kelebihan kelengasan (excm), perubahan tampungan (S) dan perkolasi (*rech*) dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{excm} = \text{extrat} ( P - \text{AET} )$$

$$S = P - \text{AET} - \text{excm}$$

$$\text{rech} = \text{PSUB} \times \text{excm}$$

- h) Perhitungan angka awal dan akhir tampungan air tanah (*Begin and End Storage Groundwater*) :

$$\text{Untuk bulan ke 1, } \text{BSG} = \text{GWSTOR.}$$

$$\text{Untuk bulan berikutnya } \text{BSG}(n) = \text{ESG}(n-1) - \text{GF}(n-1).$$

$$\text{ESG} = \text{rech} + \text{BSG}$$

$$\text{GF} = \text{limpasan air tanah}$$

- i) Perhitungan limpasan, Limpasan dibagi menjadi 2 bagian, yaitu limpasan langsung (DRF) dan limpasan air tanah (GF).

$$\text{DRF} = \text{excm} - \text{rech}$$

$$\text{GF} = \text{GWF} \times \text{ESG}$$

$$\text{Total limpasan tiap bulan adalah sebagai berikut : } \mathbf{Q = GF + DRF (mm)}$$

Model NRECA dibangun sesuai dengan karakteristik DAS kajian. Oleh karena itu, diperlukan kalibrasi parameter agar hasil debit sintetis yang dihasilkan memiliki tingkat keandalan yang baik. Parameter yang dikalibrasi ialah PSUB, GWF, GWS, Storage dan Croft.

Perhitungan limpasan metode NRECA dibagi menjadi dua bagian yaitu perhitungan limpasan langsung (*Direct runoff*) dan air tanah yang menuju ke sungai (*Groundwater*).

Urutan prosedur perhitungan untuk metode NRECA adalah sebagai berikut.

- Perhitungan hujan rata-rata dan evapotranspirasi potensial standar di daerah pengaliran (P dan ETo).
- Menentukan parameter metode: NOM, PSUB, GWF, dan nilai awal tampungan kelengasan tanah (*soil moisture storage*) dan tampungan air tanah (*ground water storage*) yang akan digunakan dalam proses kalibrasi atau penyelarasan.
- Perhitungan angka tampungan tiap bulan (*storage ratio*)

$$\text{Storage Ratio} = \frac{\text{Soil moisture storage}}{\text{NOM}}$$

Untuk bulan pertama *soil moisture storage* = angka awal tampungan dan untuk bulan selanjutnya adalah *soil moisture storage*<sub>(n)</sub> = *Soil moisture storage*<sub>(n-1)</sub> + *S*<sub>(n-1)</sub>.

*S*<sub>(n-1)</sub> adalah perubahan tampungan pada bulan sebelumnya.

- Perhitungan angka perbandingan antara hujan dan evapotranspirasi potensial.

$$R = P/PET$$

- Perhitungan evapotranspirasi aktual (AET), dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ini.

$$\text{AET} = kl \times \text{PET}$$

kl adalah koefisien evapotranspirasi yang tergantung pada nilai R dan Sr, dengan persamaan regresi sebagai berikut.

$$kl = \frac{P}{PET} (1 - 0.5 \times Sr) + 0.5 \times Sr \quad \text{jika } R < 1 \text{ dan } Sr < 2$$

$$kl = 1 \quad \text{jika } R > 1 \text{ atau } Sr > 2$$

f) Menghitung rasio kelebihan lengasan (*excess ratio*)

$$excess\ ratio = 0 \quad \text{jika } Sr < 0$$

$$excess\ ratio = 0.5 \times (1 + \tanh((Sr - 1)/0.52)) \quad \text{jika } Sr > 0$$

g) Perhitungan kelebihan kelengasan (*excess moist*), perubahan tampungan (S) dan perkolasi dengan rumus sebagai berikut.

$$excess\ moisture = excess\ ratio \times (P - AET)$$

$$S = P - AET - excess\ moist$$

$$Perkolasi = PSUB \times excess\ moist$$

h) Perhitungan angka awal dan akhir tampungan air tanah (BSG dab ESG)

$$BSG = Ground\ Water\ Storage \quad \text{untuk bulan pertama}$$

$$BSG_n = ESG_{n-1} - GF_{n-1} \quad \text{untuk bulan berikutnya}$$

$$ESG = Perkolasi + BSG$$

$$GF = limpasan\ air\ tanah$$

i) Perhitungan Limpasan

$$Direct\ Runoff = excess\ moist - perkolasi$$

$$Limpasan\ air\ tanah = GWF \times ESG$$

j) Total Limpasan tiap bulan adalah

$$Q = GF + Direct\ Runoff\ (mm)$$

#### 4.2.3 Ketersediaan Air Rata-Rata Bulanan

Berdasarkan hasil perhitungan ketersediaan air bulanan menggunakan N-RECA atau FJ Mock maka didapat tabel ketersediaan air bulanan.

Selain itu, debit andalan dan debit rata-rata bulanan juga perlu dihitung mengacu kepada *SN/ Debit Andal dan Teknik Generating Data Debit dari Metode Hujan Limpasan*.

### 4.3 Analisis Kebutuhan Air

#### 4.3.1 Kebutuhan Air Rumah Tangga

Kebutuhan air rumah tangga dihitung berdasarkan kategori seperti yang dilihat pada Tabel 1 Kebutuhan air rumah tangga

**Tabel 1 Kebutuhan air rumah tangga**

No	Kategori Kota	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Kebutuhan Air Bersih (L/O/H)
1	Semi Urban (Ibu Kota Kecamatan/ Desa)	3000 – 20.000	60 - 90
2	Kota Kecil	20.000 – 100.000	90 – 110
3	Kota Sedang	100.000 – 500.000	100 – 125
4	Kota Besar	500.000 – 1.000.000	120 – 150
5	Kota Metropolitan	> 1.000.000	150 – 200

Sumber: Ditjen Cipta Karya, 2006.

### 4.3.2 Kebutuhan Air Peternakan

Besar kebutuhan air peternakan dapat dihitung berdasarkan jenis hewan seperti terlihat pada Tabel 2 Kebutuhan air peternakan.

**Tabel 2 Kebutuhan air peternakan**

No	Jenis Hewan	Kebutuhan Air (Lt/Ekor/Hari)
1	Sapi/ Kerbau	40
2	Domba/ Kambing	5
3	Babi	6
4	Unggas	0.6

Sumber: Jurnal Teknosains, 2015.

Khusus untuk peternakan sapi perah dapat dihitung juga menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$DWI = 15,99 + (1,58 \times DMI) + (0,9 \times HS) + (0,05 \times 10^{-5} \times NaI) + (1,20 \times T)$$

Sumber: Murphy, et.al, 1983

Keterangan :

DWI = *Dry Water Intake* (kg/hari)

DMI = *Dry Matter Intake* (kg/hari)

HS = Hasil Susu (kg/hari)

NaI = *Sodium Intake* (kg/hari)

T = Suhu (°C)

Sedangkan untuk sapi kering kandang dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$FWI = -10,34 + (0,2296 \times DMD) + (0,2212 \times DMI) + (0,03944 \times CPD^2)$$

Sumber: Holter and Urban, 1992.

Keterangan :

FWI = *Free Water Intake* (kg/hari)

DMD = *Dry Matter percent of Diet* (kg/hari)

CPD = *Crude Protein percent of Diet* (kg/hari)

### 4.3.3 Kebutuhan Air Perkebunan/Pertanian

Kebutuhan air untuk pertanian dan perkebunan diatur berdasarkan KP-01:2013 Jaringan Irigasi.

#### 4.3.4 Kebutuhan Air Lainnya

Kebutuhan air lainnya yang dimaksud adalah kebutuhan air untuk fasilitas umum seperti sekolah, sarana ibadah, taman, tempat rekreasi, dan lain-lain sesuai layanan setempat yang diperlukan. Kebutuhan air dihitung sesuai NSPK yang berlaku.

#### 4.4 Analisis Neraca Air

Kebutuhan pembangunan embung disesuaikan dengan kebutuhan permasalahan air yang terjadi dilapangan. Pembangunan embung untuk memenuhi kebutuhan air harus mempertimbangkan neraca air di lokasi tersebut. Neraca air atau keseimbangan air mempertimbangkan ketersediaan air dan kebutuhan air yang ada.

Ketersediaan air diperkirakan berdasarkan besarnya potensi air atau curah hujan yang akan mengisi embung. Besarnya curah hujan harus cukup untuk memenuhi kebutuhan minimal daerah layanan. Kebutuhan air diperkirakan berdasarkan klasifikasi daerah dan kebutuhan air perkapita.

Apabila embung yang dibangun ditujukan juga untuk menyelesaikan permasalahan banjir, maka harus mempertimbangkan beban banjir atau limpasan yang terjadi dan seberapa besar beban banjir yang akan dikurangi.

#### 4.5 Analisis Kapasitas Tampungan Efektif (KTE)

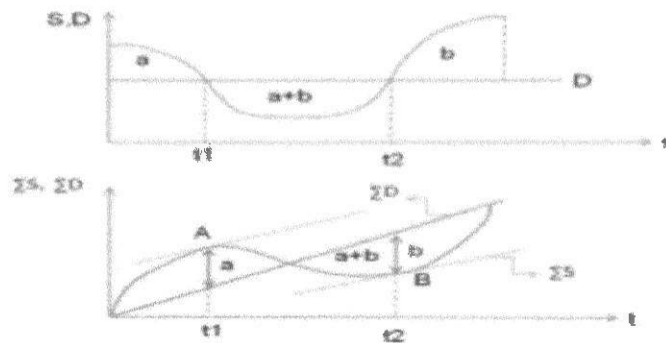
Kapasitas tampung harus dapat memenuhi kebutuhan air utama suatu desa yang ditentukan berdasarkan jumlah kepala keluarga (KK), luas irigasi/kebun yang harus diairi, jumlah hewan/peternakan yang membutuhkan air, dll. Selain kebutuhan air utama, harus diperhitungkan juga kebutuhan tampung diantaranya cadangan untuk mengantisipasi kehilangan air karena penguapan dan resapan (infiltrasi), serta perlu disediakan ruangan untuk sedimen (tampungan mati - *dead storage*) yang kemudian diproyeksikan 20 tahun kedepan.

Pendekatan dan metoda yang dapat digunakan dalam memperkirakan kapasitas tampung suatu embung dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metoda salah satunya dengan metoda Grafis (*Ripple Method*). Dengan diketahuinya ketersediaan air (inflow) dan kebutuhan air (outflow), maka volume kapasitas tampung yang dibutuhkan pada kondisi dimana kebutuhan melebihi ketersediaan dapat diketahui dengan memplot kumulatif besarnya inflow dan outflow. Selisih terbesar, antara kedua kurva tersebut merupakan kapasitas yang dibutuhkan. Berikut tahapan dalam pembuatan diagram kurva massa:

- a) Membuat kurva kumulatif dari inflow yang masuk ke waduk.
- b) Kemiringan dari kurva masa memberikan nilai dari inflow (S) pada suatu waktu.
- c) Kemiringan dari kurva kebutuhan memberikan besaran laju kebutuhan (D).
- d) Perbedaan antara garis tangent (a+b) ke garis kebutuhan ( $\Sigma D$ ) pada titik puncak (A) dan titik terendah (B) dari kurva masa ( $\Sigma S$ ) memberikan laju yang harus dikeluarkan dari waduk

selama perioda kritis (Lihat gambar Diagram Kurva Massa (Rippl, 1883)**Error! Reference source not found.**).

Maksimum kumulatif antara kurva ketersediaan dan kurva kebutuhan merupakan tampungan/*storage* aktif yang diperlukan.



Gambar 5 Diagram Kurva Massa (Rippl, 1883)

## 4.6 Analisis Infiltrasi

Parameter yang digunakan pada analisis infiltrasi didapat dari pengukuran laju infiltrasi air kedalam tanah yang salah satunya menggunakan infiltrometer cincin ganda sesuai dengan SNI 7752:2012.

## 4.7 Analisis Debit Banjir Rencana

### 4.7.1 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi dilakukan untuk mencari distribusi dengan data yang tersedia dari pospos hujan yang ada. Analisis frekuensi dapat dilakukan dengan seri data hujan maupun data debit. Jenis distribusi frekuensi yang banyak digunakan dalam hidrologi adalah: - Distrbusi Gumbel - Distrbusi Log Pearson tipe III - Distribusi log Normal - Distrbusi Normal. Untuk analisis frekuensi ini mengacu pada "*Petunjuk Teknis Perhitungan Debit Banjir Pada Bendungan<sup>2</sup>*". Dalam analisis curah hujan, dilakukan validasi data hujan. Validasi data adalah langkah pemeriksaan untuk memastikan bahwa data tersebut telah sesuai kriteria yang ditetapkan dengan tujuan untuk memastikan bahwa data yang akan dimasukkan ke dalam basis data telah diketahui dan dapat dijelaskan sumber dan kebenaran datanya.

Dalam melakukan validasi data yang menjadi rujukan adalah Prosedur dan Instruksi Validasi Data yang tertuang dalam Permen PU Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 04/PRT/M/2009 tentang Sistem Manajemen Mutu Departemen Pekerjaan Umum.

Tahapan dalam validasi data hidrologi meliputi 2 (dua) uji yaitu uji konsistensi dan uji keseragaman.

<sup>2</sup> Ditjen SDA Kementrian PUPR, 2017

a) Uji konsistensi

Uji konsistensi adalah proses pengujian data pada suatu pos pengamatan hidrologi guna mengetahui bahwa dalam kurun rentang waktu tertentu tidak mengalami perubahan secara signifikan yang antara lain diakibatkan adanya perpindahan pos, naturalisasi sistem air, dampak perubahan *land use*, kesalahan pencatatan oleh penjaga pos, perubahan titik referensi (kontrol), alat/gelas ukur dan lain-lain.

b) Uji keseragaman

Uji keseragaman adalah proses pengujian data secara keseluruhan/sebagian, untuk mengetahui data tersebut berasal dari satu populasi data yang sama atau tidak.

c) Uji Outlier

Uji outlier adalah proses pengujian data untuk mengetahui data ekstrim menggunakan uji regresi linear.

#### 4.7.2 Debit Banjir

Besarnya debit banjir rencana ditentukan oleh intensitas hujan, yaitu tinggi air persatuan waktu (mm/jam). Analisis debit banjir rencana dapat menggunakan berbagai metode seperti Snyder, SCS, dan lain lain. Prosedur perhitungannya mengacu pada “SNI 2415:2016 Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana” dan “*Petunjuk Teknis Perhitungan Debit Banjir Pada Bendungan*”

#### 4.8 Analisis Simulasi Routing

Analisis simulasi *routing* ini dilakukan untuk embung dengan ukuran besar. Analisis simulasi *routing* dilakukan berdasarkan analisis keseimbangan air yang masuk ke dalam embung (*inflow*), tampungan dan air yang keluar dari embung (*outflow*). Dengan dilakukannya *routing* untuk ketersediaan air, maka akan dapat diketahui tinggi muka air dari embung dan dapat digunakan sebagai pola operasi embung, sedangkan jika embung diperuntukkan sebagai pengendali banjir juga, maka perlu dilakukan *routing* terhadap banjir.

Tahapan *routing* dalam perhitungan neraca air adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi sumber air (*inflow*) berupa: curah hujan, aliran sungai, air tanah atau CAT

Sumber air pada embung dapat bervariasi tergantung karakteristik embung tersebut. Analisis sumber air (*inflow*) atau analisis ketersediaan air di DAS (Daerah Aliran Sungai) embung dilakukan untuk mengetahui potensi air permukaan di DAS embung. Data terkait hidrologi dikumpulkan selama minimal 10 (sepuluh) tahun terakhir. Tentukan besarnya *inflow* pada berbagai kondisi sebagai batas, yaitu:

- a. Kondisi basah atau normal atas dengan tingkat keandalan *inflow* 35%
- b. Kondisi normal dengan tingkat keandalan *inflow* sebesar 50%
- c. Dan kondisi kering atau normal bawah dengan tingkat keandalan 65%

Metode yang dapat digunakan dalam perhitungan ketersediaan air diantaranya adalah Metode Mock yang dimodifikasi, Metode Sacramento, Metode NRECA, dan metode lainnya. Perhitungan ini perlu dilakukan kalibrasi dengan data pengukuran atau yang tersedia pada data AWLR.

2. Identifikasi aliran keluar (*outflow*): aliran sungai, evaporasi, infrastruktur air

Perhitungan aliran keluar disesuaikan dengan karakteristik embung. Jika pada embung terdapat infrastruktur air yang mengatur air keluar sesuai dengan kebutuhan air maka perlu dilakukan perhitungan kebutuhan air berdasarkan data kebutuhan RKI (Rumah Tangga, Perkotaan, dan Industri), data kebutuhan non-domestik, data pertanian, data peternakan dan data lainnya (misalnya PLTA). Periode prediksi data adalah minimal 20 tahun ke depan atau sesuai dengan RTRW di mana embung berada.

Neraca air embung merupakan perbandingan antara ketersediaan air embung dan kebutuhan air di suatu wilayah yang terjangkau dari embung.

3. Simulasi neraca air dengan pola operasi

Persamaan dasar simulasi neraca air di embung merupakan fungsi dari masukan, keluaran dan tampungan embung yang dapat disajikan dalam persamaan sebagai berikut:

$$I - O = \frac{ds}{dt}$$

dengan:

I : debit masuk (m<sup>3</sup>/det)

O : debit keluar (m<sup>3</sup>/det)

ds/dt : ΔS adalah perubahan tampungan (m<sup>3</sup>/det)

atau secara rinci dapat ditampilkan sebagai berikut:

$$S_{t+1} = S_t + R_t - E_t - L_t - O_t - O_s$$

dengan:

St : tampungan embung pada periode t

St+1: tampungan embung pada periode t+1

It : masukan embung pada periode t

Rt : hujan yang jatuh diatas permukaan embung pada periode t

Et : kehilangan air akibat evaporasi pada periode t

Lt : kehilangan air akibat rembesan dan bocoran

Ot : total kebutuhan air

Ost : keluaran dari pelimpah/pompa/bangunan air lainnya

Simulasi dilakukan pada periode 1 (satu) tahun penuh untuk dapat mensimulasikan kondisi embung pada kondisi yang berbeda yaitu kondisi basah, normal dan kering. Simulasi dilakukan berdasarkan debit *inflow* (ketersediaan air) dan debit *outflow* yang sudah diperhitungkan sebelumnya.

## 5 Desain Embung

### 5.1 Kriteria Penentuan Lokasi Pembangunan Embung dan Desain Tata Letak Embung

Penentuan lokasi dan tata letak embung harus memperhatikan :

a. Ketersediaan sumber air

Didapat dari mata air, limpasan saluran pembuang irigasi, sungai, atau tadah hujan. Kriteria sumber air untuk embung kecil adalah:

- 1) Sumber air yang disarankan adalah sumber yang menyediakan air sepanjang tahun.
- 2) Embung tidak boleh mengambil air dari saluran pembawa irigasi yang ada.
- 3) Embung sebaiknya ditempatkan atau mengambil dari sungai kecil atau anak sungai atau *gully*. Embung tidak boleh membendung sungai utama atau sungai besar, karena dapat mengakibatkan kekeringan di sebelah hilir embung.

b. Penentuan volume dan ukuran embung

Diutamakan pada daerah cekungan, lereng bukit, daerah yang lebih tinggi dari sekitarnya agar embung dapat dibuat sebesar-besarnya.

c. Ketersediaan bahan dan material

Mudah tersedia bahan material di sekitar lokasi seperti batu, tanah urukan, dan pasir.

d. Karakteristik tanah

- 1) Embung tidak boleh dibangun di atas tanah lunak.
- 2) Apabila embung dibangun di atas tanah timbunan, tanah timbunan tersebut harus dipadatkan terlebih dahulu.
- 3) Tanahnya harus relative kedap air seperti tanah lempung. Pembangunan embung sebisa mungkin menghindari tanah yang teksturnya berbutir kasar seperti pasir, kerikil, atau tekstur tanah lainnya yang mudah meresap air.

e. Jarak dengan sumber air dan lahan pertanian

Letak embung yang akan dibangun harus sedekat mungkin dari sumber air dan lahan pertanian yang akan diirigasi agar kehilangan airnya tidak besar dan agar tidak membutuhkan jaringan pemipaan yang terlalu panjang.

f. Elevasi embung

Idealnya, posisi embung terletak di atas lahan pertanian agar tidak membutuhkan pompa.

g. Status kepemilikan lahan

Lokasi tempat pengembangan embung status kepemilikannya jelas (tidak dalam sengketa) dan tidak ada ganti rugi yang dilengkapi dengan surat pernyataan oleh kelompok penerima manfaat.

### 5.2 Desain Kolam Embung

Kehilangan air akibat infiltrasi atau rembesan atau bocoran baik dari dasar maupun kolam embung adalah hal yang harus dihindari. Rembesan yang besar dapat terjadi apabila tanah dasar embung terdiri dari pasir. Karena itu, kolam embung perlu diberi lapisan atau selimut kedap air untuk mencegah hal tersebut.

Desain kolam embung untuk jenis embung dengan bentuk kola mini erat kaitannya dengan volume genangan. Oleh karena itu, perlu diketahui kebutuhan air untuk daerah yang akan diairi embung ini terlebih dahulu. Kemudian setelah diketahui berapa besar volume tampungan embung ini, maka selanjutnya adalah mempertimbangkan luas dan kedalaman embungnya, serta dipertimbangkan juga kekerasan tanah di lokasi calon embung ini untuk menentukan sampai kedalaman berapa tanah tersebut bisa digali. Berikut ini adalah persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan dimensi embung dengan bentuk kolam ini.

$$h_{rencana} = \frac{V_{total}}{A}$$

Dimana:

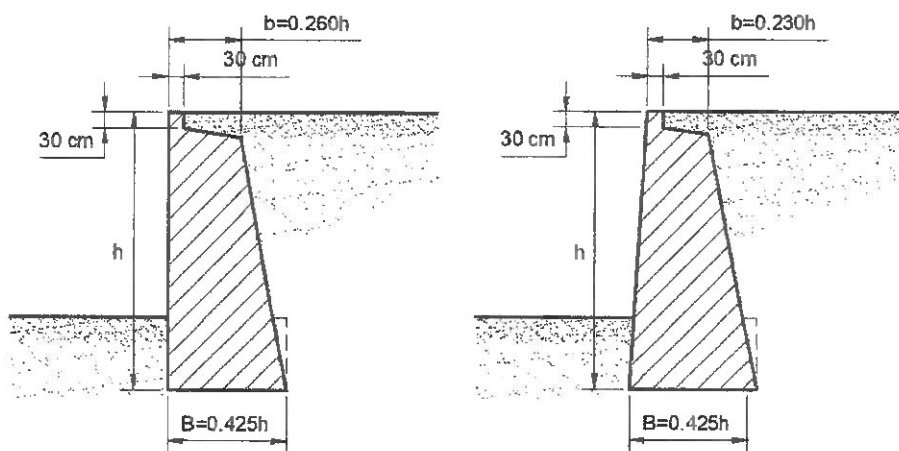
$H_{rencana}$  : kedalaman embung minimal (m)

$V_{tot}$  : volume kebutuhan air domestik daerah ( $m^3$ )

$A$  : luas embung rencana ( $m^2$ )

*Freeboard* bisa diambil sebesar 1 m dari Muka Air Banjir (MAB)

Material untuk dinding kolam embung ini bisa terbuat tanah yang stabil, beton, atau pasangan batu. Apabila tanahnya tidak stabil untuk kemiringan tertentu, maka bisa memakai pasangan batu atau beton. Untuk pasangan batu, maksimal kedalaman kolam adalah 3 m, sedangkan untuk beton tergantung analisis stabilitasnya. Berikut ini adalah desain dinding penahan gravitasi untuk kedalaman tidak lebih dari 3 m dengan menggunakan material pasangan batu.



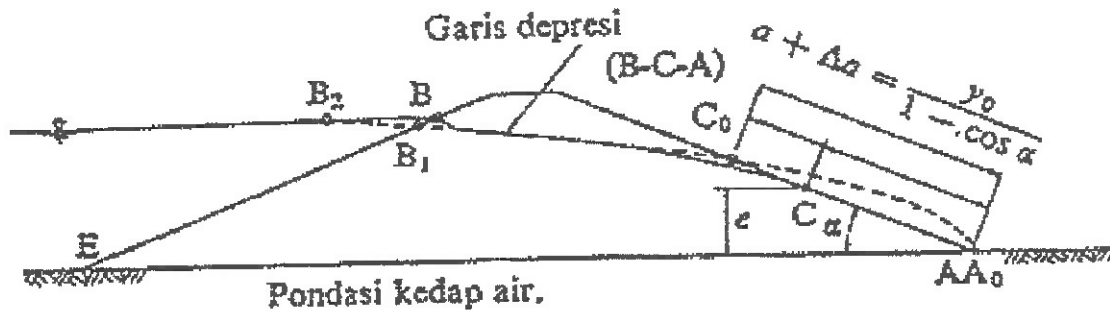
**Gambar 6 Dinding penahan gravitasi dari pasangan batu**

### 5.3 Desain Bangunan Penahan (Untuk Embung Kolam Jenis *Long Storage*)

Bangunan penahan adalah struktur yang berada di tengah-tengah aliran dan menaikkan permukaan air sehingga terbentuk suatu tampungan air. Pada pedoman ini, air direncanakan untuk bisa melimpas dari bangunan penahan agar masyarakat di hilir masih bisa mendapatkan air. Bangunan penahan ini bisa dibuat dengan urugan tanah, pasangan batu, atau beton.



menjadi garis B – C – A yang merupakan bentuk garis rembesan yang sesungguhnya seperti pada gambar berikut ini.



