



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

Jl. Pattimura No. 20/7 Kebayoran Baru, Jakarta Selatan 12110 Telp. 7396616, Fac. 7208285

Kepada yang terhormat

1. Para Direktur di Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
2. Para Kepala Pusat di Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
3. Kepala Balai Bendungan.
4. Para Kepala Balai Besar Wilayah Sungai/Balai Wilayah Sungai di Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.

SURAT EDARAN

NOMOR 03/SE/Da/2019

TENTANG

PEDOMAN PERSIAPAN DAN PELAKSANAAN KONSTRUKSI SUMUR AIR TANAH UNTUK  
MENDUKUNG PENYEDIAAN AIR BAKU

A. UMUM

Bahwa dalam rangka penyediaan air baku untuk pemenuhan berbagai kebutuhan seperti pemenuhan kebutuhan irigasi, pertanian, domestik serta kebutuhan lainnya, diperlukan sumber air baku potensial yang salah satu diantaranya adalah sumber air tanah.

Bahwa dalam rangka pendayagunaan air tanah, khususnya untuk pemenuhan kebutuhan irigasi, pertanian lahan kering, domestik pada daerah rawan kering serta kebutuhan lainnya, perlu dibuat sumur air tanah.

Bahwa untuk membuat sumur air tanah dan sejalan dengan fungsi Direktorat Jenderal Sumber Daya Air dalam pendayagunaan air tanah melalui pembinaan pengelolaan air tanah dan air baku, perlu dibuat pedoman persiapan dan pelaksanaan konstruksi sumur air tanah untuk mendukung penyediaan air baku dengan ketentuan sebagai berikut:

B. DASAR PEMBENTUKAN

1. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 1982 tentang Tata Pengaturan Air (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1982 Nomor 37, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 3225);
2. Peraturan Peraturan Presiden Nomor 15 Tahun 2015 tentang Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 16) sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Peraturan Presiden Nomor 135 Tahun 2018 tentang Perubahan atas Peraturan Peraturan Presiden Nomor 15 Tahun 2015 tentang Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2018 Nomor 249 );
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 14/PRT/M/2015 tentang Kriteria dan Penetapan Status Daerah Irigasi (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 638);
5. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 23/PRT/M/2015 tentang Pengelolaan Aset Irigasi (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 707);
6. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 30/PRT/M/2015 tentang Pengembangan dan Pengelolaan Sistem Irigasi (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 869);
7. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 20/PRT/M/2016 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2016 Nomor 817) sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 05/PRT/M/2019 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 20/PRT/M/2016 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2019 Nomor 107);
8. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 03/PRT/M/2019 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2019 Nomor 96);

#### C. MAKSUD DAN TUJUAN

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai pedoman bagi Balai Besar Wilayah Sungai/ Balai Wilayah Sungai dalam membuat konstruksi sumur air tanah untuk mendukung penyediaan air baku guna pemenuhan kebutuhan irigasi, pertanian lahan kering, domestik pada daerah rawan kering serta kebutuhan lainnya.

Surat Edaran ini bertujuan untuk memperjelas tahapan pelaksanaan konstruksi sumur air tanah baik dari tahapan pra-persiapan, persiapan, dan pelaksanaan konstruksi sumur air tanah agar dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien.

#### D. RUANG LINGKUP

- 1 Ruang lingkup Surat Edaran ini meliputi :
  - a. Tahapan pelaksanaan konstruksi sumur air tanah; dan
  - b. Pemantauan dan Pengawasan konstruksi sumur air tanah .
- 2 Tahapan Pelaksanaan konstruksi sumur air tanah sebagaimana dimaksud pada huruf a, terdiri atas:
  - a. Tahap Pra-Persiapan Pelaksanaan Konstruksi Sumur Air Tanah;
  - b. Tahap Persiapan Pelaksanaan Konstruksi Sumur Air Tanah; dan
  - c. Tahap Pelaksanaan Pelaksanaan Konstruksi Sumur Air Tanah.