**Gambar 8** Garis rembesan pada bangunan penahan sesuai dengan garis parabola yang mengalami modifikasi

Pada titik permulaan, garis rembesan berpotongan tegak lurus dengan lereng hulu bangunan penahan, dan dengan demikian titik  $C_0$  dipindahkan ke titik  $C$  sepanjang  $\Delta\alpha$  tergantung dari kemiringan lereng hilir bangunan penahan, dimana air rembesan tersebut keluar dan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$a + \Delta a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha}$$

Keterangan:

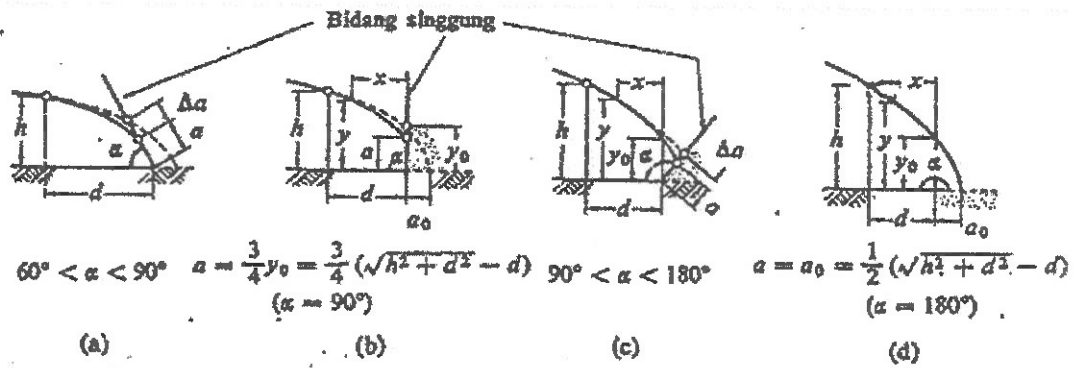
$a$  : jarak AC

$\Delta a$  : jarak  $C_0C$

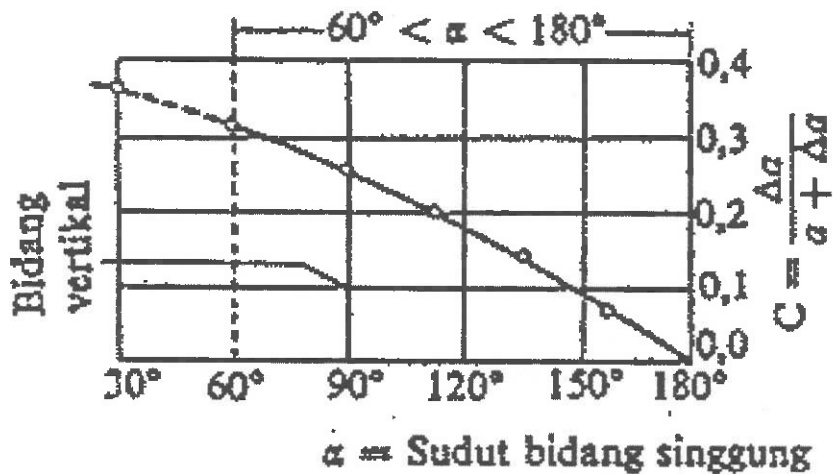
$\alpha$  : sudut kemiringan lereng hilir bangunan penahan

Harga  $\alpha$  dan  $\Delta a$  yang diperoleh dengan persamaan tersebut dan dengan pengambilan angka  $C = a / (a + \Delta a)$ . Apabila kemiringan sudut hilir bangunan penahan lebih kecil dari  $30^\circ$ , maka harga  $\alpha$  adalah sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{d}{\cos \alpha} - \sqrt{\left(\frac{d}{\cos \alpha}\right)^2 - \left(\frac{h}{\sin \alpha}\right)^2}$$



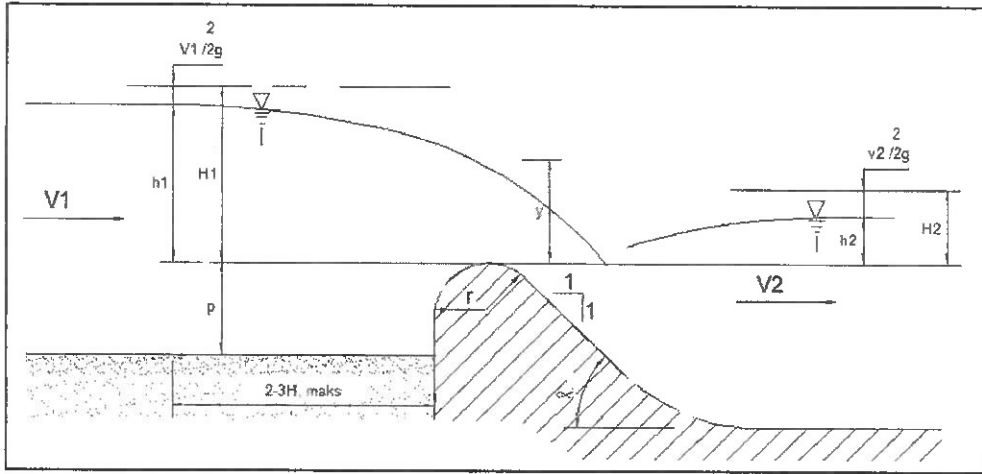
Gambar 9 Beberapa cara memperoleh harga "a" sesuai dengan sudut bidang singgungnya ( $\alpha$ )



Gambar 10 Hubungan antara sudut bidang singgung ( $\alpha$ ) dengan  $\frac{\Delta a}{a + \Delta a}$

#### 5.4 Desain Pelimpah

Pelimpah berfungsi untuk melimpahkan air yang berlebih pada kolam embung. Pelimpah ditempatkan di bagian hilir kolam embung, berbentuk saluran terbuka, dan kemudian tersambung dengan alur sungai lama. Pelimpah didesain dengan elevasi yang direncanakan. Pelimpah harus dapat melimpahkan air yang terjadi dari rencana elevasi tersebut dimana air yang perlu dilimpahkan dapat diketahui dari luas genangan dikalikan dengan tinggi hujan. Salah satu tipe pelimpah embung ini adalah dengan pelimpah mercu bulat.

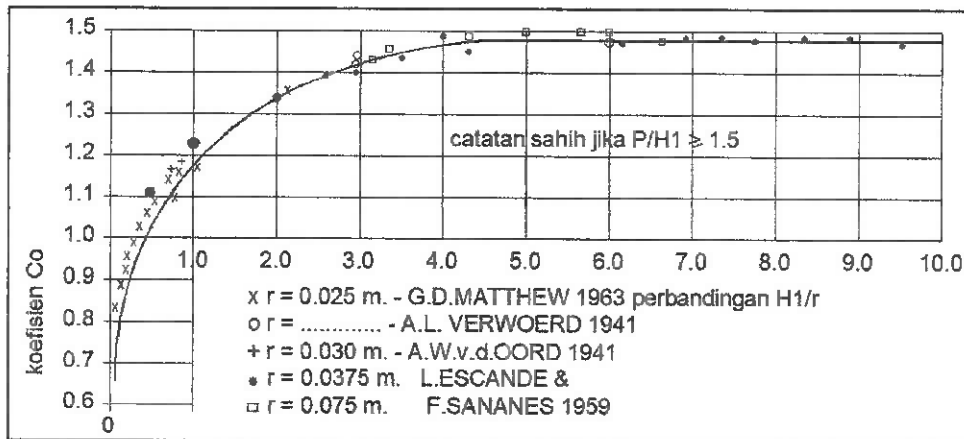


Gambar 11 Pelimpah

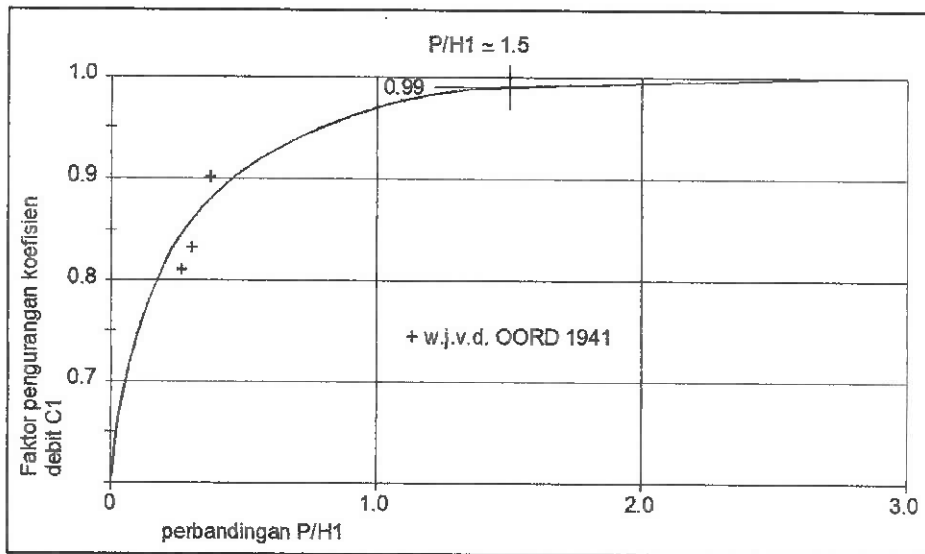
$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g} b H_1^{1.5}$$

di mana:

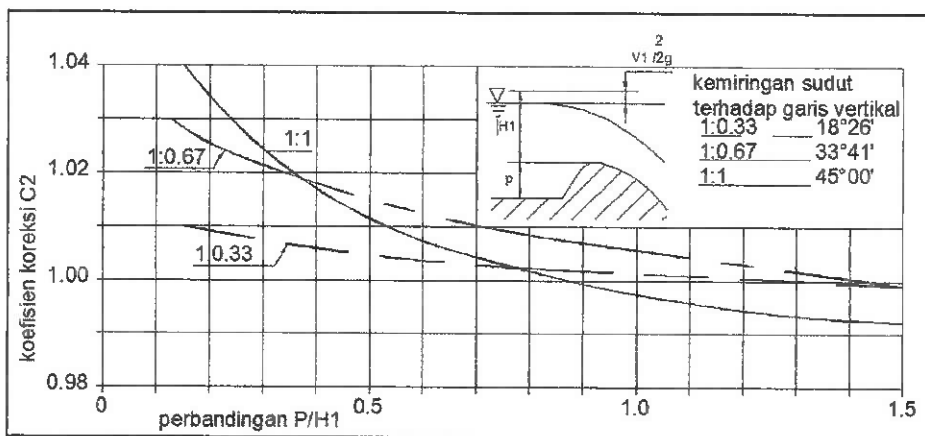
- Q = debit, m<sup>3</sup>/dt
- C<sub>d</sub> = koefisien debit (C<sub>d</sub> = C<sub>0</sub>C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>)
- g = percepatan gravitasi, m/dt<sup>2</sup> (≅ 9,8)
- b = panjang mercu, m
- H<sub>1</sub> = tinggi energi di atas mercu, m.



Gambar 12 Harga-harga koefisien C<sub>0</sub> untuk bendung ambang bulat sebagai fungsi perbandingan H<sub>1</sub>/r



Gambar 13 Koefisien C1 sebagai fungsi perbandingan P/H1

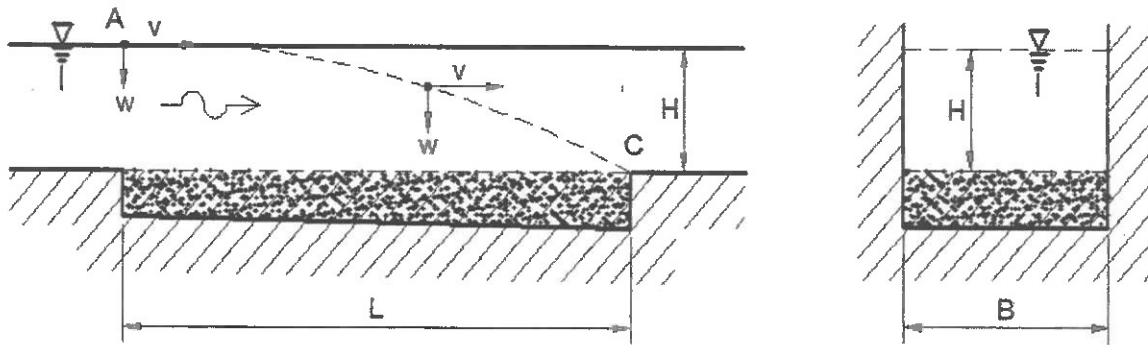


Gambar 14 Harga-harga koefisien C2 untuk bendung mercu tipe Ogee dengan muka hulu melengkung (menurut USBR, 1960)

### 5.5 Desain Bak Pengendap

Bak pengendap dibangun dengan bentuk galian sebelum air masuk ke dalam tampungan. Bak pengendap ini berguna untuk mengendapkan material yang terbawa oleh air sebelum masuk ke dalam kolam embung.

Partikel yang masuk ke kolam pada A, dengan kecepatan endap partikel  $w$  dan kecepatan air  $v$  harus mencapai dasar pada C. Ini berakibat bahwa, partikel, selama waktu  $(H/w)$  yang diperlukan untuk mencapai dasar, akan berjalan (berpindah) secara horisontal sepanjang jarak  $L$  dalam waktu  $L/v$ .



**Gambar 15 Skema Bak Pengendap**

Jadi:  $\frac{H}{w} = \frac{L}{v}$ , dengan  $v = \frac{Q}{HB}$

- di mana:
- H = kedalaman aliran saluran, m
  - w = kecepatan endap partikel sedimen, m/dt
  - L = panjang kantong lumpur, m
  - v = kecepatan aliran air, m/dt
  - Q = debit saluran, m<sup>3</sup>/dt
  - B = lebar kantong lumpur, m

ini menghasilkan:  $LB = \frac{Q}{w}$

Karena sangat sederhana, rumus ini dapat dipakai untuk membuat perkiraan awal dimensi-dimensi tersebut. Untuk perencanaan yang lebih detail, harus dipakai faktor koreksi guna menyelaraskan faktor-faktor yang mengganggu, seperti:

- turbulensi air
- pengendapan yang terhalang
- bahan layang sangat banyak.

Velikanov menganjurkan faktor-faktor koreksi dalam rumus berikut:

$$LB = \frac{Q}{w} \cdot \frac{\lambda^2}{7.51} \cdot \frac{v}{w} \cdot \frac{(H^{0.5} - 0.2)^2}{H}$$

- Di mana:
- L = panjang kantong lumpur, m
  - B = lebar kantong lumpur, m
  - Q = debit saluran, m<sup>3</sup>/dt
  - w = kecepatan endap partikel sedimen, m/dt
  - λ = koefisiensi pembagian/distribusi Gauss

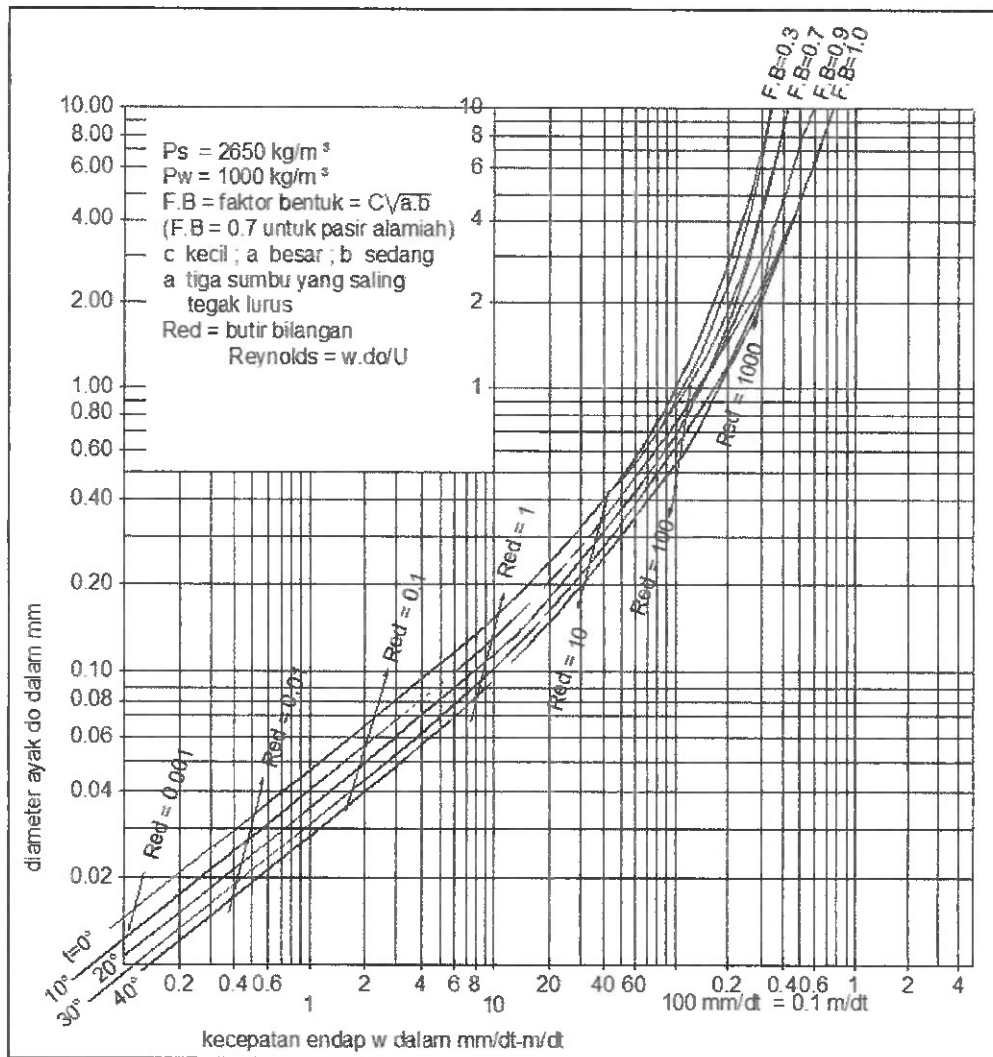
λ adalah fungsi D/T, di mana D = jumlah sedimen yang diendapkan dan T = jumlah sedimen yang diangkut

λ = 0 untuk D/T = 0,5 ; λ = 1,2 untuk D/T = 0,95 dan

$$\lambda = 1,55 \text{ untuk } D/T = 0,98$$

v = kecepatan rata-rata aliran, m/dt

H = kedalaman aliran air di saluran, m



Gambar 16 Hubungan antara diameter saringan dan kecepatan endap untuk air tenang

### 5.6 Desain Pintu Penguras

Pintu penguras berfungsi untuk membersihkan kotoran dan sedimen yang mengendap di dasar embung. Pintu penguras juga dapat berfungsi untuk mengatur tinggi muka air agar menjaga volume tampungan dam parit apabila sewaktu-waktu sawah yang dialiri perlu perawatan.

Spesifikasi teknis dari pintu penguras adalah:

- a. Bila pintu penguras terbuat dari kayu, tebal pintu yang biasanya digunakan adalah 8 – 12 cm.
- b. Bila pintu penguras terbuat dari baja, baja tersebut harus dalam keadaan baik dan dari pabrik. Ketebalan pintu baja yang disarankan adalah 5 – 10 mm.

Persamaan untuk menentukan dimensi pintu penguras adalah sebagai berikut.

$$Q = Av = (b \cdot h)v$$

Dimana:

- Q = debit (m<sup>3</sup>/s)  
A = luas pintu penguras (m)  
b = lebar pintu penguras (m)  
h = tinggi pintu penguras (m)  
v = kecepatan (m/s)

Untuk keperluan perhitungan pendahuluan, kecepatan rata-rata yang diperlukan selama pembilasan dapat diandaikan sebagai berikut:

- 1,0 m/dt untuk pasir halus
- 1,5 m/dt untuk pasir kasar
- 2,0 m/dt untuk kerikil dan pasir kasar.

## 5.7 Desain Sistem Distribusi

Sistem distribusi untuk menyuplai air pada lahan pertanian. Sistem distribusi dapat menggunakan pipa PVC dengan ukuran 1 ¼ inci sampai dengan 2 inci ataupun ukuran lainnya yang sesuai dengan saluran terbuka juga bisa dipakai walaupun tidak disarankan untuk mencegah kehilangan air akibat rembesan dan penguapan.

Untuk mendistribusikan air dari embung kepada pemakainya diperlukan bak-bak distribusi yang dibagi dalam tiga macam, yaitu bak untuk keperluan manusia, bak air untuk minum hewan, dan bak air untuk ladang atau kebun.

Bak-bak tersebut harus ditempatkan sesuai dengan fungsinya yaitu di tengah permukiman untuk bak air untuk rumah tangga, di sekitar daerah penggembalaan ternak untuk bak air untuk peternakan, dan di daerah sekitar ladang atau kebun untuk bak air untuk perkebunan.

Struktur bak dapat dibuat dari beton atau pasangan batu atau bata dengan plesteran kedap air.

### 1) Bak air untuk rumah tangga

Bak ini digunakan untuk penyediaan air kebutuhan rumah tangga seperti air minum, mandi, dan mencuci.

Sebaiknya bak air untuk rumah tangga ditempatkan di tengah lokasi permukiman sehingga jarak yang ditempuh penduduk untuk mengambil air tidak terlalu jauh atau tidak melebihi 500 m.

Bak air ini merupakan Instalasi saringan pasir lambat, yang terbuat dari beton atau pasangan batu dengan ukuran 1,00 x 2,00 m yang dibagi menjadi dua bagian. Satu bagian berukuran 1,00 x 0,80 m yang diisi dengan media penyaring dan bagian kedua berukuran 1,00 x 1,20 m berisi air yang telah disaring. Ketentuan Air baku yang dapat diolah pada instalasi ini adalah :

1. Kekeruhan  $\leq$  50 mg/liter SiO<sub>2</sub>
2. Oksigen terlarut 6 mg/liter

3. Total Koliform  $\leq$  500 MPN per 100 ml

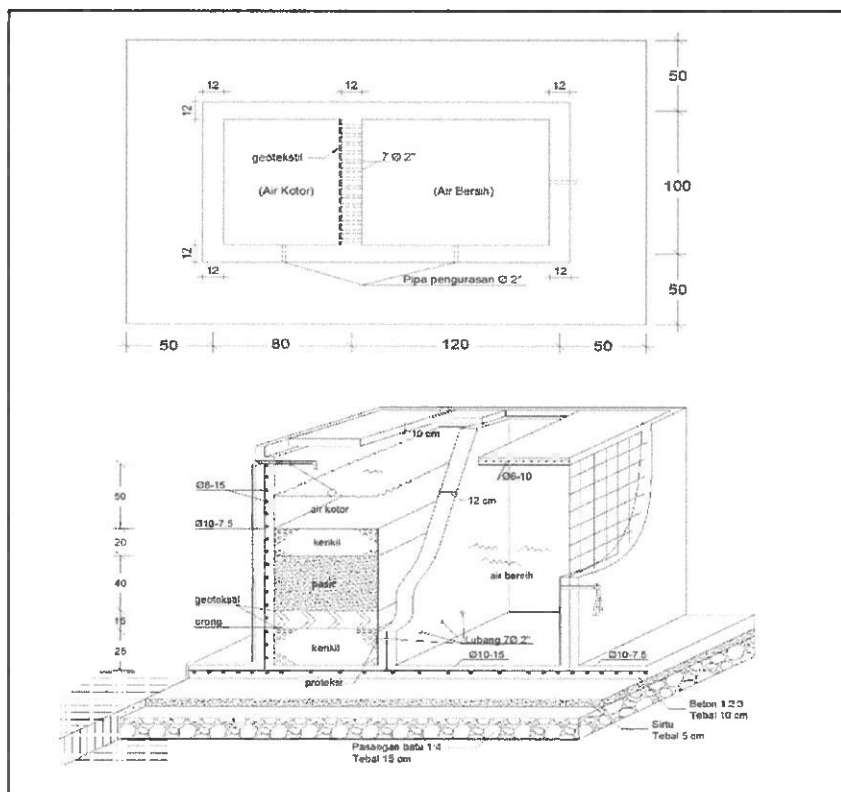
Kriteria perencanaan Instalasi saringan pasir lambat dapat menggunakan standar SNI 3981:2008. Untuk standar ini tinggi bak minimal 1,50 m dengan rincian tebal sebagai berikut:

- (a) Tinggi bebas 0,20 m
- (b) Tinggi air di atas media pasir 0,30 m
- (c) Tebal pasir penyaring 0,40 m
- (d) Tebal kerikil penahan 0,20 m
- (e) Drain bawah 0,25 m

Media penyaring yang digunakan pada umumnya adalah pasir kuarsa. Pasir media yang baru pertama kali dipasang dalam bak saringan memerlukan masa operasi penyaringan awal, secara normal dan terus menerus selama waktu kurang lebih 3 (tiga bulan)

Pipa pemasukan air ke bak saringan pasir lambat dilengkapi dengan klep penutup dengan pelampung sehingga bila muka air telah mencapai elevasi yang ditentukan, air berhenti mengalir secara otomatis. Kran air manual sebaiknya tetap dipasang di hulu kran otomatis sebagai cadangan. Pipa pada bak ini digunakan pipa bergalvanis dengan diameter 1". Kran penyadap air dari bak sebaiknya menggunakan kran yang berkualitas tinggi untuk menghindari penggantian akibat kerusakan yang terlalu sering pada masa pemeliharaan.

Bak tambahan dapat dibangun pula apabila dirasakan perlu oleh penduduk setempat. Perlu diperhatikan pula bahwa tempat bak harus cukup terbuka, mempunyai ruangan yang cukup luas bagi penduduk, memperhatikan pula pembuatan drainase nya.



Gambar 17 Denah dan perspektif bak untuk keperluan manusia

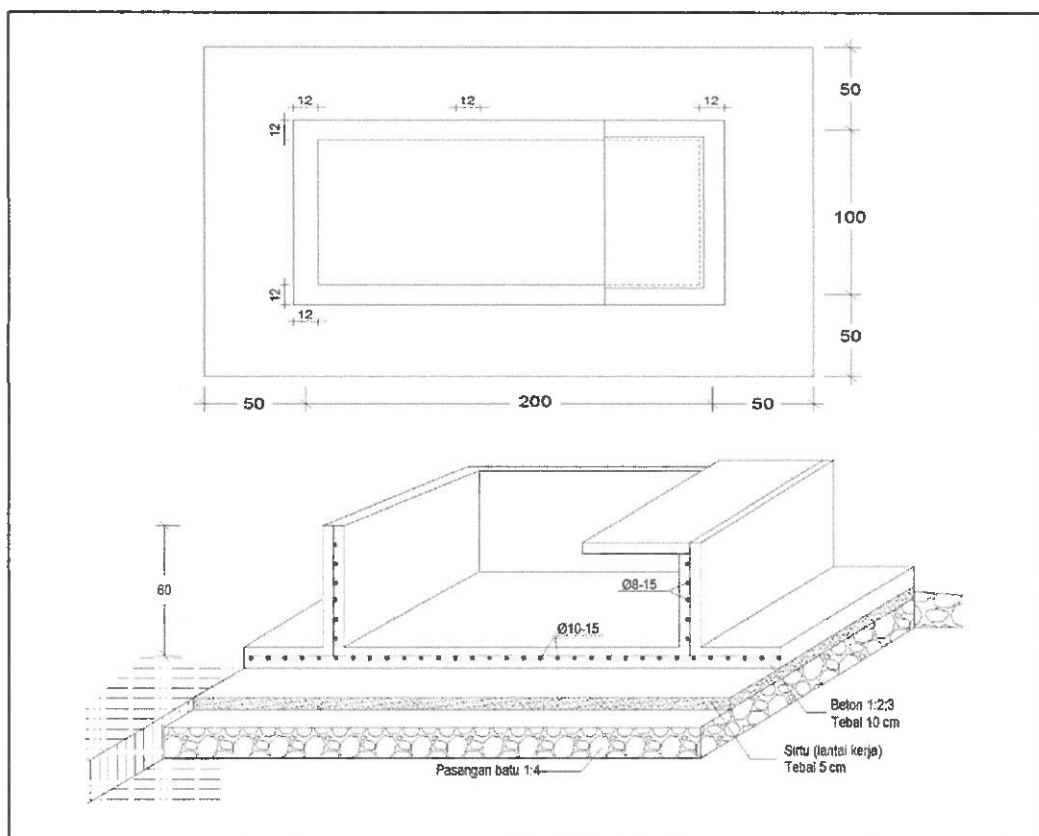
2) Bak air untuk peternakan

Bak untuk keperluan hewan dibangun minimal 50 m dari tubuh embung di sekitar daerah penggembalaan ternak dan pada lokasi tanah yang stabil, yaitu tidak mudah tererosi dan ambles, tidak pada lokasi lereng yang curam, serta mempunyai drainase yang cukup baik.

Bak hewan dapat dibangun dari beton atau pasangan batu atau bata dengan plesteran kedap air (1:2), berukuran minimal 1,00 m x 1,00 m dan maksimal 1,00 m x 2,00 m.

Pipa pemasukan air pada bak hewan dilengkapi dengan klep penutup dengan pelampung sehingga air dapat berhenti mengalir secara otomatis bila telah mencapai elevasi yang ditentukan. Namun demikian kran air tetap diperlukan sebagai cadangan bila alat otomatis rusak.

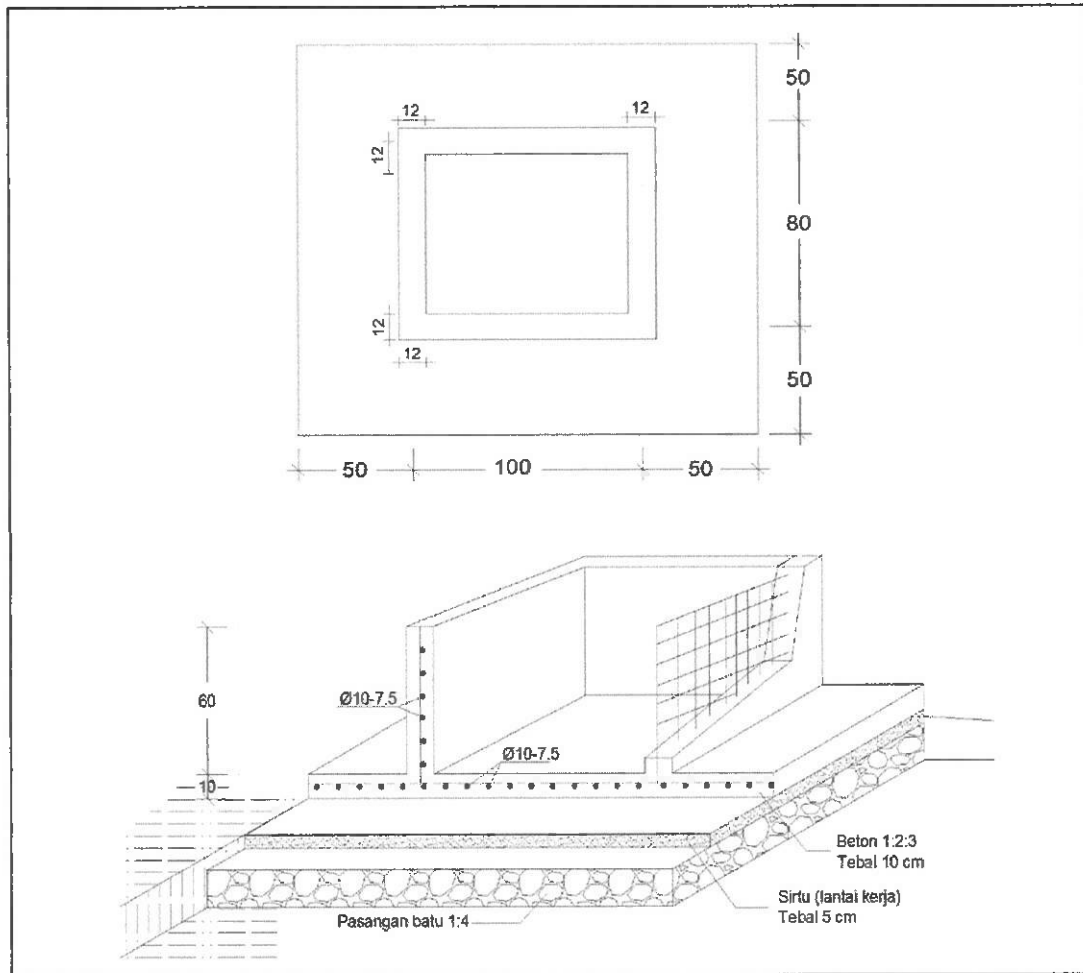
Jumlah bak hewan dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan. Sebagai perkiraan bak berukuran 1,00 x 1,00 m dapat digunakan untuk sapi sebanyak 30 ekor atau kambing sebanyak 130 ekor.



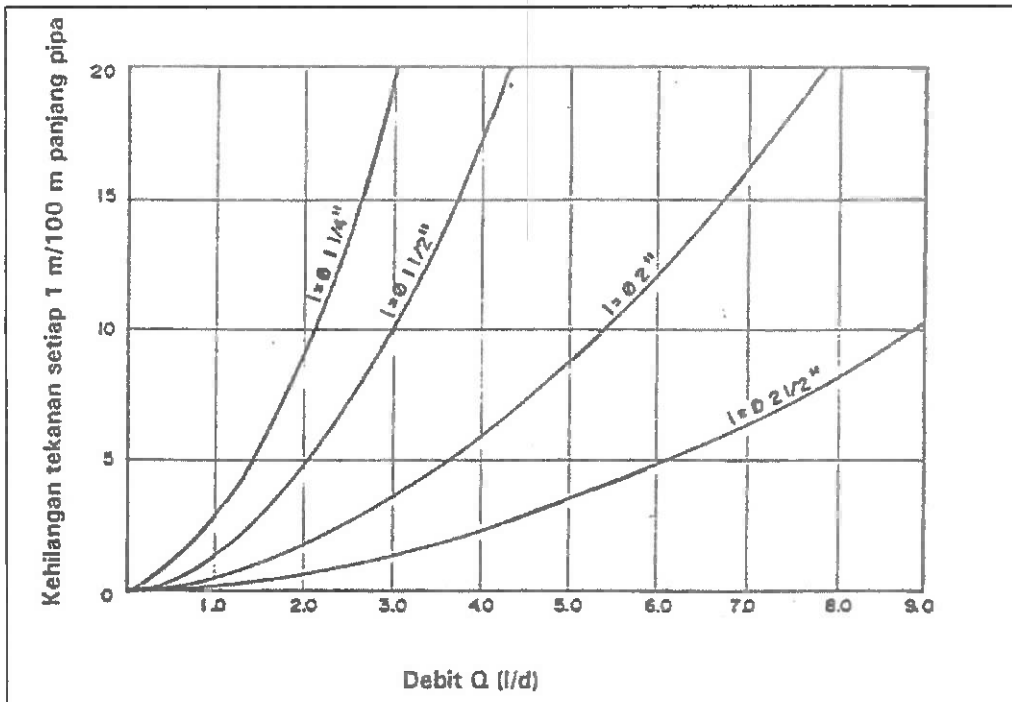
Gambar 18 Denah dan perspektif bak hewan

3) Bak air untuk perkebunan/pertanian

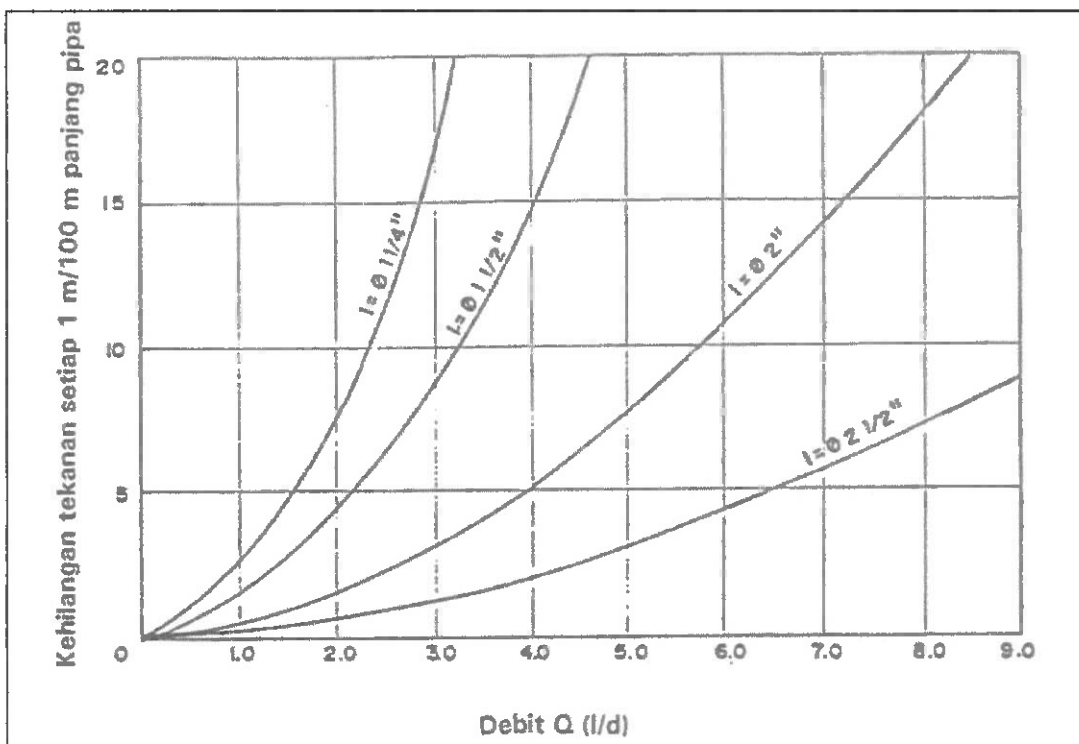
Bak kebun ditempatkan di sekitar ladang atau kebun yang akan digunakan bersama oleh penduduk. Struktur bak kebun sama dengan struktur bak hewan, dapat terbuat dari beton maupun pasangan batu atau bata, dengan ukuran sekitar 0,80 x 1,00 m. pipa pemasukan pada bak kebun juga dilengkapi dengan klep penutup yang berpelampung sehingga dapat menutup secara otomatis. Bak ini terbuka dan pengambilan air oleh penduduk dilakukan dengan gayung.



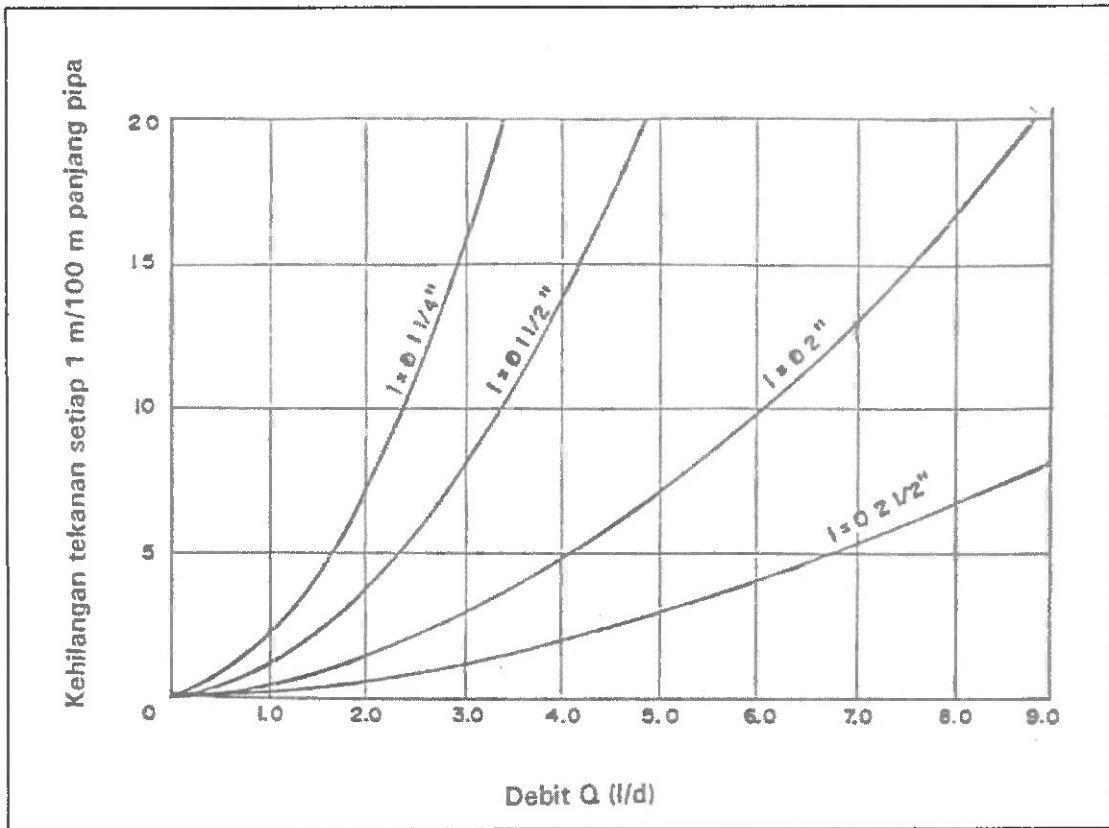
Gambar 19 Denah dan perspektif bak kebun



Gambar 20 Grafik hubungan antara debit dan kehilangan tekanan setiap m/100 m panjang pipa. Tipe pipa SDR 17



Gambar 21 Grafik hubungan antara debit dan kehilangan tekanan setiap m/100 m panjang pipa. Tipe pipa SDR 21



Gambar 22 Grafik hubungan antara debit dengan kehilangan tekanan setiap m/100 m panjang pipa. Tipe pipa SDR 26

### 5.8 Analisis Stabilitas

Analisis stabilitas tubuh embung secara praktis dapat dilakukan menggunakan program komputer, seperti GeoStudio atau Plaxis. Pada umumnya, data-data yang diperlukan sebagai input untuk perhitungan menggunakan program komputer meliputi:

Parameter / properti tanah yang meliputi :

- sudut geser ( $\phi$ ) dalam satuan  $^{\circ}$ ;
- kuat geser ( $c$ ) dalam satuan KPa;
- berat jenis satuan ( $\gamma$ ) dalam satuan  $\text{kN/m}^3$ ;
- porositas atau *saturated volume water content* ( $n$ ) dalam satuan  $\text{m}^3/\text{m}^3$ ;
- *saturated conductivity* ( $K_{sat}$ ) dalam satuan m/s; serta
- koefisien kompresibilitas volume ( $Mv$ ) dalam satuan /kPa.

Gaya tekan air dapat dibagi menjadi gaya hidrostatis dan gaya hidrodinamik. Tekanan hidrostatis adalah fungsi kedalaman di bawah permukaan air. Tekanan air akan selalu bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan. Oleh sebab itu agar perhitungannya lebih mudah, gaya horisontal dan vertikal dikerjakan secara terpisah. Tekanan air dinamik jarang diperhitungkan untuk stabilitas bangunan bendung dengan tinggi energi rendah.

Gaya tekan ke atas disebabkan karena bangunan air mendapat tekanan air bukan hanya pada permukaan luarnya, tetapi juga pada dasarnya dan dalam tubuh bangunan itu. Gaya tekan ke atas, yakni istilah umum untuk tekanan air dalam, menyebabkan berkurangnya berat efektif bangunan di atasnya.

Perhitungan gaya tekan ke atas untuk bangunan yang didirikan pada fondasi batuan terlihat seperti persamaan berikut ini.

$$W_u = C\tau_w[h_2 + \frac{1}{2}\xi(h_1 - h_2)]A$$

Keterangan :

$c$  adalah proporsi luas di mana tekanan hidrostatis bekerja ( $c = 1$ , untuk semua tipe fondasi)

$\tau_w$  adalah berat jenis air, kN/m<sup>3</sup>

$h_2$  adalah kedalaman air hilir, m

$\xi$  adalah proporsi tekanan (proportion of net head)

$A$  adalah luas dasar, m<sup>2</sup>

$W_u$  adalah gaya tekan ke atas resultante, kN

## 6 Manual Operasi dan Pemeliharaan

Manual Operasi dan Pemeliharaan di bawah ini digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan Operasi dan Pemeliharaan bangunan SDA.

### 6.1 Umum

Tujuan dari pembangunan embung adalah untuk menjamin tersedianya air guna menunjang dan memenuhi kebutuhan sesuai dengan prioritasnya, apakah untuk keperluan irigasi, pemenuhan kebutuhan air baku, dan lain-lainnya. Oleh karena itu, perlu dibuat daftar urutan prioritas pemenuhan kebutuhan air sesuai dengan yang direncanakan. Akan tetapi dengan adanya perkembangan daerah hilir embung misalnya, urutan prioritas tersebut kemungkinan bisa bergeser dan berubah, sehingga Pola Penyusunan Operasional Embung perlu disesuaikan dengan kebutuhan dan pemanfaatannya yang baru.

Sehubungan dengan hal tersebut, maka setiap embung harus mempunyai Panduan Operasi dan Pemeliharaan (Panduan O & P Embung) tersendiri, sesuai dengan karakteristik embung masing-masing yang dapat diketahui sejak survei dan investigasi, pembuatan desain sampai pelaksanaan konstruksinya. Oleh karena itu, catatan-catatan penting selama periode tersebut harus didokumentasikan.

Maksud dari Pedoman O & P Embung itu sendiri adalah sebagai panduan kegiatan di dalam memelihara, mengendalikan atau mengoperasikan serta memanfaatkan sumber daya air berikut sarana dan prasarannya, agar dapat berfungsi secara optimal dalam rangka memberikan pelayanan kepada masyarakat sesuai dengan umur layanan yang diharapkan.

Secara umum, Panduan O & P Embung sekurang-kurangnya harus mencakup hal-hal sebagai berikut:

### 1) Organisasi

Embung yang telah selesai dibangun hendaknya dikelola oleh desa setempat, dinas yang membidangi pengelolaan Sumber Daya Air setempat membantu desa dalam masalah keteknikan.

### 2) Inspeksi

- a) Desa pengelola embung perlu mengadakan inspeksi minimal sekali dua minggu terutama terhadap tubuh embung, pelimpah dan dinding kolam embung,
- b) Pada waktu dan setelah hujan lebat perlu inspeksi,
- c) Menjelang musim kemarau perlu diperiksa apakah alat sadap dan keran air bekerja dengan baik.
- d) Inspeksi harus dilakukan oleh tenaga teknis dari dinas terkait.

### 3) Daerah Tadah Hujan (DTH)

- a) Seluruh DTH sebaiknya dihijaukan dan dibuat teras dari tumpukan batu setinggi  $\pm 0,5$  m untuk mengurangi erosi. Tanaman rumput sangat disarankan.
- b) Hewan hendaknya tidak memasuki DTH untuk menjaga kebersihan air embung dari pencemaran kotoran hewan.

### 4) Kolam embung

- a) Penduduk hendaknya tidak mengambil air secara langsung dari kolam embung untuk menghindari pemborosan air.
- b) Hewan dilarang minum langsung di kolam embung untuk mencegah penularan penyakit hewan terhadap manusia. Pagar di sekeliling kolam mungkin diperlukan.

### 5) Operasi pengambilan air

Mengingat terbatasnya volume air yang ada pada tampungan, maka sebelum dioperasikan perlu dibuat rencana pengoperasian. Kegiatan ini dimulai dengan penentuan distribusi air untuk penduduk, berdasarkan perhitungan kebutuhan dan ketersediaan air (neraca air). Pengoperasian dilakukan sedemikian rupa sehingga pengambilan air tidak melebihi jumlah air yang tersedia.

## 6.2 Simulasi Tampungan

### 6.2.1 Metoda Simulasi

Metode simulasi adalah salah satu pendekatan analisa yang digunakan untuk melakukan studi terhadap perilaku tampungan akibat aktifitas *inflow* (masukan air) dan *outflow* (keluaran air) di embung.

Tahapan melakukan simulasi embung adalah sebagai berikut :

- Mengidentifikasi sistem.

- Menentukan sasaran dan menetapkan kriteria yang akan dipakai untuk mengukur sasaran tersebut.
- Memeriksa ketersediaan data.
- Memformalisasikan model dengan cara matematis dan kuantitatif mewakili komponen sistem, kriteria operasi dan kondisi hidrologinya.
- Menguji model.
- Menganalisa dan mengevaluasi hasil yang didapat sesuai dengan sasaran kajian.

### 6.2.2 Genangan

Genangan atau tampungan embung adalah volume yang terbentuk dari kondisi topografi di cekungan pada lokasi embung. Volume air ini kemudian dimanfaatkan untuk menampung air sesuai kebutuhan. Untuk merencanakan pemanfaatan yang tersedia diperlukan perencanaan yang sesuai dan efisien.

Untuk merencanakan pemanfaatan air tersebut, maka tampungan kita bedakan menjadi :

- Tampungan banjir, yaitu volume air tampungan yang diperuntukkan menampung luapan air akibat debit banjir dengan peluang yang sesuai dengan yang direncanakan.
- Tampungan efektif, yaitu volume air tampungan yang direncanakan untuk menampung air yang dimanfaatkan sesuai kebutuhan.
- Tampungan mati, yaitu volume air tampungan yang diasumsikan terisi sedimentasi sampai dengan umur embung yang telah direncanakan.

Dengan demikian volume air tampungan total adalah jumlah dari tampungan mati, tampungan banjir dan tampungan efektif.