#### E. MATERI MUATAN

- I. Sumur air tanah merupakan prasarana utama dalam pemanfaatan air tanah, karena melalui sumur tersebut air tanah dapat disadap dari akifer yang ada pada lapisan bawah tanah. Sumur air tanah terbagi dalam 3 (tiga) jenis, yaitu:

1. Sumur dalam (*deep well*) yang dibuat dengan:
    - a. melakukan pemboran menggunakan mesin bor (*drilling rig*);
    - b. menyadap keberadaan air tanah pada akuifer kedalaman lebih dari 50 m; dan
    - c. perkiraan debit yang diperoleh lebih dari 15 liter/detik.
  2. Sumur menengah (*intermediate well*) yang dibuat dengan:
    - a. pemboran menggunakan mesin bor (*drilling rig*);
    - b. menyadap keberadaan air tanah pada akuifer dengan kedalaman berkisar 20 - 50 m; dan
    - c. perkiraan debit yang diperoleh sekitar 8 - 10 liter/detik.
  3. Sumur dangkal (*shallow well*) atau sumur pantek yang dibuat dengan:
    - a. cara manual atau mesin bor kecil;
    - b. menyadap keberadaan air tanah pada akuifer dengan kedalaman 0 - 20m;
    - c. perkiraan debit yang diperoleh sekitar 3 - 4 liter/detik.
- II. Tahap Pra-Persiapan Pelaksanaan Konstruksi Sumur Air Tanah
1. Pengumpulan data.
 

Tahapan ini bertujuan untuk mendapatkan keberadaan lokasi yang kekurangan air permukaan, debit serahan awal, kebutuhan air untuk berbagai keperluan, kedalaman potensi air tanah di lokasi, bagian wilayah yang memiliki potensi air tanah, dan perkiraan biaya awal pengeboran sumur air tanah.
  2. Penyusunan Desain Awal
 

Tahapan desain awal merupakan tahapan lanjutan dari pengumpulan data. Pada tahap ini dilakukan berbagai analisa dari data-data yang telah dikumpulkan sebelumnya.
  3. Pengurusan Perizinan pemanfaatan air tanah
 

Dalam hal akan melaksanakan konstruksi sumur air tanah/pengeboran sumur air tanah, pengurusan izin pemanfaatan air tanah/izin pengeboran air tanah dilakukan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan bidang Enegegi dan Sumber Daya Mineral. Pengurusan izin pemanfaatan air tanah/izin pengeboran air tanah di berikan oleh Gubernur cq. Badan Pelayanan yang melayani perizinan dan non perizinan yang proses pengelolaannya mulai dari tahap permohonan sampai ke tahap terbitnya dokumen.
- III. Tahapan persiapan pelaksanaan konstruksi air tanah:
- a. Persiapan Pengeboran.
 

Tahapan ini dilakukan untuk mempersiapkan peralatan, perlengkapan yang dibutuhkan pada saat pekerjaan pengeboran dan pembangunan sumur, serta penempatan pada setiap lokasi pengeboran.

b. Pemilihan Peralatan Pengeboran dan metode pengeboran

Peralatan pengeboran terdiri dari:

- 1) Peralatan Pengeboran Utama; dan
- 2) Peralatan Bantu Pengeboran.

Adapun Metode Pengeboran berdasarkan cara kerja alat bor, dibagi menjadi 3 (tiga) jenis, terdiri dari:

- 1) Pengeboran Tumbuk (*Percussive Drilling*);
- 2) Pengeboran Putar (*Rotary Drilling*); dan
- 3) Pengeboran Putar Hidraulik (*Hidraulic Rotary Drilling*).

c. Pemilihan Material Pengeboran

Dalam melakukan pengeboran perlu dilakukan pemilihan material pengeboran berdasarkan jenis sumur air tanah yang akan di bangun.

d. Pemilihan Perlengkapan Konstruksi Lainnya

Perlengkapan konstruksi penting lainnya dalam pelaksanaan konstruksi sumur air tanah antara lain pelurus rangkaian konstruksi pipa (*centralizer*), penyumbat bawah pipa (*bottom plug*), penyambung rangkaian konstruksi pipa jambang-pipa buta (*reducer*), penutup konstruksi pipa sumur (*well cap*), dan semen penutup.