### 6.2.3 Persamaan Keseimbangan Air Tampung

Simulasi tampungan embung berhubungan dengan simulasi matematik dari operasi embung. Perencanaan simulasi pengoperasian sistem pemanfaatan air di embung dengan simulasi dimaksudkan untuk menentukan kebutuhan air guna berbagai kebutuhan yang meliputi air baku, air rumah tangga, irigasi, pengendalian banjir dan lain sebagainya.

Tujuan simulasi embung adalah untuk menentukan pengoperasian embung pada suatu periode tertentu, pada titik kontrol sepanjang sistem.

Sasarannya adalah pengoperasian embung sebaik mungkin agar bisa memenuhi berbagai kepentingan.

Simulasi tampungan embung bisa juga dilakukan dengan cara coba-coba untuk mengembangkan pola operasi. Metode hitungan neraca air bisa dilakukan dengan menyederhanakan proses fisik menjadi fungsi aljabar, yang bisa dinyatakan sebagai berikut :

$$S_t = S_{t-1} + I_t + R_t - O_t - E_t - L_t$$

$$0 \geq S_t \geq C$$

dimana :

C = kapasitas tampungan embung efektif

$S_t$  = volume air di embung saat t (periode yang bersangkutan)

- $S_{t-1}$  = volume air di embung saat  $t - 1$  (periode sebelumnya)  
 $I_t$  = volume inflow ke embung saat  $t$   
 $R_t$  = volume air hujan yang masuk ke embung seluas daerah genangan saat  $t$ .  
 $O_t$  = volume outflow yang dicatat dari embung saat  $t$ .  
 $E_t$  = volume air embung yang menguap saat  $t$ .  
 $L_t$  = volume air embung yang hilang karena sebab-sebab lain saat  $t$ .

### 6.3 Operasi Embung

Sebelum pengoperasian embung, pada umumnya telah dihitung dan diketahui kapasitas tampungan atau alokasi air embung serta grafik hubungan antara elevasi muka air embung, luas genangan, dan volume air yang tertampung. Namun, korelasi tersebut dipengaruhi oleh variasi laju penampungan air maupun laju pengendapan/ sedimentasi di dasar embung. Faktor-faktor inilah yang harus diperhatikan di dalam Panduan O & P Embung yang terkait dengan pengoperasian Embung, yakni:

#### 6.3.1 Kapasitas Tampungan Embung

Kapasitas tampungan embung akan selalu berubah/ berkurang seiring dengan sedimentasi yang terjadi di dasar embung. Oleh karena itu, O & P embung harus memuat instruksi yang jelas mengenai perlu dan pentingnya dilakukan pengukuran laju sedimentasi di kolam embung secara periodic untuk menentukan pengendalian operasinya. Pengukuran ini antara lain bisa dilakukan dengan menggunakan peralatan "echo sounding".

#### 6.3.2 Banjir Desain dan Penelusuran Banjir

- a) Panduan O & P Embung hendaknya memuat pula uraian mengenai banjir desain, tipe dan debit banjir yang digunakan di dalam merekayasa embung, bangunan pelimpah, dan bangunan pengeluaran lainnya.
- b) Apabila embung didesain dengan menggunakan persyaratan debit banjir dengan periode ulang tertentu, maka besarnya debit banjir periode ulang tertentu tersebut perlu ditampilkan di dalam panduan.

Demikian pula catatan mengenai besarnya banjir maksimum yang pernah terjadi guna mengantisipasi pengoperasian embung selama waktu banjir berikutnya.

- c) Data yang perlu untuk penelusuran banjir yang masuk, antara lain adalah:
  - Debit banjir pada setiap sungai yang masuk ke dalam embung.
  - Elevasi muka air embung pada saat mulai banjir dan selama banjir.
  - Waktu dan debit pengeluaran dari bangunan pengeluaran.
  - Operasi saluran pemasok air ke dalam embung (jika ada).
- d) Panduan O & P embung perlu mencantumkan pula hidrograf penelusuran banjir desain, desain pengendalian banjir berikut data-data banjir besar yang pernah terjadi.

### 6.3.3 Prakiraan Air Masuk

- a) Panduan O & P embung harus memuat perintah mengenai pentingnya menghitung perkiraan besarnya air yang masuk ke dalam embung pada bulan-bulan sebelum dan selama musim penghujan/banjir, mencakup persiapan instruksi berikut prosedurnya. Prakiraan ini dapat digunakan sebagai dasar perencanaan operasi embung sebelum dan selama periode banjir, pembuatan prosedur perencanaan operasi dan kriteria operasi,
- b) Prakiraan hendaknya mencakup waktu dan besarnya banjir yang akan datang, yang antara lain dapat dipantau dengan menggunakan sistem peralatan telemetri.
- c) Untuk keperluan butir a) di atas, diperlukan prosedur administrasi dan data teknik termasuk pembentukan organisasi yang bertanggung jawab terhadap perhitungannya, pengumpulan data terkait serta pembuatan perencanaan operasi waduk.
- d) Data dan prosedur teknik yang dimaksud dalam butir c) di atas adalah:
  - Data hasil pemantauan hidrometeorologi.
  - Korelasi, persamaan-persamaan, grafik dan prosedur analisis prakiraan air masuk, termasuk sistem peringatan dini, dan sebagainya.
  - Instruksi mengenai frekuensi ramalan yang harus dibuat dalam berbagai kondisi yang bervariasi.

### 6.3.4 Jadwal Pengisian dan Prosedur Pengeluaran Air

Panduan O & P harus berisikan pula rencana atau jadwal pengisian embung dan pengeluarannya, secara berkesinambungan setiap tahun. Rencana tersebut hendaknya juga mencakup larangan atau batasan pengeluaran air, termasuk jumlah dan waktu kapan air harus dikeluarkan dari embung.

### 6.3.5 Petunjuk Operasi

- a) Panduan O & P embung harus memuat petunjuk operasi berupa informasi dan perintah yang jelas kepada personil yang bertanggung jawab terhadap pengoperasian embung agar sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan.
- b) Pembuatan petunjuk operasi dapat merujuk kepada dokumen-dokumen peralatan yang digunakan, desain embung dan bangunan pelengkap serta instruksi/manual dari pabrik pembuatannya.
- c) Petunjuk operasi hendaknya dibuat tersendiri, terpisah dari panduan mengenai kebijaksanaan operasi secara umum.
- d) Bangunan dan atau peralatan yang perlu dibuat petunjuk operasinya hendaknya mencakup:
  - Petunjuk operasi bangunan-bangunan sipil
  - Petunjuk operasi instrumentasi embung
  - Petunjuk operasi jaringan hidrometeorologi dan sistem peringatan dini.

### 6.3.6 Operasi Banjir

- a) Panduan O & P harus mencantumkan operasi banjir serta kriteria penyimpanan air berikut jadwal pengeluarannya sebelum dan selama terjadinya banjir. Hal ini penting dalam rangka pembuatan kriteria dan pola operasional embung yang antara lain dimaksudkan untuk keperluan keamanan embung dan keselamatan penduduk di daerah hilir embung. Di samping itu, Panduan O & P hendaknya juga merinci jenis-jenis kegiatan pengendalian banjir di hilir embung.
- b) Panduan O & P hendaknya juga mencantumkan kapasitas saluran/sungai pada penampang-penampang tertentu di hilir embung.

## 6.4 Pola Operasi Embung

Maksud dari pola operasi disini adalah merupakan pola pendistribusian air yang pada dasarnya dipengaruhi oleh komponen-komponen *outflow* maupun komponen-komponen *inflow*. Untuk studi ini dilakukan dengan cara pendekatan pembagian waktu menurut periode-periode. Pada setiap 1 (satu) bulan terdiri dari 2 (dua) periode dengan pembagian yang disesuaikan dengan jumlah hari pada masing-masing bulan, hal ini karena disesuaikan dengan pembagian periode pola tanam.

Pola pendistribusian air, didasarkan pada hasil simulasi yang menggunakan keandalan sebesar 80 %, akan terdapat pola perilaku muka air selama setahun pada setiap periode. Perilaku ini akan dapat diandalkan sebagai pola standar dengan peluang keberhasilan 80%.

Pada simulasi ini tentunya akan memanfaatkan volume tampungan efektif, yaitu volume yang berada di antara elevasi mercu pelimpah dan elevasi *intake*. Sedangkan tampungan total adalah tampungan efektif ditambah tampungan banjir dan tampungan dasar.

Pola operasi (pengaturan pembagian air) embung meliputi hal-hal dan dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### **Debit yang masuk (*inflow*), meliputi :**

1. Curah hujan yang langsung jatuh ke areal genangan embung (dihitung berdasarkan curah hujan rata-rata 15 harian dikalikan dengan luas genangan embung)
2. Debit andalan dari daerah tangkapan air (DTA) yang menjadi limpasan dan masuk ke embung.

#### **Debit yang keluar (*outflow*), meliputi :**

1. Evaporasi Langsung dari genangan embung
2. Kebutuhan air irigasi (hasil perhitungan kebutuhan air irigasi dengan berbagai alternatif pola tata tanam)
3. Kebutuhan air baku masyarakat (hasil perhitungan hidrologi kebutuhan air masyarakat-masyarakat)
4. Kebutuhan air minum ternak ekor.

Berikut ini adalah contoh tabel hasil analisa pola operasi embung dengan kondisi sebagai berikut:

- 1) Kebutuhan Irigasi

Jadwal tanam harus disesuaikan dengan musim (banjir) sehingga tanaman aman dari kerusakan, untuk pelaksanaan pengolahan tanah harus tepat waktu sesuai pola tanam usulan maupun kesepakatan kelompok tani yang ada di lokasi pekerjaan.

Pemberian air ke lahan dilakukan secara kontinyu yang disesuaikan dengan pola tanam (kebutuhan) dan ketersediaan air untuk irigasi, untuk itu diperlukan juru air yang bertugas mengatur bukaan pintu pengambilan (*intake*).

Pintu bangunan pengambil harus ditutup, pada saat dan setelah turun hujan dimana tanaman padi/palawija cukup memperoleh air dari air hujan saja.

2) Kebutuhan Air Baku

Saat ini tampungan embung lebih diprioritaskan untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi.

3) Kebutuhan Air Ternak

Seperti disebutkan di atas bahwa saat ini tampungan embung lebih diprioritaskan untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi.

Tabel 3 Contoh Hasil Analisa Pola Operasi Embung

NO	BLN	DKD	HARI	INFLOW		RUJUH		KEBUTUHAN AIR IRIGASI SAWAH SEKITAR EMBUNG 125,00 Ha	EVAPORASI HAWA	S OUTFLOW	S INFLOW	S OUTFLOW	AS = I - O	AIR YANG MELIPIKAS (SPILLOUT)	AIR YANG MELIPIKAS (SPILLOUT)	ELEVASI PINDAAR SITU	
				m <sup>3</sup> /det	m <sup>3</sup>	mm	m <sup>3</sup>										mm/hari
0																	
1	Jan	1	15	0,17	216,652,35	127,85	3,561,55	1,34	2,088,46	2,54	330,294,47	219,305,47	110,989,00	Tidak Mempas	Tidak Mempas	125,002	
2		2	16	0,17	231,095,95	135,37	3,798,98	0,94	2,227,69	1,90	164,187,46	363,460,93	177,927,38	64,285,27	64,285,27	125,105	
3	Peb	1	15	0,19	243,074,51	133,62	3,722,48	0,15	2,075,52	0,30	25,882,53	49,345,46	395,119,36	28,147,25	28,147,25	125,122	
4		2	13	0,19	210,664,57	115,81	3,226,15	0,39	1,739,45	0,31	45,972,49	1,015,129,40	493,217,95	86,191,45	449,269,33	125,140	
5	Mar	1	15	0,19	231,870,87	127,98	3,665,40	0,42	1,819,34	0,81	70,056,47	53,274,42	743,725,86	630,083,74	630,083,74	125,149	
6		2	16	0,19	268,662,26	136,52	3,803,09	0,32	1,940,53	0,66	57,161,13	1,555,662,54	80,435,54	995,226,69	841,584,88	125,161	
7	Apr	1	15	0,12	150,509,01	89,85	2,502,95	0,00	1,692,71	0,02	1,692,71	1,666,171,55	582,128,25	1,104,043,29	990,401,18	125,176	
8		2	15	0,12	150,509,01	89,85	2,502,95	0,05	1,692,71	0,11	9,906,60	1,838,660,56	92,034,86	1,244,645,70	1,131,003,59	125,187	
9	Mei	1	15	0,04	46,902,07	44,74	1,246,36	0,78	1,586,76	1,47	123,734,69	1,886,582,63	719,138,30	1,167,204,32	1,033,952,21	125,181	
10		2	16	0,04	53,228,87	47,72	1,329,45	0,78	1,586,76	1,98	136,691,17	1,839,811,50	856,019,48	1,083,752,02	970,149,91	125,170	
11	Jun	1	15	0,03	32,714,28	31,58	879,68	0,49	1,519,15	0,94	80,869,70	1,572,525,78	936,889,17	1,035,658,61	921,994,49	125,172	
12		2	15	0,03	32,714,28	31,58	879,68	0,27	1,459,15	0,53	45,913,51	2,005,240,07	982,802,68	1,022,447,39	908,785,27	125,170	
13	Juli	1	15	0,03	32,417,28	30,40	568,22	0,00	1,664,11	0,02	1,664,11	1,664,11	1,664,11	1,053,190,46	939,548,34	125,172	
14		2	16	0,03	34,578,44	21,76	608,11	1,45	1,775,16	2,91	251,485,90	2,072,657,32	864,466,89	1,053,190,46	939,548,34	125,172	
15	Agus	1	15	0,03	32,405,19	6,07	169,02	1,82	1,986,29	3,44	297,251,48	2,104,640,97	1,533,204,27	571,458,71	457,754,59	125,135	
16		2	16	0,03	34,565,53	21,38	595,74	1,83	2,119,44	3,68	318,226,23	2,139,206,51	1,851,450,49	187,775,01	174,133,89	125,113	
17	Sept	1	15	0,03	32,401,61	6,47	180,28	0,74	2,212,63	1,42	122,867,67	2,171,608,11	1,974,288,16	197,305,95	83,667,84	125,106	
18		2	15	0,03	32,401,61	21,38	595,74	0,73	2,212,63	1,39	2,004,099,72	2,094,614,41	1,019,395,31	Tidak Mempas	Tidak Mempas	124,973	
19	Oktr	1	15	0,03	32,400,47	66,96	1,885,39	0,63	2,212,05	1,25	107,692,86	2,126,430,19	2,240,897,54	94,873,29	Tidak Mempas	Tidak Mempas	122,036
20		2	16	0,03	34,560,50	71,42	1,985,75	0,19	2,339,52	0,41	35,412,75	2,420,920,68	2,237,720,01	33,250,67	Tidak Mempas	Tidak Mempas	122,036
21	Nov	1	15	0,05	64,800,14	118,04	3,288,43	0,01	2,115,93	0,04	3,177,52	2,335,770,83	2,240,897,54	157,657,50	Tidak Mempas	Tidak Mempas	124,998
22		2	15	0,05	64,800,14	118,04	3,288,43	0,00	2,115,93	0,02	2,400,570,97	2,243,013,47	2,243,013,47	43,915,39	43,915,39	125,103	
23	Des	1	15	0,09	112,881,13	126,13	3,513,73	0,29	1,616,13	0,56	48,582,14	2,513,452,10	2,281,955,61	221,656,49	209,244,37	125,108	
24		2	16	0,09	130,406,53	134,54	3,747,98	0,39	1,722,81	0,79	68,403,25	2,633,838,63	2,339,986,85	273,859,78	260,217,66	125,112	
Jumlah				365	2.520.216,52	1.846,05			2.314.395,19	45.603,67	2.359.999	2.359.999				124,84	
RATA-RATA					105.009,02	76,92			66.433,13	1.900,15	7.390,33	7.390,33				124,84	
MAKSUDUM					268.662,26	138,52			316.106,98	2.399,52	318.226,23	318.226,23				125,19	
MINIMUM					32.400,47	6,07			0,00	1.519,15	1.664,21	1.664,21				122,04	
VOL MAX EMBUNG																	
VOL MIN EMBUNG																	

Kebutuhan Air Irigasi Maksimum uk Persawahan di sekitar Embung = 1,83 /det/ha  
 Luas Genangan Maksimum Embung Pared = 27.858,19 m<sup>2</sup>  
 Volume Tempungan Efektif Embung (tempungan efektif) = 90.363,14 m<sup>3</sup>  
 Volume Tempungan Minimum Embung (tempungan mati) = 23.278,97 m<sup>3</sup>  
 Volume Tempungan Maksimum (sampai embung penuh/make) = 113.642,12 m<sup>3</sup>  
 Elevasi Muka Air Embung Rata-rata = 124,84 m  
 Elevasi Muka Air Embung Maksimum = 125,19 m  
 Volume Tempungan sedimen maksimum = 23.278,97 m<sup>3</sup>  
 Elevasi Permukaan = 125,10 m  
 Elevasi = 121,50 m

Sumber: Laporan Pedoman Operasi dan Pemeliharaan (O&P), Detail Desain Embung 1 Lokasi Kabupaten Blora.

## 6.5 Pemeliharaan Embung

Pemeliharaan merupakan suatu usaha untuk merawat, menjaga dan melestarikan sehingga embung akan tetap dapat memberikan "daya layan" yang optimal kepada masyarakat. Masyarakat sebagai penerima manfaat dari rencana pembangunan embung, untuk itu diperlukan usaha sosialisasi cara pengoperasian dan pemeliharaan, sehingga masyarakat merasa memiliki dan menjaga subyek dari pembangunan embung tersebut.

Pemeliharaan Embung adalah kegiatan yang tidak boleh diabaikan karena embung akan mengalami kerusakan dari waktu ke waktu dimana kerusakan kecil akan dapat berkembang menjadi kerusakan yang besar apabila tidak cepat ditangani. Program pemeliharaan yang baik akan mencegah embung dari kerusakan, meningkatkan umur embung serta menjaga struktur bangunan tetap aman. Semua komponen dan peralatan pendukungnya sebaiknya dilakukan inspeksi dan pemeliharaan secara rutin seperti yang ditunjukkan di bawah :

### 6.5.1 Tanggul (*Embankment*)

Perawatan tubuh tanggul meliputi perawatan terhadap tumbuh-tumbuhan serta binatang-binatang yang dapat mengakibatkan kerusakan pada tubuh tanggul serta kerusakan-kerusakan yang terjadi meliputi:

- Pengontrolan tumbuhan-tumbuhan disekitar bendung dilakukan dua kali per tahun atau lebih dengan cara :
  - Memotong rumput untuk mempertahankan penglihatan permukaan embung dan menghapus vegetasi berkayu yang berjarak 25 meter dari semua komponen embung.
  - Menjaga ketinggian rumput tidak lebih dari 20 cm.
  - Menjaga kesehatan rumput untuk mencegah erosi dan pertumbuhan vegetasi berkayu.
- Pengontrolan binatang pengerat (*Rodent Control*) dilakukan sebulan sekali atau lebih dengan jalan :
  - Pengasapan liang binatang (*fumigate burrow*)
  - Perangkap atau membasmi tikus
  - Mengsisi seluruh liang dengan bahan isi
- Perawatan jalan yang berada dibagian atas tubuh embung dilakukan setahun sekali atau lebih.
  - Pelapisan kembali terhadap lapisan-lapisan tanah atau asfalt yang mengalami kerusakan akibat gesekan atau termakan oleh umur.
  - Menjaga ketinggian tanggul sesuai dengan spesifikasi perencanaan
  - Melaporkan terhadap pemilik embung apabila terjadi pada tubuh embung.
- Perawatan terhadap lapisan pelindung permukaan tubuh embung bagian depan maupun belakang dilakukan setahun sekali atau lebih.
  - Perbaiki batuan riprap dengan menjaga slope sesuai dengan perencanaan.
  - Mengganti material lapisan dan riprap yang mengalami kerusakan atau hilang
  - Membuang tumbuh-tumbuhan berkayu yang ada pada tubuh embung.

### 6.5.2 Bangunan Pelimpah (*Spillway*)

Perawatan bangunan pelimpah (*spillway*) meliputi menghilangkan tumbuh-tumbuhan serta perbaikan kerusakan-kerusakan pada permukaan *spillway* yang ditimbulkan oleh gaya dinamis air yang melaluinya meliputi:

- Mengontrol tumbuh-tumbuhan (untuk darurat rumput berjajar *spillway*) dilakukan setahun dua kali atau lebih
  - Memotong rumput dengan frekwensi dua kali per tahun
  - Menjaga kesehatan rumput untuk mencegah erosi dan pertumbuhan vegetasi berkayu
  - menghilangkan tumbuhan berkayu per tahun
- Perbaikan tanah dilakukan setahun sekali atau lebih
  - Ganti tanah hilang dengan tanah baru yang tidak mengandung vegetasi, bahan organik, sampah atau besar batu
  - Penempatan dan pemadatan lapisan tipis (yaitu, 6-inci)
  - Pemasangan tanah lapisan atas
- Pelindung Erosi dilakukan setahun sekali atau lebih
  - Pemasangan batu, riprap, tumbuh-tumbuhan atau bahan lainnya (misalnya, beton atau aspal) di mana pelindung erosi yang hilang, rusak atau diperlukan
  - Periksa saluran pelimpah hilir untuk bukti dari sedimentasi yang berlebihan atau erosi
- Perbaikan Beton / Batu / *Masonry* dilakukan setahun sekali atau lebih
  - Perbaikan kerusakan yang ada di permukaan beton atau pasangan batu dengan menambah lapisan atau perkuatan
  - Apabila terjadi kerusakan pada beton atau pasangan batu yang ada di *spillway* yang terlalu berat perlu berkonsultasi dengan personil keselamatan bendungan dan / atau profesional insinyur untuk menentukan perbaikan yang sesuai atau layak
- Membuang sampah dilakukan sebulan sekali atau sebaiknya seminggu sekali
  - Membuang sampah-sampah yang tersangkut di dalam *spillway*

### 6.5.3 *Intake / Outlet Struktur*

Perawatan bangunan pengambilan meliputi perawatan terhadap gangguan yang dari sampah atau kerusakan pada peralatan dan bangunan meliputi :

- *Trashrack* dilakukan setahun sekali atau setelah setiap badai besar
  - Membuang puing-puing sampah dari trashrack
  - Perbaikan bagian berkarat atau rusak sesuai kebutuhan
- Perawatan peralatan mekanikal dilakukan sekali per tahun
  - Pengecekan operasi katup dengan cara membuka dan menutup katup berulang kali.
  - Pelumasan pada mekanisme penggerak sesuai yang direkomendasikan oleh pabrik.
  - Pengecatan dan pelindungan permukaan logam besi jika diperlukan
- *Internal Conduit* dilakukan sekali per tahun
  - Pemeriksaan kebocoran atau rembesan pada bagian akhir pipa.

- Pemeriksaan korosi atau kerusakan pada material saluran.
- Pengecekan apabila terjadi kerusakan dan melakukan perbaikan dengan bimbingan oleh tenaga ahli.
- Dinding Beton atau Pasangan batu
  - Perawatan ini dilakukan sekali per tahun

#### **6.5.4 Dinding Pengaman Tebing**

Perawatan pengaman tebing meliputi perawatan terhadap tumbuh-tumbuhan dan kerusakan struktur meliputi :

- Pengontrolan tumbuh-tumbuhan dilakukan dua kali per tahun
  - Memotong tumbuhan berkayu yang berjarak 25 meter dari bangunan embung yang berpasangan batu atau beton.
  - memotong pepohonan yang tumbuh pada dinding beton atau pasangan batu
- Mengganti batuan yang hilang dilakukan setahun sekali
  - Mengganti pelapis batu yang hilang atau yang tidak lurus yang ada didalam spillway
  - Mengganti pasangan batu yang hilang di depan atau dibelakang dinding.
  - Jangan melakukan penutupan dengan lapisan semen atau pelapis yang lain pada bagian yang terbuka pada dinding atau runtuhan tanpa berkonsultasi dengan tenaga yang berpengalaman.

#### **6.5.5 Sarana Penunjang**

- Menjaga rambu-rambu akses kendaraan dan pejalan kaki untuk memungkinkan inspeksi masa depan dan pemeliharaan dilakukan sekali per tahun.
- Periksa pagar, kunci, dan tanda-tanda kerusakan dilakukan sekali per tahun.

#### **6.5.6 Perawatan Rutin**

Salah satu upaya untuk meminimalkan terjadinya kerusakan yang membahayakan embung adalah dengan melakukan perawatan secara rutin. Perawatan rutin sebaiknya dilakukan 1 bulan 1 kali.

Perawatan rutin ini meliputi kegiatan pembersihan semak/rumput disekitar bangunan inti embung, dan pembersihan saringan pasir cepat pada bak penampung.

#### **6.5.7 Pengurangan Sedimen**

Berdasarkan perhitungan estimasi erosi dan sedimentasi yang terjadi pada embung maka sebenarnya pengurangan embung dapat dilakukan dalam jangka waktu yang lama mengingat embung Plered ini luas daerah tangkapan airnya tidak besar dan curah hujan yang rendah serta tutupan lahanya masih banyak tanaman keras dan perdu. Tetapi untuk pengurangan sedimen secara periodik yaitu  $\pm$  2 tahun sekali dapat dilakukan dengan waktu pengerukan pada akhir musim kemarau. Pengurasan dilakukan dengan pengerukan sedimen di hulu tampungan embung Plered tepatnya di hulu gorong-gorong dari alur sungai yang masuk ke lokasi genangan embung.