#### IV. Pelaksanaan Pengeboran Sumur Air Tanah

Pengeboran sumur air tanah dilakukan terhadap sumur dalam (*deep well*) sumur menengah, dan sumur dangkal, dengan ketentuan sebagai berikut:

- 1) Pelaksanaan pengeboran sumur air tanah untuk sumur dalam (*deep well*) dan sumur menengah (*intermediate well*) dibagi menjadi 12 (dua belas) tahapan yaitu:
  - a) Pembuatan lubang bor penuntun (*pilot hole*);
  - b) Pengambilan sampel pengeboran pada interval kedalaman tertentu (*well cutting*);
  - c) Pencucian dan pembersihan sumur (*well development*) tahap 1, dilakukan untuk pembersihan setelah dilakukan *well cutting*;
  - d) Penampangan sumur untuk interpretasi jenis dan kedalaman lapisan batuan dan kedudukan akuifer (*well logging*);
  - e) Pembesaran lubang bor (*well reaming*);
  - f) Konstruksi sumur air tanah dan penentuan letak *screen* dan *casing*;
  - g) Pemasukan *gravel pack*;
  - h) Pencucian dan pembersihan sumur (*well development*) tahap 2, dilakukan setelah konstruksi sumur dan dilakukan secara keseluruhan;
  - i) Uji Pemompaan (*pumping test*);
  - j) Analisis kualitas air yang mencakup parameter fisika dan kimia;
  - k) Pembetonan sumur air tanah; dan

- l) Pemasangan tutup sumur air tanah.
- 2) pelaksanaan konstruksi sumur dangkal (*shallow well*) dibagi menjadi 5 (lima) tahapan antara lain:
  - a) Pembuatan lubang bor penuntun (*pilot hole*);
  - b) Uji pemompaan (*pumping test*);
  - c) Analisis kualitas air;
  - d) Pempbetonan sumur air tanah; dan
  - e) Pemasangan tutup sumur air tanah.

V. Pemantauan dan Pengawasan konstruksi sumur air tanah

1. Selama pelaksanaan konstruksi sumur air tanah, pelaksana dilapangan harus melakukan pemantauan dan pengawasan dengan mencatat dan melaporkan hasil pelaksanaan konstruksi dimaksud dengan membuat laporan:
  - a) harian
  - b) mingguan
  - c) lithologi log
  - d) log pemboran
  - e) uji ketegaklurusan sumur
  - f) Data instalasi pipa
  - g) Pemasangan *gravel pack*
  - h) Pengujian airlift test
  - i) pengembangan sumur (*well development*)
  - j) Uji pemompaan pendahuluan (*trial test*)
  - k) Uji pemompaan bertingkat
  - l) Uji pemompaan debit tetap (*menerus*)
  - m) Uji pemulihan
2. Laporan sebagaimana dimaksud pada angka 1 disampaikan kepada Pejabat Pembuat Komitmen Air Tanah dan Air Baku.
3. BBWS/BWS harus menyampaikan laporan setiap 6 (enam) bulan sekali kepada Direktur Jenderal Sumber Daya Air cq. Kepala Pusat Air Tanah dan Air Baku sebagai bahan evaluasi dalam pelaksanaan kegiatan dan penyusunan program pada tahun berikutnya.

- VI. Rincian detail mengenai tahapan Pra-Persiapan, Persiapan dan Pelaksanaan konstruksi sumur air tanah sebagaimana tercantum dalam Lampiran I dan contoh format pencatatan dan pelaporan selama pelaksanaan konstruksi sumur air tanah sebagaimana tercantum dalam Lampiran II yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Surat Edaran ini.