## 6.6 Inspeksi

Inspeksi embung secara teratur dan hasil inspeksi terekam atau tercatat dengan baik akan mempermudah didalam melakukan perbaikan atau perawatan embung, karena riwayat hasil inspeksi dan perawatan yang terdahulu akan membantu perbaikan diwaktu berikutnya didalam menentukan penyebab kerusakan.

Sehingga semua inspeksi harus terorganisasi, sistematis dan menggunakan peralatan yang cukup memadai untuk dapat melakukan penyelidikan dengan baik. Peralatan yang digunakan dalam inspeksi antara lain :

- Notebook dan pensil dimana digunakan untuk mencatat hasil penyelidikan lapangan dan mengurangi kesalahan dan kehilangan data.
- Menyiapkan *Checklist* untuk memudahkan dalam pengecekan sehingga tidak terjadi kekurangan data pengecekan.
- *Digital Camera* untuk memotret kondisi lapangan yang ada saat ini
- GPS untuk melakukan pengecekan posisi koordinat
- *Hand Level* untuk menentukan ketinggian embung dan slope dari tubuh embung.
- Meteran *Roll* untuk melakukan pengukuran-pengukuran lapangan jika diperlukan
- Palu inspeksi
- Peralatan pengukur kemiringan, dll.

Inspeksi embung sebaiknya dilakukan dalam dua cara yaitu dalam frekuensi bulanan dan tahunan seperti yang diuraikan dibawah ini :

- Inspeksi Bulanan yang perlu dilakukan adalah :
  - Pencatatan tinggi muka air embung
  - Pengecekan debit yang masuk ke embung
  - Pengecekan debit keluaran dari embung
  - Pengecekan secara visual untuk komponen seperti
  - Puncak bendung meliputi :
    - Pengecekan retakan-retakan yang terjadi pada puncak tubuh embung
    - Pengecekan kelongsoran pada puncak tubuh embung
    - Pengecekan penurunan atau kelurusan puncak tubuh embung
    - Pengecekan terhadap adanya lubang-lubang penurunan setempat (*sink hole*) pada puncak tubuh embung.
    - Pengecekan terhadap tumbuh-tumbuhan yang ada pada puncak tubuh embung.
  - Permukaan bendung bagian depan dan bagian udik dari retakan atau longsor.
    - Pengecekan retakan-retakan yang terjadi pada tubuh embung bagian depan dan belakang
    - Pengecekan kelongsoran pada tubuh embung bagian depan dan belakang

- Pengecekan terhadap adanya lubang-lubang pada tubuh embung bagian depan dan belakang.
- Pengecekan terhadap tumbuh-tumbuhan yang ada pada tubuh embung bagian depan dan belakang
- pengecekan terhadap kelongsoran rip-rap pelindung tubuh embung
- Pengecekan *Spillway* dan Kolam Pemecah Energi terhadap kerusakan yang terjadi
  - Pengecekan retakan-retakan yang terjadi pada bangunan pelimpah/ *spillway*
  - Pengecekan dinding yang ada pada bangunan pelimpah/ *spillway*
  - Pengecekan penurunan lantai atau sambungan yang ada pada bangunan pelimpah/ *spillway*
  - Pengecekan gabion yang ada pada bangunan pelimpah/ *spillway*
  - Pengecekan terhadap tumbuh-tumbuhan yang ada pada bangunan pelimpah/ *spillway*
  - Pengecekan beton dan pasangan batu yang ada pada bangunan pelimpah/ *spillway*
  - Pengecekan tanah yang ada di kanan dan kiri bangunan pelimpah/ *spillway*
- Pengecekan kebocoran pada tubung embung
  - Pengecekan apabila terjadi kebocoran pada tubuh embung
  - Pengecekan debit air yang ada dibelakang tubuh embung
  - Pengecekan saluran drainase yang ada dibelakang tubuh embung
  - Pengecekan terhadap tumbuh-tumbuhan yang ada pada saluran drainase
- Pengecekan Peralatan Pengaman embung
  - Pengecekan pagar-pagar pelindung embung dari kerusakan atau korosi
  - Pemeriksaan *trashrack*
- Pengecekan sistem hidraulik
  - Pengecekan sistem pelumasan pada sistem hidraulik
  - Pengecekan sistem operasi dari pintu atau valve
- Inspeksi Tahunan

Pengecekan keseluruhan komponen dan bangunan embung dimana pengecekan ini hampir sama dengan pengecekan bulanan tetapi lebih detail dan disertai dengan alat bantu atau alat ukur untuk mendeteksi setiap kerusakan yang terjadi.

  - Pengecekan penurunan tubuh embung dengan menggunakan alat ukur.
  - Pengecekan kebocoran atau rembesan yang terjadi di bagian hilir tubuh embung dengan alat ukur
  - Pengecekan saluran pelimpah dan kolam pemecah energi
  - Pengecekan semua sistem operasi pada embung dengan melakukan pengoperasian pada katup.
  - Pengecekan saluran pengambilan dari kebocoran serta debit yang dihasilkan.
- Inspeksi Mendadak

Pengecekan mendadak dilakukan apabila terjadi bencana seperti banjir besar atau gempa dimana pengecekan pada umumnya dilakukan secara visual.

### **6.7 Masalah yang Membahayakan Embung**

Permasalahan pada embung dengan bentuk kola mini terdapat dalam aspek keselamatan lingkungan berupa makhluk hidup yang mungkin tenggelam ke dalam embung (terutama embung besar), baik manusia, maupun hewan. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi kemungkinan adanya makhluk hidup yang tenggelam, maka embung perlu diberi pembatas, misalnya dengan pagar.

### **6.8 Struktur Organisasi Pelaksana Operasi dan Pemeliharaan**

Syarat utama agar operasi dan pemeliharaan suatu embung dapat dilaksanakan secara layak, efektif dan efisien adalah adanya wadah berupa organisasi yang dapat mengatur pemberian tugas dan tanggung jawab yang jelas serta prosedur pelaporan yang teratur.

Organisasi pelaksana O & P juga harus didukung oleh staf pelaksana yang memadai secara kuantitas maupun kualitas. Untuk itu diperlukan suatu program pelatihan berikut pelaksanaannya serta didukung dengan sarana dan peralatan yang dibutuhkan guna menunjang pelaksanaan tugas personil pelaksana O & P di lapangan. Jenis dan periode pelatihan yang sesuai perlu dijadwalkan dalam rangka menjaga dan meningkatkan kemampuan personil yang bersangkutan.

Bagian-bagian yang terlibat dan terkait dalam organisasi pelaksana O & P Embung antara lain adalah:

- 1) Bagian Operasional (termasuk Sekuriti)
- 2) Bagian Pemeliharaan Bangunan dan Peralatan
- 3) Bagian Pemantauan dan Pengamatan Embung dan Bangunan

Secara umum, personil O & P Embung dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok personil sebagai berikut:

- 1) Personil Tetap : Untuk melaksanakan kegiatan rutin operasi, pemeliharaan, pemantauan dan pengelolaan embung, termasuk di dalamnya petugas sekuriti embung.
- 2) Personil Tidak Tetap : Adalah "pekerja lepas" atau sebagai kontraktor dan sub-kontraktor yang melaksanakan sejumlah kegiatan yang berhubungan dengan pekerjaan pemeliharaan/perbaikan.

### **6.9 Perencanaan Biaya O & P Embung**

Biaya O & P Embung adalah segala biaya yang dibutuhkan/dikeluarkan untuk membiayai kegiatan O & P Embung dalam rangka mengoptimalkan fungsi dan manfaat Embung berikut bangunan prasarannya sesuai dengan umur layanan yang telah direncanakan serta menjaga kondisi keamanannya.

Besarnya biaya pokok O & P Embung tergantung kepada dimensi, kondisi dan umur embung beserta bangunan pelengkap dan prasarana lainnya. Dalam rangka menunjang program keamanan embung secara berkesinambungan dan sekaligus menjaga konsistensi layanan operasionalnya, maka perencanaan biaya O & P embung perlu disiapkan untuk jangka panjang.

Biaya O & P embung biasanya dihitung berdasarkan komponen-komponen yang secara teknik memang memerlukan pemeliharaan. Pada periode-periode tertentu, biaya O & P tahunan embung biasanya meningkat sebagai akibat dari adanya penyusutan, keausan atau kerusakan yang terjadi seiring dengan bertambahnya umur layanannya. Oleh karena itu, biaya pokok tersebut harus ditinjau dan dievaluasi lagi, biasanya setiap tahun oleh personil O & P dan atau setiap periode yang dilaksanakan oleh unit yang memonitor keamanan embung.

Perhitungan dan perencanaan biaya O & P embung untuk setiap tahunnya dapat dilakukan dengan cara membuat daftar atau melakukan inventarisasi terhadap komponen-komponen pokok yang perlu mendapatkan perbaikan, pemeliharaan dan perawatan secara kontinyu, termasuk jenis dan metode pemeliharaan dan atau perbaikan yang akan dilakukan. Evaluasi biaya yang dibutuhkan mencakup biaya langsung dan tak langsung serta biaya tak terduga, sebagai berikut:

### **1) Biaya Langsung**

Biaya langsung adalah segala biaya yang disediakan dan akan digunakan untuk keperluan operasi dan pemeliharaan embung, antara lain untuk:

- Biaya perawatan /pemeliharaan rutin embung serta bangunan pelengkap dan prasarana lainnya.
- Biaya untuk Operasi dan Pemeliharaan Peralatan.
- Biaya untuk kegiatan pemantauan dan pengamatan, termasuk pembacaan dan perawatan sistem instrumentasi.
- Biaya untuk Upah dan Gaji karyawan, termasuk upah biaya untuk pengawasan.
- Biaya pembelian/penggantian peralatan dan bahan-bahan.
- Biaya untuk pekerjaan perbaikan dan atau rehabilitasi.
- Biaya untuk program pelatihan personil O & P.
- Dan lain-lain.

### **2) Biaya Tak Langsung**

Adalah segala biaya yang disediakan untuk menunjang kelancaran pekerjaan dan atau kegiatan yang berkaitan dengan penyelenggaraan O & P embung, yang antara lain terdiri dari:

- Biaya Umum
- Biaya Perjalanan Dinas
- Biaya untuk cadangan/rencana pengembangan/rehabilitasi, dll.
- Depresiasi

### **3) Biaya Tak Terduga**

Biaya tak terduga adalah dana yang dialokasikan khusus untuk mengantisipasi segala kejadian di luar perhitungan yang dapat menimbulkan kerusakan sehingga mengganggu

kelancaran kegiatan O & P embung baik sebagian (partial) maupun secara keseluruhan. Kejadian di luar perhitungan tersebut diantaranya adalah bencana alam dan vandalisme. Antisipasi besar-kecilnya biaya tak terduga ini antara lain bisa diperkirakan dari berbagai faktor, antara lain seperti:

- Tingkat permasalahan yang dijumpai pada saat penyusunan desain dan pelaksanaan konstruksinya.
- Kondisi geoteknik di lokasi embung dan di sekitar genangan embung.
- Kondisi sosial ekonomi dan budaya masyarakat setempat.
- Kecanggihan teknologi dan kualitas peralatan yang digunakan.

Perencanaan biaya O & P jangka panjang dapat disusun berdasarkan atas *data base* serta asumsi-asumsi program pelayanan dan pengembangan untuk jangka panjang serta prakiraan tingkat inflasi. *Data base* tersebut dapat dibuat berdasarkan pengalaman operasional tahunan serta data aktual biaya pokok rutin O & P embung yang sudah berjalan ditambah pengalaman dari embung-embung lain yang sejenis.

## 7 Perhitungan Volume dan Biaya

Penghitungan Volume dan Biaya mengacu kepada Lampiran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016 Tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum. Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) adalah perhitungan kebutuhan biaya tenaga kerja, bahan dan peralatan untuk mendapatkan harga satuan atau satu jenis pekerjaan tertentu.

Adapun komponen pekerjaan embung dengan bentuk kolam yang termasuk dalam pelaksanaan pembangunan embung tipe urukan seperti tabel berikut:

**Tabel 4 - Jenis Pekerjaan Untuk Setiap Komponen Embung Dengan Bentuk Kolam**

No	Komponen	Jenis Pekerjaan				
		Tanah	Pasangan	Beton	Dewatering	dll.
1	Kolam embung	✓			✓	✓
2	Bangunan pelimpah	✓	✓	✓	✓	✓
3	Bangunan pengambilan	✓	✓			✓
4	Bangunan Penahan	✓	✓	✓	✓	✓
5	Bak Pengendap	✓	✓	✓	✓	✓
6	Pintu Penguras	✓	✓	✓		✓
7	Sistem distribusi	✓	✓	✓		✓

### 7.1 Volume Pekerjaan

Untuk mendapatkan besarnya RAB yang telah direncanakan, sebagai langkah awal adalah dengan menghitung volume pekerjaan yang berkaitan dengan pelaksanaan fisik yang akan dilaksanakan.

Untuk perhitungan kuantitas pekerjaan adalah dilakukan dengan menghitung setiap item pekerjaan berdasarkan gambar perencanaan dimana secara umum jenis pekerjaan tersebut adalah :

1) Pekerjaan tanah

Perhitungan volume dilakukan berdasarkan rerata luasan data potongan penampang desain tanah dengan dikalikan dengan jarak untuk setiap jenis kegiatan ataupun material jenis material yang digunakan dengan satuan kuantitas, yaitu  $m^2$  ataupun  $m^3$ .

2) Pekerjaan bangunan

Perhitungan volume dilakukan berdasarkan rerata luasan data potongan penampang desain bangunan yang mewakili bentuk dengan dikalikan jarak untuk setiap jenis kegiatan ataupun meterial yang digunakan dengan satuan kuantitas, yaitu  $m^2$  ataupun  $m^3$ .

3) Pekerjaan lainnya

Pekerjaan ini disesuaikan dengan sifatnya yang dihitung dalam bentuk satuan kuantitas, yaitu  $m^3$ ,  $m^2$ , buah, set ataupun lainnya.

## 7.2 Analisa Harga Satuan

Rencana Anggaran Biaya adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tertentu. Untuk membuat RAB konstruksi embung dengan bentuk kolam diperlukan data antara lain :

### a) Gambar Rencana

Untuk menghitung volume pekerjaan diperlukan gambar rencana yang baik dengan dimensi dan skala yang tepat. Gambar rencana yang diperlukan antara lain : denah, potongan memanjang, potongan melintang, dan detail.

### b) Koefisien

Koefisien pada tabel AHSP dapat diambil dari Lampuran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016 Tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum.

### 7.2.1 Jenis Harga Satuan

Selain gambar rencana, harga satuan juga diperlukan dalam menghitung RAB suatu konstruksi. Harga satuan yang dimaksud adalah harga satuan bahan, harga satuan upah dan harga satuan peralatan. Harga satuan ini berbeda untuk masing-masing daerah di Indonesia.

#### a) Harga satuan bahan

Harga atau biaya satuan yang dibutuhkan untuk pengadaan suatu material yang dibutuhkan untuk pelaksanaan konstruksi.

#### b) Harga satuan upah

Harga atau biaya satuan yang dibayarkan kepada pekerja sebagai upah atas kerja yang dilakukannya (baik langsung ataupun tidak langsung). Upah langsung adalah upah yang langsung dibayarkan kepada pekerja berdasarkan tarif hariannya sesuai dengan lamanya bekerja, sedangkan upah tidak langsung meliputi pajak, asuransi, dan berbagai macam tunjangan.

#### c) Harga satuan peralatan

Harga atau biaya satuan yang dibutuhkan untuk pengadaan dan operasional semua peralatan yang digunakan untuk melaksanakan pekerjaan konstruksi (tidak termasuk biaya transportasi untuk mendatangkan dan mengembalikan peralatan, biaya mobilisasi, dan biaya demobilisasi).

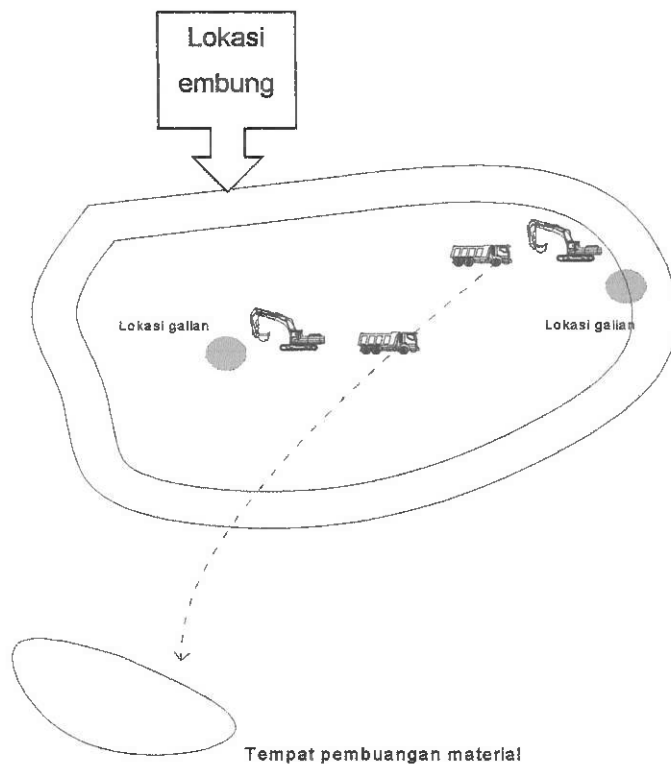
### 7.2.2 Data Teknis

Berikut ini adalah contoh data teknis embung :

**Tabel 5 Data Teknis**

No	Kolam embung				Bak pengendap		Pelimpah	
	Volume	Panjang rata-rata	Lebar rata-rata	Tinggi	Panjang	Tinggi	Lebar	Tinggi
	m <sup>3</sup>	m	m	m	m	m	m	m
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	500	25	10	2,0	0,5	0,3	4	0,3
2	500	20	10	2,5	0,5	0,3	4	0,3
3	1.000	25	20	2,0	0,5	0,3	4	0,3
4	1.500	30	25	2,0	0,6	0,4	4	0,3
5	2.000	40	25	2,0	0,5	0,4	5	0,3
6	2.500	40	25	2,5	1,0	0,5	5	0,5
7	3.000	50	30	2,0	1,0	0,5	5	0,5
8	3.000	40	25	3,0	1,0	0,5	5	0,5

7.2.3 Analisa Jarak



Gambar 23 Contoh denah lokasi embung

Tabel 6 Analisa Jarak

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1	Material hasil galian dimuat ke <i>Dump Truck</i>		m <sup>3</sup>	1.00		0
2	<i>Dump Truck</i> angkut material hasil galian sejauh 1 km		m <sup>3</sup>	1.00		0
3	Tanah dihampar, diratakan dan dirapikan		m <sup>3</sup>	1.00		0

5.3.1. Contoh Volume Pekerjaan

Tabel 7 Contoh Perhitungan Volume Pekerjaan

No	Kolam embung				Bak pengendap		Peltrampah		Volume pekerjaan							
	Volume	Panjang rata-rata	Lebar rata-rata	Tinggi	Panjang	Tinggi	Lebar	Tinggi	Pembersihan lahan	Galian	Pemadatan lumpur	Geomembran	Plester	Pintu ak	Pipa	Rumput
	m <sup>3</sup>	m	m	m	m	m	m	m	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	buah	m	m <sup>2</sup>
1	500	25	10	2,0	0,6	0,3	4	0,3	250	650	80	400	400	1	30	50
2	600	20	10	2,5	0,5	0,3	4	0,3	200	650	80	400	400	1	30	50
3	1.000	25	20	2,0	0,5	0,3	4	0,3	500	1.100	140	700	700	1	30	50
4	1.500	30	25	2,0	0,6	0,4	4	0,3	750	1.800	200	1.000	1.000	1	30	50
5	2.000	40	25	2,0	0,6	0,4	5	0,3	1.000	2.200	280	1.300	1.300	1	30	50
6	2.500	40	25	2,5	1,0	0,6	5	0,5	1.000	2.700	300	1.350	1.350	1	30	50
7	3.000	60	30	2,0	1,0	0,6	5	0,5	1.500	3.300	360	1.400	1.400	1	30	50
8	3.000	40	25	3,0	1,0	0,5	5	0,5	1.000	3.300	360	1.400	1.400	1	30	50

### 7.2.4 Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

Berikut adalah contoh AHSP dengan nilai harga satuan dasar tenaga kerja di daerah tertentu. Untuk setiap daerah, harga dasar tenaga kerja tersebut mungkin akan berbeda satu sama lain dan dapat disesuaikan. Pekerjaan di bawah ini adalah pekerjaan pembangunan embung secara umum, namun bisa disesuaikan lagi dengan desain embung itu sendiri.

a) Pekerjaan persiapan

1) Mobilisasi dan demobilisasi

L.04 Mobilisasi

Pelaksanaan mobilisasi/demobilisasi harus dilakukan sesuai dengan kebutuhan pelaksanaan pekerjaan yang berdasarkan tuntutan kondisi pekerjaan dan/atau lapangan.

**Tabel 8 AHSP Inverstigasi Lapangan**

L.04a Investigasi Lapangan  
Lokasi tempat peralatan mempunyai tingkat kesulitan sedang dengan tersedianya akses jalan kecil

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Ahli alat berat (ahli madya)	L.14b	OH	1		
2	Pelaksana kegiatan (pemberi tugas)	L.16	OH	1		
3	Staf (kontraktor)	L.16	OH	2		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan (D+E)</b>						

**Tabel 9 AHSP Sewa Lahan**

L.04b Sewa Lahan  
Lahan yang diperlukan untuk base camp dan tempat alat berat diperlukan 1,5 ha atau sesuai kebutuhan  
Lama waktu penyewaan harus menghitung 1 bulan sebelum dan sesudah pelaksanaan pekerjaan

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Sewa lahan	-	ha-bulan	8		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan (D+E)</b>						

**Tabel 10 AHSP Fasilitas**

L04c

**Fasilitas**

Berdasarkan asumsi kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan diperlukan luas berbagai fasilitas seperti pada koefisien berikut ini

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Petugas K3	L.16	OB	8		
2	Tenaga spesialis (seperti dokter/perawat)	L.16	OB	8		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Fasilitas Bangunan</b>						
1	Poliklinik lapangan		m <sup>2</sup>	12		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Perabotan dan layanan: meja, kursi, dll		set	1		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan (D+E)</b>						

**Tabel 11 AHSP Kebutuhan Lain-lain**

L04d

**Kebutuhan Lain-lain**

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Perkuatan jalan yang dilalui		LS	1		
2	Biaya pengaturan lalu lintas		LS	1		
3	Biaya transportasi peralatan*		LS	1		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan (D+E)</b>						

\*d disesuaikan dengan jumlah, volume dan berat peralatan yang diangkut

\*d disesuaikan dengan jumlah pekerja dan jenis pekerjaannya yang disesuaikan dengan RMK3

2) Pembuatan direksi keet dan gudang

**Tabel 12 AHSP Pembuatan Direksi Keet dan Gudang**

L.02

Pembuatan Direksi Keet, Los Kerja dan Gudang

1 m<sup>2</sup> pembuatan direksi keet atap asbes gelombang, dinding triplek, kaca nako

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.2		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.4		
3	Kepala tukang batu	L.03	OH	0.04		
4	Mandor	L.04	OH	0.12		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Kayu Kaso 5/7	M.33.d	m <sup>3</sup>	0.35		
2	Dinding triplek 4mm		lbr	1		
3	Fondasi pasangan batu		m <sup>3</sup>	0.17		
4	GRC pelat, t=4 mm, uk. 122 x 244 cm		lbr	1.24		
5	Paku	M.71.b	kg	0.75		
6	Atap gelombang kecil ukuran 80 x 180, 4 mm	M.110.b	lbr	0.3		
7	Paku GRC		kg	0.1		
8	Floor lantai (beton lantai kerja)		m <sup>3</sup>	0.15		
9	Pintu <i>double teakwood</i> rangka kayu		m <sup>3</sup>	0.1		
10	Jendela kaca nako		daun	1		
11	Cat dinding/plafon	M.115.d	m <sup>3</sup>	16.5		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

3) Papan nama

**Tabel 13 AHSP Papan Nama**

LA.03

Pembuatan Papan Nama Pekerjaan

1 m<sup>2</sup> papan nama proyek

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1		
2	Tukang kayu	L.02	OH	1		
3	Kepala tukang kayu	L.03	OH	0.1		
4	Tukang cat dan tulis *	L.02	OH	1.5		
5	Mandor	L.04	OH	0.1		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Multiplak tebal 18 mm **		lbr	1		
2	Kayu 8/12 kelas II		m <sup>3</sup>	0.077		
3	Frame besi L.30.30.3 ***		kg	5.8		
4	Paku campuran 5 cm dan 7 cm		kg	1.25		
5	Cat kayu		kg	2.5		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