F. KETENTUAN LAIN

Dengan ditetapkannya Surat Edaran ini, pelaksanaan konstruksi sumur air tanah yang masih dalam proses tetap dilaksanakan sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam Surat Edaran ini.

G. PENUTUP

Surat Edaran ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Demikian disampaikan untuk dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Jakarta

pada tanggal 16 Mei 2019

DIREKTUR JENDERAL SUMBER DAYA AIR,



Dr.Ir. Hari Suprayogi. M.Eng

NIP.195911071985031002

Tembusan disampaikan kepada:

1. Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (sebagai laporan);
2. Sekretaris Direktorat Jenderal Sumber Daya Air;

LAMPIRAN I  
SURAT EDARAN DIREKTUR JENDERAL  
SUMBER DAYA AIR  
NOMOR 03/SE/Da/2019  
TENTANG  
PEDOMAN PERSIAPAN DAN PELAKSANAAN  
KONSTRUKSI SUMUR AIR TANAH UNTUK  
MENDUKUNG PENYEDIAAN AIR BAKU

BAB I

TAHAPAN PELAKSANAAN KONSTRUKSI SUMUR AIR TANAH

A. UMUM

Dalam rangka penyediaan air baku pada daerah rawan kering dan pertanian lahan kering untuk memenuhi kebutuhan irigasi, pertanian, domestik serta kebutuhan lainnya yang bersumber dari air tanah diperlukan pembuatan konstruksi sumur air tanah.

Jenis sumur air tanah terbagi dalam 3 (tiga) jenis, yaitu:

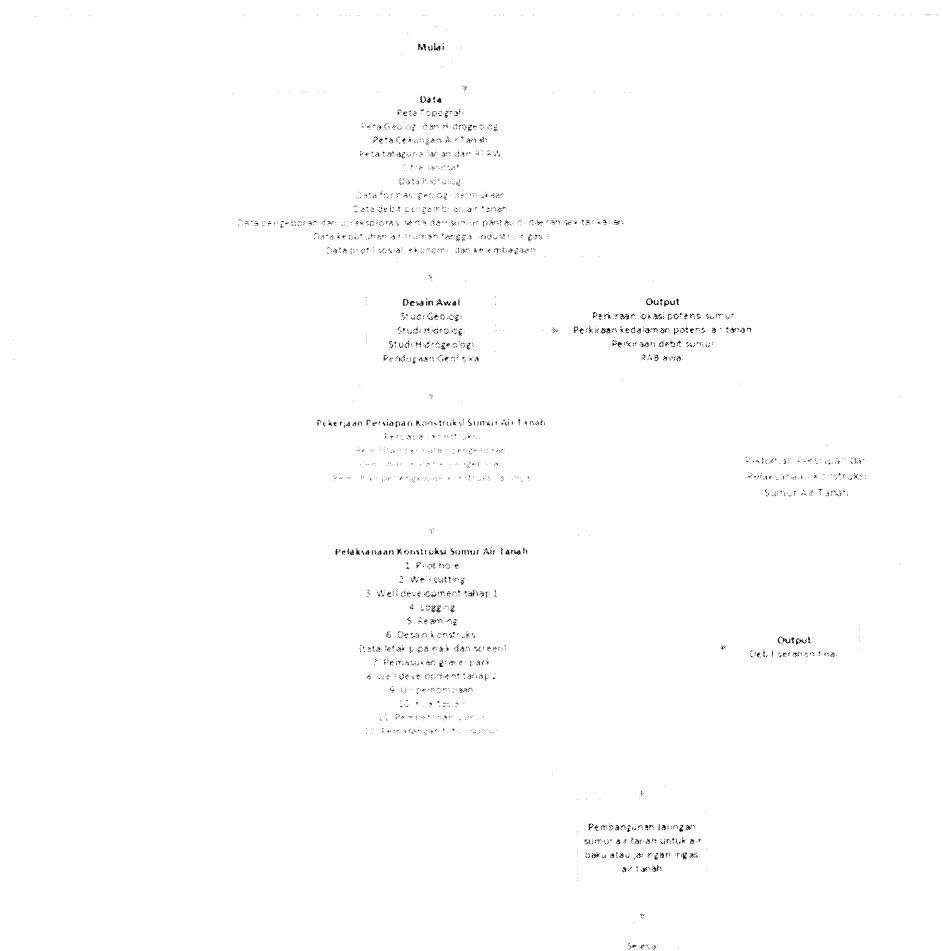
1. Sumur dalam (*deep well*) yang dibuat dengan:
  - a. melakukan pemboran menggunakan mesin bor (*drilling rig*);
  - b. menyadap keberadaan air tanah pada akuifer kedalaman lebih dari 50m; dan
  - c. perkiraan debit yang diperoleh lebih dari 15 liter/detik.
2. Sumur menengah (*intermediate well*) yang dibuat dengan:
  - a. pemboran menggunakan mesin bor (*drilling rig*);
  - b. menyadap keberadaan air tanah pada akuifer dengan kedalaman berkisar 20 - 50 m; dan
  - c. perkiraan debit yang diperoleh sekitar 8 - 10 liter/detik.
3. Sumur dangkal (*shallow well*) atau sumur pantek yang dibuat dengan:
  - a. cara manual atau mesin bor kecil;
  - b. menyadap keberadaan air tanah pada akuifer dengan kedalaman 0 - 20m;
  - c. perkiraan debit yang diperoleh sekitar 3 - 4 liter/detik.