\* Sesuai kebutuhan cat labur/tulis dan/atau cat semprot

\*\* Koefisien disesuaikan dengan kebutuhan, dalam contoh ini untuk papan nama ukuran 0,8 x 1,2 m<sup>2</sup>

\*\*\* Disesuaikan kebutuhan, misalnya dapat menggunakan frame kayu atau aluminium panjang 4 m'

4) Pengukuran kembali/uitzet

**Tabel 14 AHSP Pengukuran Kembali/Uitzet**

T.02.a

Pengukuran Kembali/Uitzet

1 m<sup>2</sup> pengukuran kembali/uitzet

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.012		
2	Pembantu juru ukur	L.05	OH	0.004		
3	Juru ukur	L.05	OH	0.004		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Waterpass	E.50	sewa-hr	0.004		
2	Theodolite	E.43a	sewa-hr	0.004		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

5) Pembersihan dan *stripping*/kosrekan

**Tabel 15 AHSP Pembersihan dan *Stripping*/Kosrekan**

T.01.a

Pembersihan dan *Stripping* / Kosrekan

1 m<sup>2</sup> pembersihan dan *stripping*/kosrekan

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.06		
2	Mandor	L.04	OH	0.006		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

b) Pekerjaan tubuh embung

1) Pengadaan dan pemasangan patok kayu

**Tabel 16 AHSP Pengadaan dan Pemasangan Patok Kayu**

T.03.a.1) Pengadaan dan Pemasangan Patok Kayu  
1 buah patok kayu (Kaso 5/7), panjang 0,5 m'

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.025		
2	Juru ukur	L.05	OH	0.0083		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
1*	Patok kayu kaso 5/7 - 0,5 m'	M.09.b	m <sup>2</sup>	0.0018		
2	Paku payung	M.56.e	cus	0.012		
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
1	Roll meter	E.34.i	buah	0.008		
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per buah (D+E)</b>						

\*Mutu kayu disesuaikan dengan kebutuhan

2) Patok tetap bantu

**Tabel 17 AHSP Pengadaan dan Pemasangan Patok Tetap Bantu (PTB)**

T.03.b Pengadaan dan Pemasangan Patok Tetap Bantu (PTB)  
1 buah patok tetap bantu

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
1*	Galian tanah biasa	T.06a.1)	m <sup>3</sup>	0.273		
2*	Timbunan pasir	T.14c	m <sup>3</sup>	0.003		
3*	Pembesian	B.17.a	kg	2.3		
4*	Bekisting	B.21.b	m <sup>2</sup>	0.4		
5*	Beton mutu K175, slump (12±2) cm, w/c=0.66	B.05a	m <sup>3</sup>	0.013		
6*	Pen kuningan untuk titik acuan pengukuran	M.72	buah	1.05		
7*	Marmer ukuran 10 x 10 cm, dengan tulisan graph	M.127.a	buah	1.05		

\*Disesuaikan dengan kebutuhan

3) Galian tanah biasa

**Tabel 18 AHSP Galian Tanah Biasa Cara Manual**

T.06.a.1) Galian Tanah Biasa Cara Manual  
1 m<sup>3</sup> galian tanah biasa sedalam ≤ 1 meter

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.563		
2	Mendor	L.04	OH	0.0563		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 19 AHSP Galian Tanah Biasa Cara Mekanis**

TM.04.a.1 Galian Tanah Biasa Cara Mekanis

1 m<sup>3</sup> galian tanah biasa sedalam 0 - 2 meter

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.1633		
2	Mendor	L.04	jam	0.0163		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
1	Excavator (standard)	E.11.b	jam	0.0272		
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

4) Galian batu

**Tabel 20 AHSP Galian Batu**

T.08.b.2) Galian Batu

1 m<sup>3</sup> galian batu sedalam 1 - 2 meter

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.2		
2	Mandor	L.04	OH	0.12		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
1	BBM non subsidi	M.137.b	liter	2.5		
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
1	Jack hammer	E.14.a	sewa-hr	0.25		
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

5) Perbaikan fondasi

**Tabel 21 AHSP Perbaikan Pondasi**

p.01d.2)

Perbaikan Pondasi\*\*

Pasangan batu 1 pc:5 ps, menggunakan molen

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.8		
2	Tukang Batu	L.02	OH	0.9		
3	Mendor	L.04	OH	0.18		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
1	Batu belah	M.06.a	m <sup>3</sup>	1.2		
2	Pasir pasang	M.14.c	m <sup>3</sup>	0.544		
3	Portland cement	M.15	kg	135		
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.076		
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

\*\* dapat dilakukan dengan pasangan batu, beton atau grouting

**Tabel 22 AHSP Menggunakan Ready Mixed dan Pompa Beton**

B.13.a

Menggunakan *Ready Mixed* dan Pompa Beton

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.25		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.025		
4	Mandor	L.04	OH	0.1		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan*</b>						
1	Campuran beton <i>ready mixed</i>	M.09.x	m <sup>3</sup>	1.02		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Pompa dan conveyor beton	E.35	Sewa-hr	0.12		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

\* sesuai dengan mutu beton yang digunakan

6) Urukan *backfill*

**Tabel 23 AHSP Uruhan *Backfill***

T.14.a

Uruhan *Backfill*

1 m<sup>3</sup> timbunan tanah atau uruhan tanah kembali termasuk peralatan dan perapihan

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.33	50,000	
2	Mandor	L.04	OH	0.033	100,000	
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan***</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

7) Lapisan pelindung erosi (pasir-kerakal) hulu

**Tabel 24 AHSP Lapisan Pelindung Erosi (Pasir-Kerakal) Udik**

TM.11.03

Lapisan Pelindung Erosi (Pasir-Kerakal) Udik

Sistem penyalir (pasir-kerakal) atau pelindung erosi (pasir-kerakal)

	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
1	Galian pasir atau pasir-kerakal kedalaman 0-2 m	TM.11.1.b	m <sup>3</sup>	1		
2	Pengadaan dan angkutan pasir-kerakal jarak angkut 1 km	TM.11.2.d	m <sup>3</sup>	1		
3	Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan pasir (filter)	TM.11.3.b	m <sup>3</sup>	1		
<b>Harga Satuan Pekerjaan</b>						

8) Urukan tanah lempung

**Tabel 25 AHSP Timbunan dan Pemadatan Tanah Lempung**

TM.11.01 Timbunan dan Pemadatan Tanah Lempung

	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
1	Galian tanah lempung kedalaman 0-2 m	TM.11.1.a	m <sup>3</sup>	1		
2	Pengadaan dan angkutan tanah lempung 2.2 km	TM.11.2.a	m <sup>3</sup>	1		
3	Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan tanah lempung	TM.11.3.a	m <sup>3</sup>	1		
Harga Satuan Pekerjaan						

9) Sistem penyalir (pasir-kerakal)

TM.11.03 Sistem penyalir (pasir-kerakal) atau pelindung erosi (pasir-kerakal)

10) Urukan filter (pasir)

**Tabel 26 AHSP Urukan Filter**

TM.11.02 Urukan Filter (Pasir)

	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
1	Galian pasir atau pasir-kerakal kedalam 0-2 m	TM.11.1.b	m <sup>3</sup>	1		
2	Pengadaan dan angkutan pasir untuk filter jarak angkut 1 km	TM.11.2.b	m <sup>3</sup>	1		
3	Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan pasir (filter)	TM.11.3.b	m <sup>3</sup>	1		
Harga Satuan Pekerjaan						

11) Urukan kerikil-kerakal dan/atau pecahan batu maksimum 20 cm

**Tabel 27 AHSP Urukan Kerikil-Kerakal dan/Atau Pecahan Batu Maksimum 20 cm**

TM.11.02 Urukan Kerikil-Kerakal dan/atau Pecahan Batu Maksimum 20 cm

	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
1	Galian pasir atau pasir-kerakal kedalam 0-2 m	TM.11.1.b	m <sup>3</sup>	1		
2	Pengadaan dan angkutan kerikil-kerakal jarak angkut 1 km	TM.11.2.d	m <sup>3</sup>	1		
3	Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan kerikil-kerakal	TM.11.3.b	m <sup>3</sup>	1		
Harga Satuan Pekerjaan						

**Tabel 28 AHSP Galian Tanah Lempung/Pasir Kerakal di Borrow Area**

TM.11.1 Galian Tanah Lempung/Pasir Kerakal di Borrow Area

a Galian tanah lempung kedalaman 0-2 meter

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L01	jam	0.2139		
2	Mandor	L04	jam	0.0214		
					Jumlah Harga Tenaga Kerja	
<b>B Bahan</b>						
					Jumlah Harga Bahan	
<b>C Peralatan</b>						
1	Excavator (standard)	E.11.b	jam	0.1069		
					Jumlah Harga Peralatan	
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 29 AHSP Galian atau Pasir-Kerakal Kedalaman 0-2 meter**

b

Galian pasir atau pasir-kerakal kedalaman 0-2 meter

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Excavator (standard)	E.11.b	jam	0.1361		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 30 AHSP Pengadaan dan Angkutan Tanah Lempung/Pasir Kerakal di Borrow Area**

TM.11.2

a

Pengadaan dan Angkutan Tanah Lempung/Pasir Kerakal di Borrow Area

Pengadaan dan angkutan tanah lempung jarak 2.2 km

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Tanah lempung	M.17.a	m <sup>3</sup>	1		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Dump truck	E.11.b	jam	0.23		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 31 AHSP Pengadaan dan Angkutan Pasir Untuk Filter Jarak 1 km**

b

Pengadaan dan angkutan pasir untuk filter jarak 1 km

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Pasir untuk filter	M.14.a	m <sup>3</sup>	1		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Dump truck	E.11.b	jam	0.2427		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 32 AHSP Pengadaan dan Angkutan Pasir-Kerakal Jarak 1 km**

c

Pengadaan dan angkutan pasir-kerakal jarak 1 km

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
1	Pasir-kerakal	M.14.b	m <sup>3</sup>	1		
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
1	Dump truck	E.11.b	jam	0.2427		
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 33 AHSP Pengadaan dan Angkutan Kerikil-Kerakal Jarak 1 km**

d

Pengadaan dan angkutan kerikil-kerakal jarak 1 km

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.2139		
2	Mandor	L.04	jam	0.0214		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
1	Kerikil-kerakal	M.12.a	m <sup>3</sup>	1		
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
1	Dump truck	E.11.b	jam	0.2427		
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 34 AHSP Penghamparan, Pemadatan, dan Perapihan Lapisan Tanah Lempung/ Pasir Kerakal**

TM.11.3

a

Penghamparan, Pemadatan, dan Perapihan Lapisan Tanah Lempung/Pasir Kerakal

Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan tanah lempung

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.1422		
2	Mandor	L.04	jam	0.01422		
Jumlah Harga Tenaga Kerja						
<b>B Bahan</b>						
Jumlah Harga Bahan						
<b>C Peralatan</b>						
1	Bulldozer	E.05.b	jam	0.02		
2	Sheepfoot roller	E.39.b	jam	0.01		
3	Roller vibro	E.39.f	jam	0.0178		
4	Water tank truck	E.49	jam	0.0078		
Jumlah Harga Peralatan						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 35 AHSP Penghamparan, Pemadatan, dan Perapihan Lapisan Pasir (Filter)/ Pasir Kerakal/ Kerikil-Kerakal**

b Penghamparan, pemadatan, dan perapihan lapisan pasir (filter)/pasir-kerakal/kerikil-kerakal

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	jam	0.1422		
2	Mandor	L.04	jam	0.01422		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Bulldozer	E.05.b	jam	0.02		
2	Roller vibro	E.39.f	jam	0.0178		
3	Water tank truck	E.49	jam	0.0078		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

12) Lapisan geotekstil (woven)

**Tabel 36 AHSP Lapisan Geotekstil (Woven)**

P.09 Lapisan Geotekstil (Woven)  
b 1 m<sup>2</sup> pasangan geotekstil, tipe B, tebal sedang

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.16		
2	Tukang tembok	L.02	OH	0.032		
3	Mandor	L.04	OH	0.016		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Geotekstil (tipe B, tebal sedang)	M.122.b	m <sup>2</sup>	1.08		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

c) Pekerjaan *inlet, pelimpah, dan outlet*

1) Galian tanah biasa

TM.04. galian tanah biasa kedalaman 0-2 m

2) Urukan dan pemadatan

T.14.a. 1 m<sup>3</sup> urukan tanah atau urukan tanah kembali termasuk perataan dan perapihan

3) Pemasangan batu belah

**Tabel 37 AHSP Pasangan Batu Belah (1 pc : 4 pp)**

P.01.c Pasangan Batu Belah (1 pc : 4 pp)  
1 m<sup>3</sup> pekerjaan pasangan batu belah

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.8		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.9		
3	Mandor	L.04	OH	0.18		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Batu belah	M.06.a	m <sup>3</sup>	1.2		
2	Pasir pasang	M.14.c	m <sup>3</sup>	0.52		
3	Portland cement	M.15	kg	163		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.076		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

4) Plesteran

**Tabel 38 AHSP Plesteran (1 pc : 3 pp)**

P.04.1 Plesteran (1 pc : 3 pp)  
1 m<sup>3</sup> pekerjaan plesteran

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.8		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.9		
3	Mandor	L.04	OH	0.18		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Batu belah	M.06.a	m <sup>3</sup>	1.2		
2	Pasir pasang	M.14.c	m <sup>3</sup>	0.485		
3	Portland cement	M.15	kg	202		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.076		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

5) Siaran mortar

**Tabel 39 AHSP Siaran Mortar**

P.03.a

Siaran Mortar

1 m<sup>2</sup> pekerjaan siaran mortar (1 pc : 2 pp)

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.323		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.189		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.019		
4	Mandor	L.04	OH	0.132		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	PC / portland cement	M.15	kg	371		
2	PB / pasir beton	M.14.a	kg	689		
3	Kr / kerikil	M.12.b	kg	1047		
4	Air	M.02	ltr	215		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.25		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

6) Beton

**Tabel 40 AHSP Beton Mutu K-225**

B.07.a

Beton Mutu K-225

1 m<sup>3</sup> pekerjaan beton mutu k-225

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.323		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.189		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.019		
4	Mandor	L.04	OH	0.132		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	PC / portland cement	M.15	kg	371		
2	PB / pasir beton	M.14.a	kg	698		
3	Kr / kerikil	M.12.b	kg	1047		
4	Air	M.02	ltr	215		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.25		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

**Tabel 41 AHSP Beton Mutu K-300**

B.10.b

Beton Mutu K-300

1 m<sup>3</sup> pekerjaan beton mutu k-300

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.323		
2	Tukang batu	L.02	OH	0.189		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.019		
4	Mandor	L.04	OH	0.132		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	PC / portland cement	M.15	kg	413		
2	PB / pasir beton	M.14.a	kg	681		
3	Kr / kerikil	M.12.b	kg	1021		
4	Air	M.02	ltr	215		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0.3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.25		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

7) Pembesian

**Tabel 42 AHSP Pembesian 100 kg dengan Besi Polos Atau Ulir**

B.17

Pembesian 100 kg dengan besi polos atau ulir

100 kg pekerjaan pembesian dengan besi polos atau ulir

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.7		
2	Tukang besi	L.02	OH	0.7		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.07		
4	Mandor	L.04	OH	0.07		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Besi beton (polos/ulir)	M.55.d	kg	105		
2	Kawat ikat	M.66	kg	1.5		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per 100 kg (D+E)</b>						

8) Bekisting

**Tabel 43 AHSP Bekisting Lantai Beton Biasa dengan Multipleks 12 mm atau 8 mm (Tanpa Pemecah)**

B.21.a Bekisting Lantai Beton Biasa dengan Multipleks 12 mm atau 8 mm (tanpa perancah)

1 m<sup>2</sup> pekerjaan bekisting

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.2		
2	Tukang kayu	L.02	OH	0.1		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.01		
4	Mandor	L.04	OH	0.02		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Multipleks 12 mm atau 8 mm**	M.39.c	lbr	0.128		
2	Kaso 5/7 cm**	M.39.d	m <sup>3</sup>	0.005		
3	Paku 5 cm dan 7 cm	M.71.b	kg	0.22		
4	Minyak bekisting	M.129	ltr	0.2		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

CATATAN: \* bahan digunakan berulang kali, yang ke-1, koefisien 0.353 (multipleks) dan 0.014 (kaso)  
 yang ke-2, koefisien menjadi 0.203 (multipleks) dan 0.008 (kaso)  
 yang ke-3, koefisien menjadi 0.128 (multipleks) dan 0.005 (kaso)  
 yang ke-4, koefisien menjadi 0.091 (multipleks) dan 0.003 (kaso)

9) Inlet sadap (dapat berupa pintu sorong baja, *flap gate*, dll)

Contoh perhitungan Pintu sorong baja

**Tabel 44 AHSP Pintu Air**

H.03.6 Pintu Air

a Pintu sorong baja b=100; h=100 cm

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	2.58		
2	Tukang	L.02	OH	1.29		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.13		
4	Mandor	L.04	OH	0.26		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Besi pengaku	M.54.g	kg	7.74		
2	Kawat las listrik	M.69	kg	1.72		
3	Campuran beton K-225	B.07.a	m <sup>3</sup>	0.077		
4	Pasangan bata	P.02.b	m <sup>3</sup>	0.155		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Pintu air	M.76.c	bh	1		
2	Tripod tinggi 4-5 cm	E.45	sewa-hr	0.387		
3	Mesin listrik 250A, diesel	E.22	sewa-hr	0.387		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan</b>						

**Tabel 45 AHSP Pintu Sorong Baja B=100; H=150 cm**

b

Pintu sorong baja b=100; h=150 cm

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	2.52		
2	Tukang	L.02	OH	1.26		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.13		
4	Mandor	L.04	OH	0.25		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Besi pengaku	M.54.g	kg	7.56		
2	Kawat las listrik	M.69	kg	1.68		
3	Campuran beton K-225	B.07.a	m <sup>3</sup>	0.076		
4	Pasangan bata	P.02.b	m <sup>3</sup>	0.151		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Pintu air	M.76.c	bh	1		
2	Tripod tinggi 4-5 cm	E.45	sewa-hr	0.378		
3	Mesin listrik 250A, diesel	E.22	sewa-hr	0.378		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
D	Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)					
E	Overhead & Profit (Contoh 15%) (15% x D)					
F	Harga Satuan Pekerjaan					

**Tabel 46 AHSP Pintu Sorong Baja B=80; H=60 cm**

c

Pintu sorong baja b=80; h=60 cm

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	2.6		
2	Tukang	L.02	OH	1.3		
3	Kepala tukang	L.03	OH	0.13		
4	Mandor	L.04	OH	0.26		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Besi pengaku	M.54.g	kg	7.8		
2	Kawat las listrik	M.69	kg	1.73		
3	Campuran beton K-225	B.07.a	m <sup>3</sup>	0.078		
4	Pasangan bata	P.02.b	m <sup>3</sup>	0.156		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Pintu air	M.76.c	bh	1		
2	Tripod tinggi 4-5 cm	E.45	sewa-hr	0.39		
3	Mesin listrik 250A, diesel	E.22	sewa-hr	0.39		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
D	Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)					
E	Overhead & Profit (Contoh 15%) (15% x D)					
F	Harga Satuan Pekerjaan					

**Tabel 47 AHSP Pasangan Bata Merah**

P.02.b

Pasangan Bata Merah

1 m<sup>3</sup> pekerjaan bata merah

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	1.5		
2	Tukang batu	L.02	OH	1.2		
3	Mandor	L.04	OH	0.15		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Bata merah	M.05.c	bh	500		
2	Portland cement	M.15	kg	132		
3	Pasir pasang	M.14.c	m <sup>3</sup>	0.345		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
1	Molen kapasitas 0,3 m <sup>3</sup>	E.29.b	sewa-hr	0.1		
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (D+E)</b>						

10) Pasangan gebalan rumput

**Tabel 48 AHSP Pasangan Gebalan Rumput**

P.12.a

Pasangan Gebalan Rumput

1 m<sup>2</sup> pekerjaan pasangan gebalan rumput

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
<b>A Tenaga Kerja</b>						
1	Pekerja	L.01	OH	0.1		
2	Mandor	L.04	OH	0.01		
<b>Jumlah Harga Tenaga Kerja</b>						
<b>B Bahan</b>						
1	Gebalan rumput	M.136	m <sup>2</sup>	1.1		
<b>Jumlah Harga Bahan</b>						
<b>C Peralatan</b>						
<b>Jumlah Harga Peralatan</b>						
<b>D Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan, dan Peralatan (A+B+C)</b>						
<b>E Overhead &amp; Profit (Contoh 15%) (15% x D)</b>						
<b>F Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (D+E)</b>						

Berikut ini adalah contoh perhitungan AHSP embung dengan bentuk kolam.

**Tabel 49 Contoh AHSP 1 m<sup>2</sup> Pembersihan dan Stripping/Kosrekan**

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6 (4 x 5)
A	Tenaga kerja				
1	Pekerja	Orang hari	0.060	55,000	3,300
2	Mandor	Orang hari	0.006	97,500	585
	Jumlah harga tenaga kerja				3,885
B	Bahan				
	Jumlah harga bahan				
C	Peralatan				
	Jumlah harga peralatan				
D	Harga Satuan Pekerjaan per m <sup>2</sup> (A+B+C)				3,885

**Tabel 50 Contoh AHSP 1 m<sup>3</sup> Galian Tanah Biasa Secara Manual Dengan Kedalaman 1-2 m**

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6 (4 x 5)
A	Tenaga kerja				
1	Pekerja	Orang hari	0.6750	55,000	37,125
2	Mandor	Orang hari	0.0675	97,500	6,581
	Jumlah harga tenaga kerja				43,706
B	Bahan				
	Jumlah harga bahan				
C	Peralatan				
	Jumlah harga peralatan				
D	Harga Satuan Pekerjaan per m <sup>3</sup> (A+B+C)				43,706

**Tabel 51 Contoh AHSP Timbunan Tanah atau Urukan Tanah Kembali**

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6 (4 x 5)
A	Tenaga kerja				
1	Pekerja	Orang hari	0.330	55,000	18,150
2	Mandor	Orang hari	0.033	97,500	3,218
	Jumlah harga tenaga kerja				21,368
B	Bahan				
	Jumlah harga bahan				
C	Peralatan				
	Jumlah harga peralatan				
D	Harga Satuan Pekerjaan per m <sup>3</sup> (A+B+C)				21,368

Tabel 52 Contoh AHSP Pemadatan Tanah

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6 (4 x 5)
<b>A Tenaga kerja</b>					
1	Pekerja	Orang hari	0.50	55,000	27,500
2	Mandor	Orang hari	0.05	97,500	4,875
	Jumlah harga tenaga kerja				32,375
<b>B Bahan</b>					
	Jumlah harga bahan				
<b>C Peralatan</b>					
1	Pemadat timbunan ( <i>stamper</i> )	Sewa hari	0.05	200,000	
	Jumlah harga peralatan				
<b>D</b>	<b>Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (A+B+C)</b>				<b>32,375</b>

Tabel 53 Contoh AHSP 1 m<sup>2</sup> Pasangan Batu Dengan Mortar Tipe S (Perbandingan Semen Dengan Pasir Adalah 1:3)

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6 (4 x 5)
<b>A Tenaga kerja</b>					
1	Pekerja	Orang hari	3.600	55,000	198,000
2	Mandor	Orang hari	0.270	97,500	26,325
	Jumlah harga tenaga kerja				224,325
<b>B Bahan</b>					
1	Batu belah	m <sup>3</sup>	1.200	137,000	164,400
2	Pasir pasang	m <sup>3</sup>	0.485	148,000	71,780
3	Portland cement	kg	202.000	1,524	307,848
	Jumlah harga bahan				544,028
<b>C Peralatan</b>					
	Jumlah harga peralatan				
<b>D</b>	<b>Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (A+B+C)</b>				<b>768,353</b>

Tabel 54 Contoh AHSP 1 m<sup>3</sup> Plesteran 1 SP : 5 PP Tebal 0,015 m

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6 (4 x 5)
<b>A Tenaga kerja</b>					
1	Pekerja	Orang hari	0.300	55,000	16,500
2	Mandor	Orang hari	0.015	97,500	1,463
	Jumlah harga tenaga kerja				17,963
<b>B Bahan</b>					
1	Portland cement	kg	5.184	1,524	7,900
2	Pasir pasang	m <sup>3</sup>	0.026	148,000	3,848
	Jumlah harga bahan				11,748
<b>C Peralatan</b>					
	Jumlah harga peralatan				
<b>D</b>	<b>Harga Satuan Pekerjaan per buah (A+B+C)</b>				<b>29,711</b>

Tabel 55 Contoh AHSP Pemasangan Beton 1 m<sup>3</sup> Beton Mutu f<sub>c</sub>=14,5 MPa (K175), Slump (12+2) cm, w/c=600, Manual

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6 (4 x 5)
<b>A Tenaga kerja</b>					
1	Pekerja	Orang hari	1.650	55,000	90,750
2	Mandor	Orang hari	0.185	97,500	18,088
Jumlah harga tenaga kerja					108,838
<b>B Bahan</b>					
1	Portland cement	kg	326	1,524	496,824
2	Pasir beton	m <sup>3</sup>	0.345	148,000	51,060
3	kerikil	kg	1029	47	48,157.20
4	Air	liter	215	3	624
Jumlah harga bahan					596,665
<b>C Peralatan</b>					
Jumlah harga peralatan					
<b>D Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>3</sup> (A+B+C)</b>					<b>703,502</b>

Tabel 56 Contoh AHSP Pemasangan Pintu Sorong Kayu Dengan Lebar 1,5 m, Tinggi 1,5 m, Tinggi Tembok/Dudukan 3 m, dan Tinggi Rangka Pintu 3,8 m

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6 (4 x 5)
<b>A Tenaga kerja</b>					
1	Pekerja	Orang hari	23.100	55,000	1,270,500
2	Mandor	Orang hari	2.310	97,500	225,225
Jumlah harga tenaga kerja					1,495,725
<b>B Bahan</b>					
1	Besi pengaku dari profil siku	kg	1.860	12,900	23,994
2	Kawat las listrik	kg	10.267	29,600	303,903
3	Campuran beton	m <sup>3</sup>	0.310	865,000	268,150
4	Pasangan bata dan mortar	m <sup>3</sup>	0.620		
Jumlah harga bahan					596,047
<b>C Peralatan</b>					
1	Pintu air	Buah	1.000		
2	Tackle/tripod tinggi 4-5 m	Sewa hari	2.310		
3	Mesin las listrik 250 A diesel	Sewa hari	2.310	244,000	563,640
Jumlah harga peralatan					563,640
<b>D Harga Satuan Pekerjaan per buah (A+B+C)</b>					<b>2,655,412</b>

Tabel 57 Contoh AHSP Pemasangan 1 m Pipa PVC Tipe AW Diameter 2 inci

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6 (4 x 5)
<b>A Tenaga kerja</b>					
1	Pekerja	Orang hari	0.144	55,000	7,920
2	Mandor	Orang hari	0.012	97,500	1,170
Jumlah harga tenaga kerja					9,090
<b>B Bahan</b>					
1	Pipa PVC 2 inci	m	1.200	40,000	48,000
2	Perlengkapan	%	35.000		
Jumlah harga bahan					48,000
<b>C Peralatan</b>					
Jumlah harga peralatan					
<b>D Harga Satuan Pekerjaan per m (A+B+C)</b>					<b>57,090</b>

Tabel 58 Penanaman Rumput Lempengan

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	2	3	4	5	6 (4 x 5)
<b>A</b>	<b>Tenaga kerja</b>				
1	Pekerja	Orang hari	0.100	55,000	5,500
2	Mandor	Orang hari	0.010	97,500	975
	Jumlah harga tenaga kerja				6,475
<b>B</b>	<b>Bahan</b>				
1	Gebalan rumput	m <sup>2</sup>	1.100		
	Jumlah harga bahan				
<b>C</b>	<b>Peralatan</b>				
	Jumlah harga peralatan				
<b>D</b>	<b>Harga Satuan Pekerjaan per m<sup>2</sup> (A+B+C)</b>				<b>6,475</b>

### 7.3 Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) pembangunan embung adalah hasil penjumlahan total dari volume pekerjaan dikalikan dengan harga satuan pekerjaan yang diperoleh dari AHSP, dimana satuan pekerjaan ini untuk lebih jelas dapat dilihat di dalam Lampiran Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 28/PRT/M/2016 tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum. Berikut ini adalah daftar pekerjaan untuk pembangunan embung.