Sumur air tanah merupakan prasarana utama dalam pemanfaatan air tanah, karena melalui sumur tersebut air tanah dapat disadap dari akifer yang ada pada lapisan bawah tanah. Kegiatan dalam persiapan pengeboran antara lain pemilihan peralatan pengeboran, pemilihan material pengeboran, pemilihan perlengkapan konstruksi lainnya. Kemudian, dalam kegiatan pengeboran, selain pembuatan/konstruksi sumur yang terdiri dari pembuatan *pilot hole*, *reaming*, *pemasangan casing*, *screen*, dan

*gravel pack*, serta *well development* (pencucian sumur), dilakukan juga uji dan analisa pada saat konstruksi sumur tersebut antara lain berupa *logging*, *well cutting*, dan uji pemompaan untuk mendapatkan debit serahan final. Setelah mendapatkan debit serahan final, barulah dapat ditentukan jenis dan kapasitas pompa serta tenaga penggerak yang sesuai untuk membawa air tanah ke jaringan pemanfaatan air tanah.

Pelaksanaan konstruksi sumur air tanah dilakukan melalui 3 (tiga) tahapan yaitu:

1. Tahap Pra-Persiapan Pelaksanaan Konstruksi Sumur Air Tanah;
2. Tahap Persiapan Pelaksanaan Konstruksi Sumur Air Tanah; dan
3. Tahap Pelaksanaan Pelaksanaan Konstruksi Sumur Air Tanah.



Gambar Bagan Alir Pelaksanaan Konstruksi Air Tanah

## B. TAHAPAN PRA – PERSIAPAN PELAKSANAAN KONSTRUKSI SUMUR AIR TANAH

### 1. Pengumpulan Data

Tahapan ini bertujuan untuk mendapatkan keberadaan lokasi yang kekurangan air permukaan, debit serahan awal, kebutuhan air untuk berbagai keperluan, kedalaman potensi air tanah di lokasi, bagian wilayah yang memiliki potensi air tanah, dan perkiraan biaya awal pengeboran sumur air tanah. Data yang diperlukan pada tahap ini secara umum adalah :

- a. Peta topografi;
- b. Peta geologi dan hidrogeologi;
- c. Peta cekungan air tanah;
- d. Peta tataguna lahan dan RTRW;
- e. Citra *landsat*;
- f. Data hidrologi (data hujan, debit atau *baseflow*, *data recharge* dan mata air);
- g. Data formasi geologi permukaan;
- h. Data debit pengambilan air tanah, data pengeboran dan uji eksplorasi serta dari sumur pantau di daerah sekitar kajian;
- i. Data kebutuhan air (rumah tangga, industri, irigasi); dan
- j. Data profil ekonomi, sosial dan kelembagaan.

### 2. Tahapan Penyusunan Desain Awal

Tahapan desain awal merupakan tahapan lanjutan dari pengumpulan data. Pada perencanaan pendahuluan ini dilakukan berbagai analisa dari data yang telah dikumpulkan sebelumnya.

#### a. Studi geologi

Data utama yang dibutuhkan Dalam studi geologi adalah peta topografi, peta geologi, peta hidro-geologi dan citra *landsat* (foto udara). Hasil akhir yang diharapkan dari analisa studi geologi ini adalah

- 1) Statigrafi yang baik yang menunjukkan seluruh lapisan geologi pada wilayah tersebut.
- 2) Indikasi struktur yang tepat dimana bentuk lapisan secara meluas dapat dipelajari, struktur ini dapat dibuat penampang-penampangnya.
- 3) Penentuan akuifer dan ketebalannya.
- 4) Penentuan sistem hidraulik yang menampakkan zona *recharge*, zona sirkulasi dan zona *discharge*.

#### b. Studi hidrologi

Studi hidrologi ini terdiri dari analisa data-data hidrologi seperti data hujan, debit atau *baseflow*, *data recharge* dan mata air. Tujuan dari studi ini adalah menghitung besarnya potensi sumber air yang tersedia ditinjau dari seluruh aspek hidrologi, dan proyeksi ketersediaan air untuk menghindari adanya kekeringan yang dapat terjadi pada infrastruktur yang akan dibangun.

c. Studi hidrogeologi

Studi hidrogeologi ini merupakan perpaduan dari analisa geologi dan analisa hidrologi yang telah dilakukan. Tujuan akhir dari adanya studi hidrogeologi ini adalah dapat diketahui potensi sebaran air tanah beserta kemungkinan eksploitasi dan juga dapat diketahui pembentukan keseimbangan air tanah (*recharge* dan *discharge*) disertai serapan dan permeabilitasnya.

d. Pemetaan dan pendugaan geofisika (penyelidikan geolistrik)

Pemetaan geofisika adalah pemetaan yang didasarkan anomali fisika dari material di bawah permukaan. Pemetaan geofisika merupakan data pendukung terhadap pemetaan geologi permukaan, sehingga sebelum diadakan penelitian geofisika, sebaiknya didahului oleh pengamatan kondisi geologi daerah penelitian.

Pemetaan geofisika dilakukan berdasarkan beberapa metode pengukuran. Metode yang populer digunakan dalam eksplorasi geofisika untuk air tanah adalah :

1) Teori dasar metode geolistrik untuk pemetaan geofisika

Eksplorasi dengan metode geolistrik dilakukan di atas permukaan tanah dengan menginjeksi searah (DC) frekuensi rendah ke dalam tanah melalui dua elektroda arus. Besar beda potensial yang terjadi diukur di permukaan dengan dua elektroda potensial. Hasil pengukuran besar yang diinjeksikan dan beda potensial yang terjadi untuk setiap jarak elektroda yang berbeda akan memberikan variasi harga tahanan jenis. Variasi nilai tersebut menunjukkan adanya variasi lapisan batuan di bawah permukaan.

Aliran arus listrik di dalam batuan/mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu :

- a) Konduksi elektrolitik yang terjadi jika batuan/mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan oleh elektron-elektron bebas tersebut.
- b) Konduksi elektrolitik terjadi jika batuan/mineral bersifat porus dan pori-porinya terisi oleh cairan elektrolitik.

c) Konduksi dielektrik terjadi jika batuan/mineral bersifat dielektrik terhadap aliran arus listrik dimana pada kasus ini terjadi polarisasi saat batuan dialiri arus listrik.