Contoh perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) embung dengan bentuk kolam adalah sebagai berikut.

**Tabel 59 Contoh Perhitungan Rencana Anggaran Biaya  
Embung dengan Bentuk Kolam**

Jenis Pekerjaan	Satuan Pekerjaan	Volume Pekerjaan	Nilai AHSP	Harga Pekerjaan
Pembersihan Lahan	m <sup>2</sup>	1.000	3.885	3.885.000
Pekerjaan Galian	m <sup>3</sup>	2.200	43.706	96.153.200
Pemadatan Tanah	m <sup>3</sup>	260	32.375	8.417.500
Pemasangan Pintu Air	buah	1	2.655.412	2.655.412
Pemasangan Pipa	m	30	122.490	3.674.700
Penanaman Rumpun Lempengan	m <sup>2</sup>	50	6.475	323.750
<b>Nilai RAB</b>				<b>115.109.562</b>

## 8 Pekerjaan Konstruksi

### 8.1 Ketentuan Umum

Pekerjaan yang harus dilakukan pada saat pembangunan embung adalah sebagai berikut:

- a) Pekerjaan Persiapan
  - 1) Mobilisasi dan demobilisasi peralatan konstruksi dan sumber daya
  - 2) Mobilisasi dan demobilisasi fasilitas kontraktor
  - 3) Penyediaan sarana air bersih selama konstruksi
  - 4) Mobilisasi dan demobilisasi peralatan laboratorium
  - 5) Penyediaan sarana listrik dan penerangan
  - 6) Penyediaan sarana dan fasilitas komunikasi
  - 7) Penyediaan foto dan video selama konstruksi
  - 8) Investigasi geologi dan mekanika tanah pada awal konstruksi
  - 9) Penyelenggaraan SMK3 selama konstruksi
- b) Pekerjaan Utama
  - i. Pekerjaan tubuh embung (kolam embung)
  - ii. Pekerjaan bangunan pelimpah
- c) Pekerjaan Pelengkap
  - i. Pekerjaan bangunan *intake*
  - ii. Pemasangan jaringan pipa pasok air
  - iii. Pembuatan bak air
  - iv. Pemasangan gebalan rumput, dan lain-lain.

Tahapan pelaksanaan konstruksi embung di dalam alur sungai ini adalah sebagai berikut.

- a) Tahap pertama adalah pekerjaan pengelakan saluran/ kanal. Pengelakan saluran/ kanal ini dilakukan dengan memasang beton buis (tidak dengan membangun bangunan pengelak, karena saluran/ kanal pada embung *off stream* relatif kecil) untuk mengalihkan aliran sehingga lokasi pembangunan embung kering.
- b) Setelah lokasi rencana pembangunan tubuh embung kering, tahap selanjutnya adalah pembangunan bangunan pelimpah dan dilanjutkan dengan pembangunan tubuh embung dan komponen-komponen pelengkap lainnya. Untuk beberapa pekerjaan konstruksi ini dapat bersifat simultan dengan tetap dilakukan sesuai ketentuan yang berlaku.
- c) Setelah pembangunan tubuh embung dan komponen-komponennya selesai, selanjutnya adalah proses pengisian embung. Saluran beton buis selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai *intake* atau ditutup perlahan-lahan selama proses pengisian embung.
- d) Proses pengisian embung ini dilakukan pada musim hujan, dengan waktu pengisian embung sesuai dengan besarnya debit *inflow* atau curah hujan.

- e) Pengoperasian embung harus seimbang antara keluaran dan tampungan dalam siklus 1 (satu) tahun.

## 8.2 Jenis Alat yang Diperlukan

Beberapa alat berat yang biasanya dipergunakan dalam pekerjaan konstruksi embung yakni sebagai berikut:

a) *Bulldozer*

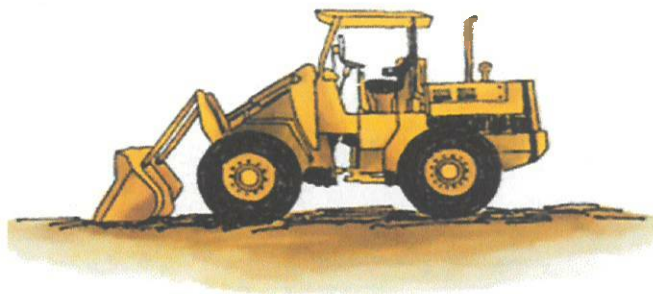
- Jumlah : 1 buah  
Kapasitas :  $\leq$  tipe D7  
Penggunaan : Pembersihan semak, rumput, dan pohon,  
Penggusuran dan penghamparan tanah,  
Perataan tanah.



Gambar 24 Bulldozer

b) *Wheel Loader*

- Jumlah : 1 buah  
Kapasitas : *Bucket*  $\frac{1}{2}$  - 1 m<sup>3</sup>  
Penggunaan : Menggali dan memuat tanah atau material berbutir, mengangkat, mengangkut, dan membuang pada ketinggian tertentu ke dalam *dump truck* atau tempat pembuangan.



Gambar 25 Wheel Loader

c) *Backhoe*

- Jumlah : 1 buah dengan alat penggerak roda ban  
Kapasitas : *Bucket*  $\frac{1}{2}$  - 1 m<sup>3</sup>  
Penggunaan : Penggalan tanah yang terletak di bawah tempat kedudukan *backhoe*.

Selain itu juga dapat digunakan untuk memuat hasil galian ke dalam *truck*.



**Gambar 26 Backhoe**

d) *Dump Truck*

Jumlah : 2 buah

Kapasitas : 7 ton

Penggunaan : Transportasi material yang akan digunakan untuk konstruksi dan material buangan.



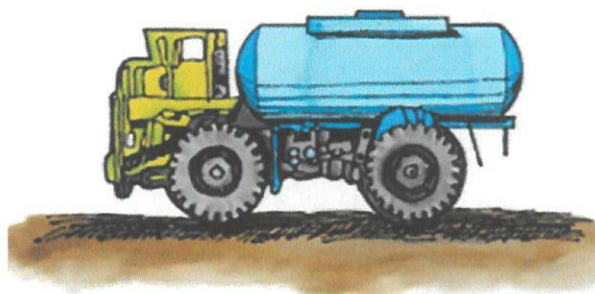
**Gambar 27 Dump Truck**

e) *Truk Tangki Air*

Jumlah : 1 buah

Kapasitas : 4.000 - 10.000 liter

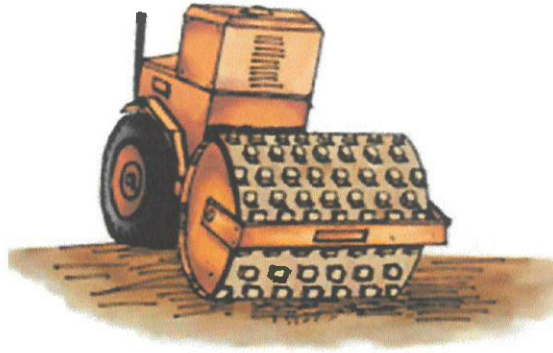
Penggunaan : Penyiraman tanah / material bagi keperluan pemadatan.  
Penyediaan air bagi kebutuhan konsumsi.



**Gambar 28 Truk Tangki Air**

f) *Sheepfoot Roller*

Jumlah : 1 buah dengan alat penarik beroda ban  
Kapasitas : 8 - 10 ton termasuk *ballast*  
Penggunaan : Alat pemadat material berlempung.



**Gambar 29 Sheepfoot Roller**

g) *Tandem Roller*

Jumlah : 1 buah  
Kapasitas : 8-10 ton termasuk *ballast*  
Penggunaan : Alat pemadat berbutir kasar.



**Gambar 30 Tandem Roller**

h) *Tandem Roller Mini*

Jumlah : 1 buah  
Kapasitas : 1 - 2 ton  
Penggunaan : Pemadatan tanah khususnya di tempat yang sempit.



**Gambar 31 Mini Tandem Roller**

- i) Excavator  
Jumlah : 1 buah  
Penggunaan : Penggalian Tanah



**Gambar 32 Excavator**

- j) Pick Hammer  
Jumlah : 1 buah  
Penggunaan : Penggalian Tanah



**Gambar 33 Pick Hammer**

- k) Cangkul  
Jumlah : 1 buah  
Penggunaan : Penggalian Tanah



**Gambar 34 Cangkul**

- l) Stamper  
Jumlah : 1 buah

Penggunaan : Pemasatan tanah di tempat yang sempit



Gambar 35 *Stamper*

### 8.3 Bahan Bangunan

Material yang diperlukan untuk membangun embung adalah:

- b) Tanah lempung untuk:
  - 1) Urukan homogen tubuh embung,
  - 2) Inti kedap air,
  - 3) Selimut kedap air di dasar, dan
  - 4) Dinding lulus air kolam embung.
- c) Pasir halus hingga kerikil untuk:
  - 1) Urukan *filter*,
  - 2) *Backfil* (penimbunan atau urugan kembali),
  - 3) Semen – tanah,
  - 4) Adukan pasangan batu,
  - 5) Agregat halus beton.
- d) Batu pecah ukuran kecil, kerakal, hingga bongkah (paling besar 20 cm), untuk:
  - 1) Urukan tubuh embung,
  - 2) Urukan salir,
  - 3) Agregat kasar beton,
  - 4) Lapisan pelindung erosi.
- e) Semen untuk pasangan batu dan beton bak air dan bila diperlukan untuk selimut semen-tanah.
- f) Geotekstil untuk *filter* di urukan penyalir.



**Gambar 36 Geotekstil**

- g) Pipa HDPE Ø 1 ¼ " dan Ø 2", dan pipa besi Ø 1 ¼ " untuk jaringan distribusi.
- h) Besi tulangan Ø 8 dan 10 mm untuk penulangan dinding beton bak air.
- i) Kran air dan pelampung.
- j) Geomembran bila diperlukan untuk selimut kolam embung.



**Gambar 37 Geomembran**

Jumlah atau volume setiap jenis material bangunan yang diperlukan dapat dihitung berdasarkan gambar desainnya yang harus dipersiapkan terlebih dahulu.

### 8.3.1 Pasangan Batu



**Gambar 38 Pasangan Batu**

Batu yang akan digunakan untuk pekerjaan pasangan batu ini harus dibersihkan dari bahan yang merugikan, yang dapat mengurangi kelekatan dengan adukan. Sebelum pemasangan, batu harus dibasahi seluruh permukaannya dan diberikan waktu yang cukup untuk proses penyerapan air sampai dengan jenuh.

Untuk struktur pasangan batu yang dibuat dalam galian parit di mana terdapat kestabilan akibat daya lekat tanah atau akibat disediakannya cetakan, harus dilaksanakan dengan mengisi galian atau cetakan dengan adukan setebal 60% dari ukuran maksimum batu yang digunakan dan kemudian dengan segera memasang batu di atas adukan yang belum mengeras. Landasan dari adukan semen paling sedikit setebal 3 cm harus dipasang pada formasi yang telah disiapkan. Landasan adukan ini harus dikerjakan sedikit demi sedikit sedemikian rupa sehingga permukaan batu akan tertanam pada adukan sebelum mengeras. Batu harus ditanam dengan kuat di atas landasan adukan semen sedemikian rupa sehingga satu batu berdekatan dengan lainnya sampai mendapatkan tebal pelapisan yang diperlukan di mana tebal ini akan diukur tegak lurus terhadap lereng. Rongga yang terdapat di antara satu batu dengan lainnya harus diisi adukan dan adukan ini harus dikerjakan sampai hampir sama rata dengan permukaan lapisan tetapi tidak sampai menutupi permukaan lapisan.

Pemasangan batu harus dilaksanakan dengan cara pemasangan adukan mortar kemudian diikuti dengan batu sedemikian sehingga semua batu akan terlapisi dengan adukan mortar. Dalam hal apapun pelaksanaan pemasangan batu tidak boleh dilakukan dengan cara menumpuk batu terlebih dahulu baru dituangkan adukan mortar ke atasnya.

### 8.3.2 Beton

Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus jenis semen portland yang memenuhi SNI 2049:2004 Semen Portland kecuali jenis IA, IIA, IIIA dan IV. Apabila menggunakan bahan tambahan yang dapat menghasilkan gelembung udara, maka gelembung udara yang dihasilkan tidak boleh lebih dari 5%. Sementara itu, air yang digunakan untuk campuran, perawatan, atau pemakaian lainnya harus bersih, dan bebas dari bahan yang merugikan seperti minyak, garam, asam, basa, gula atau organis. Air harus diuji sesuai dengan dan harus memenuhi ketentuan

dalam SNI 6817:2002 *Metode pengujian mutu air untuk digunakan dalam beton*. Campuran beton yang digunakan harus dibuat dan diuji sesuai dengan SNI 2834:2000 *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*.

Beton diklasifikasikan berdasarkan tekanan pada 7 hari dan umur 28 hari dengan ukuran maksimum agregat dan dibuat mengikuti berikut ini.

**Tabel 60 - Klasifikasi beton berdasarkan besarnya tekanan**

Tipe Campuran Beton	Kuat tekan umur 7 hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat tekan umur 28 hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Ukuran agregat maksimum ( mm )	Nilai faktor air semen maksimum (%)	Perkiraan kebutuhan semen (kg/m <sup>3</sup> )
AR $f_c' = 25$ MPa (K-300)	195	300	20	50	400
A $f_c' = 20$ MPa (K-225)	147	225	40 (20)	50	330 (350)
B $f_c' = 15$ MPa (K-175)	114	175	40	50	310
C $f_c' = 10$ Mpa (K-125)	82	125	40	57	250
D $f_c' = 8$ Mpa (K-100)	65	100	40	60	200

#### 8.4 Konstruksi Kolam Embung

Jenis lapisan atau selimut kedap air yang dapat dipakai adalah:

a. Lapisan tanah lempung

Apabila di sekitar lokasi proyek tersedia tanah lempung dalam jumlah banyak, tanah lempung dapat digunakan sebagai material untuk melapisi dasar dan tepi kolam embung.

Spesifikasi teknisnya adalah tebal selimut lempung sekitar 10-30 cm yang terdiri dari tiga lapis dan dipadatkan dalam kondisi basah. Untuk melindungi lapisan lempung dari retakan pada musim kering, tambahkan lapisan pasir kerikil setebal 10 cm di atas lempung.

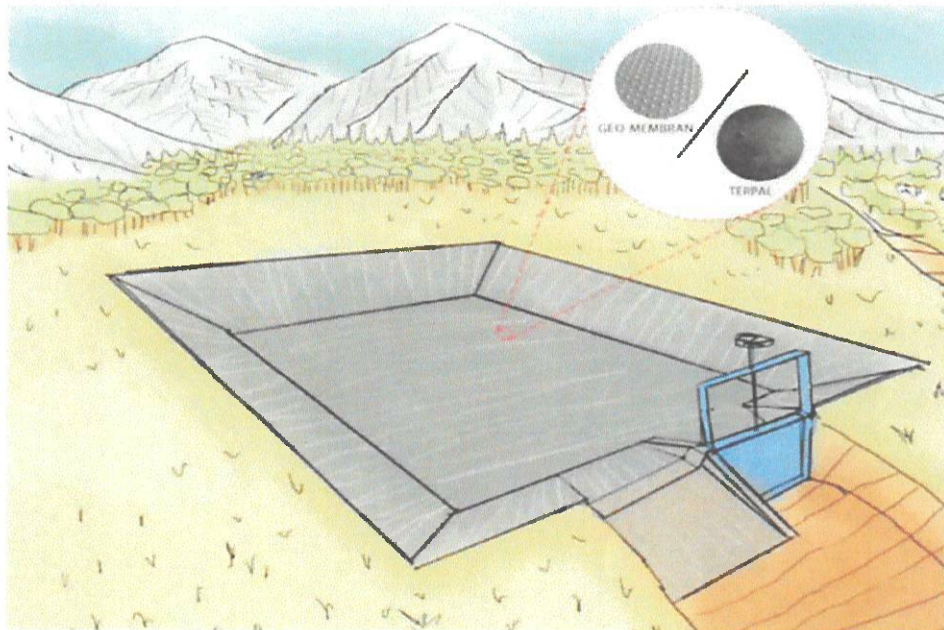
b. Geomembran atau terpal

Apabila lapisan tanah lempung tidak dapat diperoleh di lapangan atau di dekat lokasi embung maka diperlukan lapisan kedap air yakni geomembran atau terpal. Kelebihan geomembran adalah bahannya yang lebih awet dibandingkan terpal yang lebih cepat rusak. Namun, harga geomembran lebih mahal daripada terpal. Pada pedoman ini, geomembran lebih disarankan daripada terpal karena lebih kuat sedangkan lapisan terpal memerlukan perbaikan/penggantian secara terus menerus sehingga tidak praktis.

Spesifikasi teknis dari penggunaan geomembran adalah:

- 1) Lereng kolam embung sebaiknya dibuat landau untuk mencegah longsor. Kemiringan yang dianjurkan adalah 1:3 (beda ketinggian 1 m untuk setiap jarak horizontal 3 m)

- 2) Area yang akan dilapisi geomembran harus dibersihkan dahulu dari tanaman, batu tajam, atau objek lainnya yang dapat merobek geomembran.
- 3) Ketebalan geomembran yang umum adalah 0,3 – 1,5 mm.
- 4) Setiap gulungan geomembran yang dikirimkan ke lapangan harus memiliki tanda produksi yang tertera pada setiap gulungannya sebagai informasi dan memudahkan saat pemeriksaan visual.
- 5) Untuk memudahkan pemasangan dan menghindari banyaknya sambungan, maka geomembran harus memiliki lebar yang cukup, yaitu 8 m.
- 6) Geomembran yang dikirim ke lapangan harus disimpan dan dilindungi dari hal-hal yang dapat merusak dan juga dari pengaruh sinar matahari.
- 7) Geomembran harus dipasang sesuai dengan petunjuk yang dikeluarkan oleh pabrik.



**Gambar 39 Pemasangan Geomembran/Terpap**

c. Lapisan plesteran semen

Semen digunakan apabila tanah lempung dan geomembran sulit ditemukan. Spesifikasi teknis dari lapisan plesteran semen adalah semen yang digunakan adalah PC yang masih baru dan dalam keadaan baik. Selain itu, ketebalan lapisan plesteran semen adalah 1 cm sampai dengan 1,5 cm.

Selain infiltrasi, hal lain yang berpotensi menjadi masalah pada kolam embung adalah longsor dari tanah di tepi kolam embung. Karena itu, area di sekitar kolam embung harus ditanami rumput.

#### **8.4.1 Penggalan dan Pengurukan Tanah Embung**

##### **8.4.1.1 Galian Tanah Biasa**

Galian tanah biasa adalah pekerjaan galian dengan material hasil galian berupa tanah pada umumnya, yang dengan mudah dapat dilakukan dengan cara manual atau mesin *excavator*.

Galian tanah biasa dimaksudkan untuk daerah yang material hasil galiannya terdiri dari tanah, pasir dan kerikil.

#### 8.4.1.2 Galian Tanah Keras/Batu

Galian Batu harus mencakup galian bongkahan batu atau material lainnya. Penggunaan alat pemecah bertekanan udara, pemboran dan peledakkan harus dipertimbangkan untuk kepraktisan pelaksanaannya.

a) Galian batu tanpa menggunakan bahan peledak

Bila material galian adalah gumpalan (konglomerat) atau batuan lunak, pekerjaan material tersebut tidak cukup padat sehingga masih dapat dibongkar dengan penggaru dan tidak perlu dilaksanakan dengan alat bertekanan udara atau pun diledakkan.

b) Galian batu menggunakan bahan peledak

Apabila dirasa bahwa pekerjaan penggalian tidak praktis dengan menggunakan alat bertekanan udara atau penggaruk hidrolis berkuku tunggal, dan penggalian hanya praktis menggunakan peledakkan.

Galian batu termasuk semua batuan padat dan keras di tempat yang sulit dilakukan baik dengan cangkul, *excavator* biasa maupun *pick hammer*, kecuali dengan *excavator* yang dilengkapi dengan *breaker* atau dengan peledakan. Apabila menggunakan peledakan, maka segala peralatan dan material yang diperlukan berikut perizinan dan penanganan peledakan harus sudah diperhitungkan.

#### 8.4.1.3 Tata Cara Pelaksanaan Penimbunan

- a) Sebelum pekerjaan penimbunan dilakukan, permukaan tanah harus dibersihkan dan dikupas atau digali hingga mencapai kedalaman yang ditunjukkan dalam gambar. Jika sampai kedalaman tersebut masih terdapat retakan-retakan tanah, maka penggalian dilanjutkan sampai pada elevasi 15 cm di bawah tanpa retakan-retakan. Daerah penimbunan harus bersih dari tunggul-tunggul pohon, akar, rumput, humus-humus dan unsur lain yang bisa membusuk, serta semua lubang-lubang dan bekas-bekas yang terjadi pada permukaan tanah harus diratakan. Permukaan tanah yang telah dikupas atau digali tersebut, sebelum pelaksanaan pekerjaan urukan harus dibuat alur-alur terbuka sedalam 20 cm dengan jarak antara alur lebih kurang 1 m. Kondisi kadar air permukaan yang akan ditimbun harus dijaga pada kadar air optimumnya, jika kadar airnya berlebih dapat dibiarkan melalui pengeringan secara alami dan jika kekeringan dapat dilakukan pembasahan dengan cara penyemprotan air secukupnya.
- b) Secara berurutan material harus ditempatkan agar supaya menghasilkan distribusi material yang baik.
- c) Penimbunan harus dilakukan lapis demi lapis dengan ketebalan maksimum hamparan material sebelum dipadatkan adalah 30 cm.
- d) Tanah asli harus rapat air dan tidak boleh ada rembesan pada tanah urukan yang dianggap membahayakan.

- e) Ketika masing-masing lapisan material telah dikondisikan untuk kadar air yang diperlukan, kepadatan kering lapangan yang dihasilkan minimal 95% dari kepadatan kering maksimum laboratorium sesuai dengan SNI 03-1742-1989.
- f) Setiap lapis dari material urukan harus memenuhi kadar air untuk pemadatan yang dibutuhkan dengan menggunakan alat *vibrator roller* dengan berat lebih dari 9 ton atau alat pemadat lain yang telah disetujui. Ini akan dapat dipenuhi dengan dilewati alat pemadat kira-kira 6 lintasan setiap lapis atau disesuaikan dengan hasil uji coba urukan/*trial embankment*.
- g) Untuk material yang ditempatkan berdekatan dengan struktur beton, penempatannya harus ditunda atau menunggu hingga struktur telah mencapai umur 28 hari. Material akan ditempatkan sepanjang mungkin disekitar struktur beton untuk memperkecil pembebanan tidak seimbang pada struktur, walaupun telah dipertimbangkan dalam perencanaan.

#### 8.4.2 Pemadatan Tanah Embung

Inti tubuh embung dibuat di atas fondasi kedap air. Apabila ada lapisan fondasi lulus air, diperlukan tindakan:

- a) Menggali habis lapisan fondasi lulus air, bila pelaksanaannya mudah,
- b) Membuat dinding halang untuk memotong lapisan lulus air.

Sebelum pemadatan dilakukan, terlebih dahulu dilakukan tes uji urukan (*trial embankment*) untuk menentukan efektifitas dari beberapa metode pemadatan dari material yang tersedia untuk pekerjaan urukan. Sasaran hasil dari uji test urukan adalah untuk mengevaluasi efektifitas dari metode pemadatan yang berkaitan dengan jenis dan ukuran dari alat pemadat, jumlah lintasan untuk ketebalan lapisan yang disyaratkan, efek getaran terhadap kadar air dan aspek lain dari pemadatan.

Pemadatan tanah harus dilakukan lapis demi lapis menggunakan alat berat dengan cara dan ketentuan sebagai berikut:

##### 8.4.2.1 Tata Cara Pemadatan Tanah Berkohesi (Lempung)

- a) Bersihkan tempat penambangan material urukan (*borrow area*) dari bahan organik, dengan mengupas permukaannya,
- b) Gali dan kemudian angkutlah material urukan ketempat tubuh embung dan tumpahkan bahan di atas tanah yang telah dipadatkan terlebih dahulu,
- c) Hamparkan tanah material urukan menjadi rata (lapisan) dengan ketebalan 25 cm, di atas lapisan tanah yang telah dipadatkan lebih dulu,
- d) Siram lapisan tanah butir (c) untuk mendapatkan kadar air  $-3 \leq w_f \leq 3\%$  OMC dan kriteria kepadatan minimal 90% MDD,
- e) Gilaslah lapisan tanah dengan alat pemadat yang sesuai sehingga tebalnya berkurang dari 25 cm menjadi 15 cm yang dapat dicapai kira-kira 6-8 kali lintasan.
- f) Ulangi pekerjaan (b), (c), (d), dan (e) hingga urukan mencapai elevasi yang dikehendaki.

Apabila tempat pemadatan cukup luas (contoh: tubuh embung) gunakan alat pemadat *sheepfoot roller*, atau bila tidak ada, gunakan *tandem roller*. Bila tempat pemadatan sempit (contoh: di puritan) gunakan alat *stamper*.

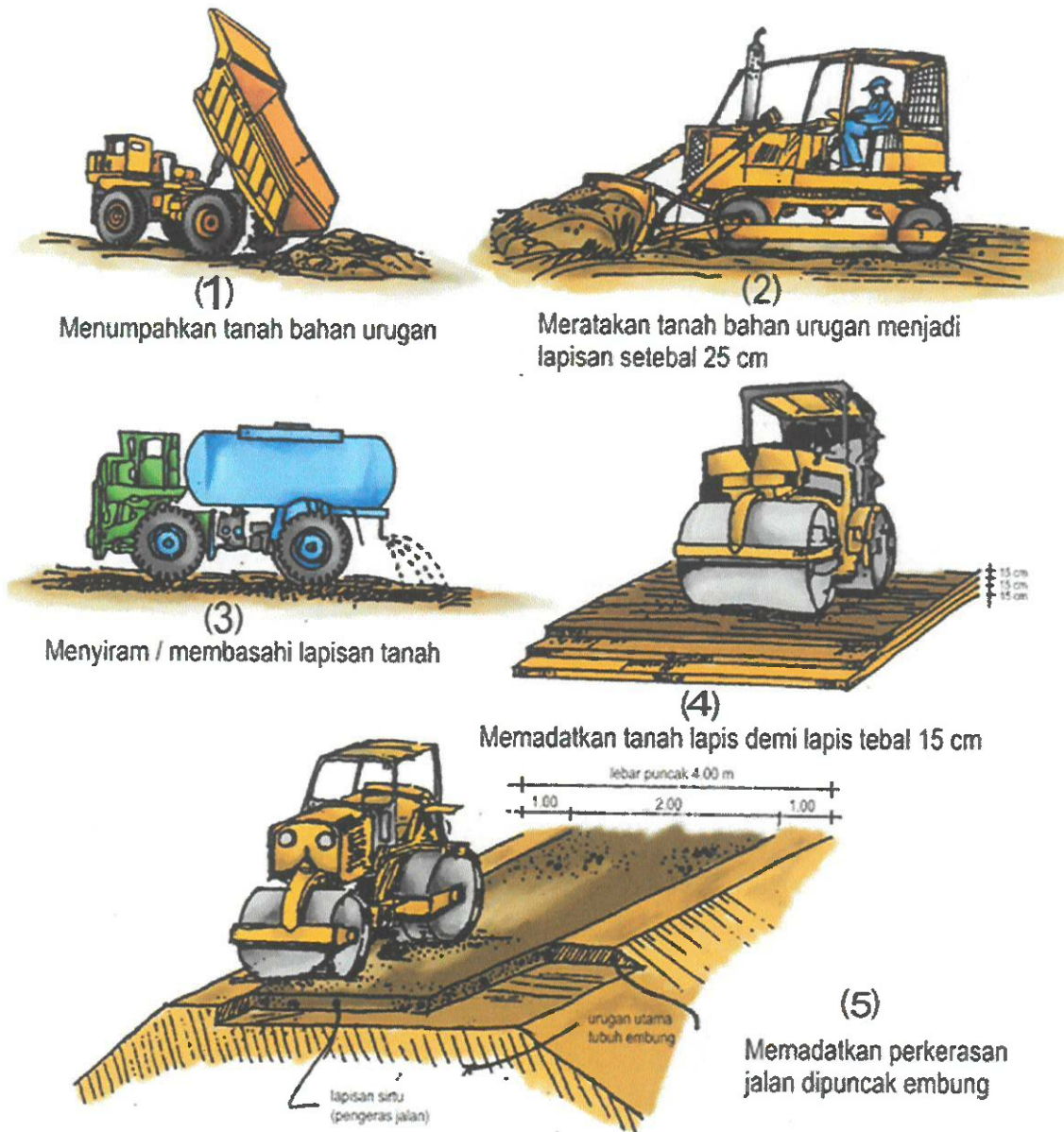
#### 8.4.2.2 Tata Cara Pemadatan Tanah Tak Berkohesi

- a) Tata cara seperti di atas harus dilakukan pula untuk tanah jenis ini, kecuali langkah no.(d) tidak diperlukan, sehingga urutannya adalah (a), (b), (c), dan (e), dengan catatan untuk pekerjaan (e) tebal lapisan menjadi 20 cm,
- b) Alat yang diperlukan untuk pemadatan tanah jenis ini adalah *tandem roller* bila tempat cukup luas, dan *stamper* bila tempat sempit,
- c) Alat pemadat zona tanah lempung tidak boleh melintasi urukan tanah tak berkohesi agar urukan tidak terkotori lempung.

#### 8.4.2.3 Tata Cara Pemadatan Tanah Ekspansif

Jika tanah untuk urukan diindikasikan merupakan tanah ekspansif maka dapat dipilih salah satu dari beberapa cara berikut:

- a) Jika terdapat tanah non-ekspansif, maka material urukan dapat diganti atau jika tidak mencukupi jumlahnya maka dapat dicampur dengan tanah ekspansif yang ada.
- b) Jika terdapat bahan tambahan seperti kapur, semen atau *fly-ash* maka salah satu bahan tersebut dapat dicampur dengan tanah non-ekspansif sebesar 5% - 7% untuk menurunkan indeks plastisitas dan potensi mengembang. Pencampuran dilakukan sebaik mungkin dengan menggunakan *backhoe*.
- c) Jika tidak tersedia bahan tambahan atau biaya yang terlalu mahal maka setelah tubuh embung dapat ditutup menggunakan geomembran sebagai penghalang kelembaban horisontal pada tanah ekspansif.
- d) Jika tanah ekspansif tetapi tidak bersifat dispersif dapat menggunakan urukan batu/rip-rap untuk memberikan beban ke tubuh embung, sehingga sifat kembang susutnya berkurang.



**Gambar 40** Prosedur Pemadatan Tanah

Berdasarkan gambar di atas, dapat dilihat bahwa :

- b) Gambar (1) sampai Gambar (4) – Prosedur Pemadatan Tanah Lempung
- c) Gambar (5) – Pemadatan Jalan di Puncak Hambaran campuran pasir, kerikil, kerakal (sirtu) di puncak tubuh embung, lebar minimal 2 m, tebal 30 cm. Kemudian gilas sehingga tebalnya menjadi 20 cm.

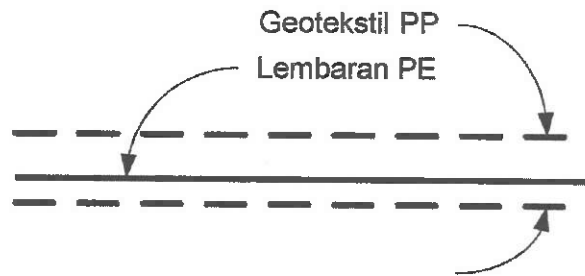
#### 8.4.2.4 Tata Cara Konstruksi dan Penempatan Geomembran

Konstruksi dan penempatan geomembran harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

##### 1. Sifat fisik

- a) Material geomembran bersifat kedap air dengan konstruksi komposit berupa bahan polyethylene yang berada di antara dua lembar teranyam (*woven*) atau tak teranyam

(*nonwoven*) polypropylene atau bahan polyester. Geomembran harus lembam terhadap bahan kimia dan hidrokarbon dan harus tahan terhadap lumut, akar, sinar ultra violet, serangga dan binatang pengerat.



**Gambar 41 Konstruksi komposit geomembran**

- b) Geomembran harus memenuhi persyaratan nilai-nilai gulungan rata-rata minimum (*minimum average roll values*) untuk sifat-sifat yang perlihatkan pada tabel di bawah ini.

**Tabel 61 Persyaratan minimum sifat-sifat geomembran**

Sifat	Persyaratan	Metoda Pengujian
Lebar, m (feet)	2,74 (9)	-
Tebal, mm (mils)	0,36 (14)	ASTM D5199
Grab tensile strength, kN (lbs.), pada saat putus atau perpanjangan 100% (tergantung mana yang terjadi lebih dulu)	756,16 (170)	ASTM D4632
Grab elongation saat putus, %	20	ASTM D4632
Kuat tusuk, kN (lbs.)	311,36 (70)	ASTM D4833
Kuat pecah, kPa (psi.)	1722,5 (250)	ASTM D3786
Sobekan trapezoid, kN (lbs.)	177,92 (40)	ASTM D4533
Permittivity	0 max	ASTM D4491

Nilai gulungan rata-rata minimum geomembran menyatakan hasil uji rata-rata dari suatu bagian geomembran pada arah yang terlemah yang diambil menurut ASTM D 4354 dan pengujiannya berdasarkan metoda uji di atas.

Contoh-contoh Geomembran harus diambil untuk diuji, tetapi contoh tidak boleh diambil dari ujung gulungan sejarak 1,52 m (5 feet) dari ujung tersebut. Panjang minimum contoh geomembran adalah 0,91 m (3 feet) dengan lebar gulungan penuh. Minimum satu sampel diambil untuk masing-masing bagian. Banyaknya contoh yang diambil tergantung pada perekayasa yang ditunjuk.

Kontraktor harus mengajukan contoh geomembran yang akan digunakan, yang dipilih berdasarkan persyaratan sifat-sifat material sebagaimana yang telah dibahas terdahulu, sebelum diaplikasikan di lapangan. Maksimal 3 buah produk geomembran dievaluasi dan diuji oleh pemberi tugas. Masing-masing kontraktor diharuskan menyertakan informasi

produk dan sertifikat analisis.

## 2. Persyaratan pengujian

Uji laboratorium untuk memenuhi persyaratan-persyaratan di atas belum tercakup dalam Standar Nasional Indonesia (SNI), sehingga harus mengacu pada standar-standar yang dikeluarkan oleh ASTM (*American Society for Testing and Materials*), PGI (*PVC Geomembrane Institute*) dan GRI (*Geosynthetic Research Institute*).

## 3. Pengepakan (*packaging*)

Persyaratan pengepakan terdiri dari hal-hal berikut:

- a) material geomembran dipak dalam gulungan-gulungan dengan panjang dan lebar seperti yang telah ditentukan dalam rencana, sebagaimana yang diatur oleh perekayasa, atau seperti yang tercantum di dalam perintah pembelian yang diberikan oleh pemberi kerja;
- b) penyerahan material sebagai satu potongan per gulungan;
- c) penggabungan potongan-potongan material pada gulungan tidak diijinkan;
- d) gulung material geomembran (dengan ukuran yang sama) ke dalam bentuk silinder yang sesuai untuk mempermudah penanganan dan pembukaan gulungan;
- e) bungkus masing-masing gulungan bahan ke dalam kontainer yang sesuai untuk melindungi bahan tersebut dari kerusakan akibat sinar ultraviolet dan kelembaban selama penyimpanan dan penanganan.

## 4. Pemberian etiket dan label

Tandai masing-masing gulungan dengan etiket atau label yang dilekatkan dengan aman di luar gulungan pada salah satu ujung gulungan. Etiket atau label tersebut harus mencantumkan hal-hal berikut:

- a) nomor gulungan yang unik, dinyatakan secara berurutan;
- b) nomor tempat atau nomor kendali dari pabrik, jika ada;
- c) nama pabrik pembuat;
- d) nama merek produk;
- e) nomor katalog bahan dari pabrik, jika ada;
- f) lebar gulungan dalam meter;
- g) panjang gulungan dalam meter.

## 5. Konstruksi dan penempatan geomembran

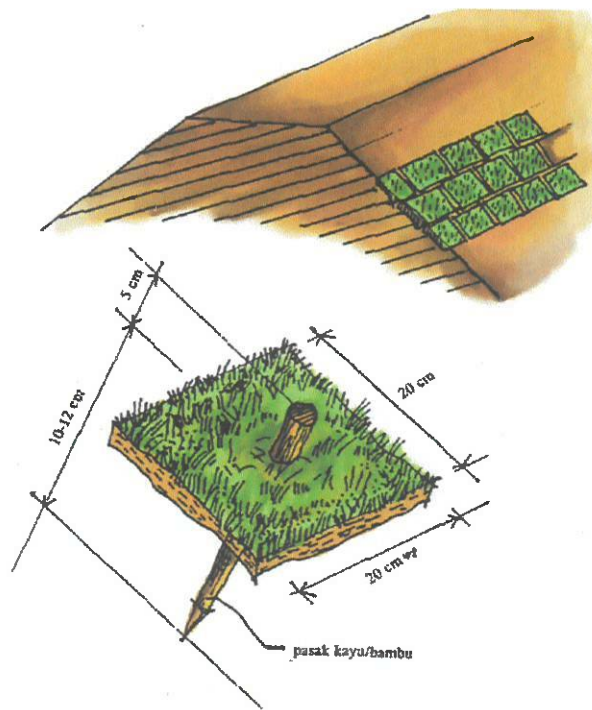
- a) Geomembran harus dipasang dan dihamparkan secara tepat sesuai dengan Gambar

Rencana atau petunjuk Direksi (Pengawas Lapangan), persyaratan-persyaratan dalam pedoman ini, serta rekomendasi dan persyaratan pemasangan yang dikeluarkan oleh pihak pabrik.

- b) Peralatan untuk menempatkan geomembran, baik secara mekanik maupun manual, harus mampu menangani keseluruhan gulungan geomembran dan dapat membaringkan geomembran tanpa menimbulkan kerutan dan lipatan pada posisi yang sudah ditentukan. Peralatan yang digunakan harus sesuai dengan rekomendasi pihak pabrik atau persetujuan pihak perekayasa.
- c) Permukaan tanah tempat geomembran akan digelar haruslah bersih dari benda-benda tajam/runcing dan tak yang dapat menimbulkan kerusakan pada geomembran.
- d) Permukaan tanah harus rata, Ketidakrataan permukaan tidak boleh melebihi 10 cm.
- e) Geomembran tidak boleh dipasang pada saat kondisi cuaca, yang tidak memungkinkan di mana terjadi hujan lebat atau cuaca/udara yang sangat panas. Pemasangan geomembran termasuk penyambungan/penjahitan (*seaming*) harus dilakukan pada suhu antara 4 °C (40 °F) sampai dengan 40 °C (104 °F). Instalasi juga tidak boleh dilakukan pada saat udara sangat lembab dan angin bertiup sangat kencang.
- f) Sambungan berupa *overlap* harus setidaknya selebar 61 cm (24 inci). Geomembran yang terentang dari parit vertikal sampai tanah dasar harus juga di-*overlap* minimum 61 cm (24 inci). Sambungan berupa jahitan tidak diperkenankan kecuali jika sambungan tersebut dilakukan di pabrik dan telah terbukti kedap air.
- g) Penimbunan material urukan setelah penggelaran geomembran harus dilakukan dengan baik sehingga geomembran tidak mengalami beban melebihi tegangan ijin material. Material urukan harus disebarakan secara merata tiap lapis dengan tinggi urukan tidak melebihi 50 cm dan penimbunannya harus dilakukan pada satu arah dan dimulai dari satu titik tertentu. Peralatan konstruksi tidak boleh berada langsung di atas geomembran dan baru dapat diijinkan beroperasi di atasnya bila tinggi urukan telah mencapai paling tidak 30 cm. Kerusakan geotekstil selama penimbunan material urukan harus diperbaiki atas petunjuk Direksi (Pengawas Lapangan).

#### **8.4.3 Pemasangan Gebalan Rumput**

- a) Tempelkan gebalan rumput pada permukaan lereng hilir urukan tubuh embung. Sambungan vertikal tidak boleh dalam satu garis lurus. Ukuran gebalan 20 x20 cm.
- b) Pasang pasak bambu/ kayu, Ø 10-15 mm panjang 15 cm, pada gebalan rumput untuk memperkuat ikatannya dengan urukan.
- c) Pemasangan dilakukan sedapat mungkin dimulai dari baris atas dan dilanjutkan dengan baris di bawahnya.



Gambar 42 Susunan gebalan rumput

### 8.5 Konstruksi Bangunan Penahan (Untuk Embung Kolam Jenis *Long Storage*)

Spesifikasi teknis dari pasangan batu apabila bangunan penahan memakai batu sebagai lapisan atasnya adalah:

- Batu harus bersih, keras, tanpa bagian yang tipis atau retak dan harus dari jenis yang diketahui awet.
- Batu harus rata, lancip atau lonjong bentuknya dan dapat ditempatkan saling mengunci bila dipasang bersama-sama.

Spesifikasi teknis dari semen yang dipakai adalah:

- Semen dipakai adalah jenis PC yang ada di pasaran.
- Semen yang telah mengeras karena pengaruh cuaca, air atau bahan organik lainnya tidak boleh dipakai.
- Tempat penyimpanan semen harus kering dan diberi alas minimum 30 cm di atas permukaan tanah dan tinggi tumpukan maksimum 3 m.

Spesifikasi teknis dari pasir yang dipakai adalah:

- Pasir yang lebih diutamakan adalah pasir alam (pasir pasang) yang diambil dari sungai atau pantai.
- Tempat penyimpanan pasir harus bersih dari sampah organik, sampah kimia, bebas dari banjir serta tidak terkontaminasi dengan bahan lainnya, seperti air laut/garam dan lain-lainnya.

Spesifikasi teknis dari air yang dipakai adalah air bersih yang tidak mengandung zat-zat kimia atau organik yang dapat merusak konstruksi.

Spesifikasi teknis dari bahan perekat pasangan batu (atau kerap disebut spesi) adalah:

- a. Perbandingan jumlah semen dengan pasir berkisar antara 1 semen : 3 pasir (1 PC : 3 PS) sampai dengan 1 semen : 5 pasir (1 PC : 5 PS).
- b. Tebal lapisan perekat pada permukaan batuan minimum 1,5 cm agar ikatan antar batu menjadi kuat.
- c. Pemasangan lapis batu pertama diawali dengan menghamparkan adukan setebal 3 – 5 cm kemudian menyusun batu di atas hamparan dengan jarak 2 – 3 cm (tidak bersinggungan). Pukul atau ketok-ketok batu tersebut agar terikat kuat dengan adukan. Isi rongga diantara batu-batu dengan adukan sampai penuh/mampat dengan menggunakan sendok adukan. Untuk bangunan dengan pasangan batu yang tingginya lebih dari 1 m, maka tinggi pengerjaan pasangan batu maksimum adalah 1 m. Penghentian pelaksanaan tidak boleh dibuat rata melainkan dibuat bertangga agar sambungan pasangan lama dan pasangan berikut di atasnya bisa terjadi satu ikatan yang kuat.

## 8.6 Konstruksi Pelimpah

Spesifikasi teknis dari pelimpah:

- a. Pada bagian hulu dari ambang pelimpah, dibuat lantai dari pasangan batu atau beton.
- b. Saluran pelimpah (yang memakai alur sungai lama) mempunyai kemiringan lereng 1:1.
- c. Lereng dan area sekeliling pelimpah harus ditanami rumput untuk mencegah erosi.

## 8.7 Konstruksi Bak Pengendap

Bak pengendap dibangun dengan bentuk galian sebelum air masuk ke dalam tampungan. Bak pengendap ini berguna untuk mengendapkan material yang terbawa oleh air sebelum masuk ke dalam kolam embung. Konstruksi Pintu Penguras Embung Kecil

Pintu penguras berfungsi untuk membersihkan kotoran dan sedimen yang mengendap di dasar embung. Pintu penguras juga dapat berfungsi untuk mengatur tinggi muka air agar menjaga volume tampungan dam parit apabila sewaktu-waktu sawah yang dialiri perlu perawatan.

Spesifikasi teknis dari pintu penguras adalah:

- c. Bila pintu penguras terbuat dari kayu, tebal pintu yang biasanya digunakan adalah 8 – 12 cm.
- d. Bila pintu penguras terbuat dari baja, baja tersebut harus dalam keadaan baik dan dari pabrik. Ketebalan pintu baja yang disarankan adalah 5 – 10 mm.

### 8.8 Konstruksi Sistem Distribusi

Sistem distribusi untuk menyuplai air pada lahan pertanian. Sistem distribusi dapat menggunakan pipa PVC dengan ukuran 1 ¼ inci sampai dengan 2 inci ataupun ukuran lainnya yang sesuai dengan saluran terbuka juga bisa dipakasi walaupun tidak disarankan untuk mencegah kehilangan air akibat rembesan dan penguapan.

### 8.9 Pelaksanaan Pengisian Awal Embung

Pengisian awal embung dilakukan setelah pelaksanaan konstruksi embung selesai. Permohonan pengisian embung harus sudah memenuhi persyaratan teknis sebagai berikut.

- a. Laporan akhir pelaksanaan konstruksi
- b. Rencana pengisian awal embung
- c. Rencana pengelolaan embung

Izin pengisian awal embung paling sedikit memuat:

- a) Identitas Pembangun embung
- b) Lokasi embung yang dibangun
- c) Jenis dan tipe embung yang dibangun
- d) As built drawing
- e) Rencana pengisian awal embung
- f) Ketentuan hak dan kewajiban

Dalam jangka waktu 1 (satu) tahun sejak diterbitkannya izin pengisian awal embung, Pembangun embung wajib melaksanakan pengisian awal embung sesuai dengan rencana pengisian awal embung.

### 8.10 Kelengkapan Dokumen Pasca Konstruksi

Dokumen-dokumen yang harus disiapkan setelah pelaksanaan konstruksi pelaksanaan adalah sebagai berikut.

- Kontrak, Rencana Mutu Kontrak (RMK), addendum kontrak (jika embung dibangun secara kontraktual), perhitungan MC.0, dan perhitungan MC.100.
- Gambar perencanaan (Shop Drawing, Construction Drawing, As Built Drawing)
- Laporan harian/ mingguan/ bulanan
- Foto dokumentasi pelaksanaan (0%, 50%, dan 100%)
- Berita acara serah terima pekerjaan
- Manual Operasi dan Pemeliharaan
- Surat kepemilikan aset

DIREKTUR JENDERAL SUMBER DAYA AIR,



Ir. JAROT WIDYOKO Sp-1  
NIP. 19630224 198810 1001