## 2) Metode Pengukuran Geolistrik di Lapangan

Pekerjaan lapangan dimulai dengan menancapkan elektroda yang biasanya berupa *stainless steel* ke dalam tanah dengan menggunakan *hammer*. Masing-masing elektroda selanjutnya dihubungkan ke alat geolistrik (*measuring instrument*) dengan kabel. Arus dimasukkan ke dalam tanah melalui alat geolistrik dari suatu sumber arus listrik yang biasanya berupa *accu* atau baterai. Pengukuran lapangan dengan alat geolistrik dimaksudkan untuk mengukur nilai hambatan listrik (resistensi) batuan. Pengukuran geolistrik yang dilakukan di lapangan pada kegiatan eksplorasi meliputi dua cara, yaitu *Electrical Sounding* dan *Electrical Profiling/Electrical Mapping*. *Electrical sounding* merupakan metode yang dilakukan untuk mendapatkan variasi nilai tahanan jenis semu pada kedalaman yang berbeda pada satu letak titik pengamatan/titik pendugaan, sedangkan *electrical mapping* dimaksudkan untuk mendapatkan variasi nilai tahanan jenis semu lapisan batuan pada kedalaman tertentu dalam suatu wilayah penelitian. Metode *electrical sounding* baik untuk kondisi geologi dengan yang relatif seragam, sedangkan metode *electrical mapping* baik untuk kondisi yang sangat heterogen.

Penentuan lokasi titik pengeboran ditentukan dalam tahapan ini dari hasil studi pendugaan geofisika (geolistrik), dimana hasilnya didapatkan dari interpolasi titik-titik yang dilakukan pendugaan geofisika. Dari pendugaan geolistrik ini juga didapatkan perkiraan kedalaman pemboran, dimana letak akuifer yang dapat diproduksi dan jenis sumur yang akan di lakukan pengeboran. Selain itu, penentuan lokasi sumur bor juga memerlukan studi-studi lain seperti studi hidrogeologi, studi geologi dan pemetaan sehingga dapat lebih akurat hasil penentuan lokasi sumur.

Setelah didapatkan penentuan lokasi sumur bor dan perkiraan kedalaman pengeboran, Rencana Anggaran Biaya (RAB) dapat dibuat untuk mengetahui dana yang diperlukan untuk pengeboran dan konstruksi yang akan dibangun.

## 3. Perizinan pemanfaatan air tanah

Dalam hal akan melaksanakan konstruksi sumur air tanah/pengeboran sumur air tanah, pengurusan izin pemanfaatan air tanah/izin pengeboran air tanah dilakukan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan bidang Energi dan Sumber Daya Mineral. Pengurusan izin pemanfaatan air tanah/izin pengeboran air tanah di berikan oleh Gubernur cq. Badan Pelayanan yang melayani perizinan dan non perizinan yang proses pengelolaannya mulai dari tahap permohonan sampai ke tahap terbitnya dokumen.

### C. TAHAPAN PERSIAPAN PELAKSANAAN KONSTRUKSI AIR TANAH

#### 1. Persiapan Pengeboran

Sebelum mobilisasi perlu mempersiapkan peralatan, perlengkapan yang dibutuhkan untuk pekerjaan pengeboran dan pembangunan sumur, serta penempatan pada setiap lokasi pengeboran. Setelah itu pekerjaan persiapan lokasi dapat dimulai, antara lain:

- a. Mempersiapkan formulir isian pengeboran dan alat-alat tulis
- b. Memasang balok-balok dan batu kerikil untuk landasan mesin bor pada lokasi titik bor.
- c. Pasang mesin bor secara horizontal di atas landasan tersebut dengan titik lubang yang sesuai dengan titik sumur.
- d. Siapkan dan pasang menara bor / tripot.
- e. Siapkan pompa lumpur dan perlengkapannya.
- f. Siapkan minimal 2 buah bak lumpur dan salurannya.
- g. Siapkan dan pasang pipa bor, mata bor dan stabilizer untuk pengeboran awal.
- h. Sediakan air dan lumpur pengeboran pada bak lumpur.
- i. Hidupkan peralatan pengeboran.
- j. Lakukan uji coba pengeboran dan sekaligus membuat suatu lubang bor untuk memasang pipa penyangga sementara sedalam tebal tanah penutup atau sampai pada formasi batuan yang lunak.

Permukaan tanah pada lokasi pengeboran harus lebih tinggi dari sekitarnya. Lapisan batu dapat dipasang pada lokasi pengeboran hingga permukaannya menjadi lebih tinggi, untuk menghindari terjadinya genangan air terutama pada musim hujan.

Lumpur yang akan keluar dari lubang bor langsung dialirkan melalui ayakan yang bergetar menuju kolam pengendap dengan ukuran 1 m x 1 m x 1 m.

Untuk pengeboran dengan metode *Direct Circulation Mud Flush* (DCMF) perlu dibuat 2 kolam lumpur pada tiap lokasi, masing – masing berukuran (1 m x 2

m x 2 m) yang dilapisi semen sesuai dengan SNI 03-3969-1995 tentang metode pemboran air tanah dengan alat bor putar sistem sirkulasi langsung.

Suatu sumur baru, jika dibor secara benar, kemudian pipa sudah dipasang dan pencucian sumur sudah dilakukan, akan memberikan suatu masa operasi yang cukup panjang hanya dengan sedikit perawatan. Akan tetapi, banyak sumur-sumur yang tidak berkinerja pada efisiensi maksimum, disebabkan oleh pembangunan atau konstruksi yang tidak sempurna. Kinerja sumur dan pencuciannya hanya bisa dievaluasi dengan mempertimbangkan kapasitas jenis (*specific capacity*), kehilangan tinggi tekan dalam sumur (*well loss*) dan efisiensi sumur yang diperoleh dari uji pemompaan bertahap. Metode evaluasi serahan sumur yang optimal memberikan kondisi sumur yang berumur panjang. Hasil dari uji pemompaan bertahap dan data dasar sumur memberikan solusi untuk penentuan ketersediaan air dari sumur dan untuk memilih jenis pompa. Aplikasi praktis perkiraan ketersediaan air tanah dari sumur adalah sebagai berikut:

- a. Kecepatan masuk air kedalam pipa penyaring kurang dari atau ( $v \leq 0,03 \text{ m/s}$ )
- b. Konstanta *well loss* atau c harus dipertahankan  $< 0,5 \text{ min}^2/\text{m}^5$ .
- c. Kandungan pasir tidak boleh melewati 5 ppm pada 15 menit sesudah pemompaan dimulai
- d. Surutan tidak boleh melampaui kedalaman ruang pompa dan atau pipa penyaring
- e. Ketinggian muka air yang dipompa harus dijaga lebih tinggi daripada muka laut (jika dekat dengan pantai)

Jaminan Kebersihan Pada Konstruksi Sebuah sumur dirancang dan dibangun dengan baik harus dengan tujuan untuk mencegah kontaminasi yang bisa masuk ke sumur dari tanah permukaan atau dari tanah dangkal atau lapisan tanah, dan harus mencegah polutan melalui akuifer dari sumur. Hal ini membutuhkan:

- a. Penggunaan bahan berkualitas baik untuk *casing* dan saringan sumur, ukuran yang cocok, instalasi untuk kedalaman yang tepat.
- b. *Grouting* dari sumur di sekitar *casing* untuk mencegah masuknya air yang terkontaminasi dari permukaan tanah atau dari kedalaman dangkal.

## 2. Pemilihan Peralatan Pengeboran dan metode pengeboran

- a. Peralatan Pengeboran yang utama

*Drilling rig* atau mesin bor adalah instalasi peralatan utama untuk melaksanakan proses pengeboran sumur. Berikut dibawah ini. bagian-bagian mesin bor dan penjelasan fungsinya:

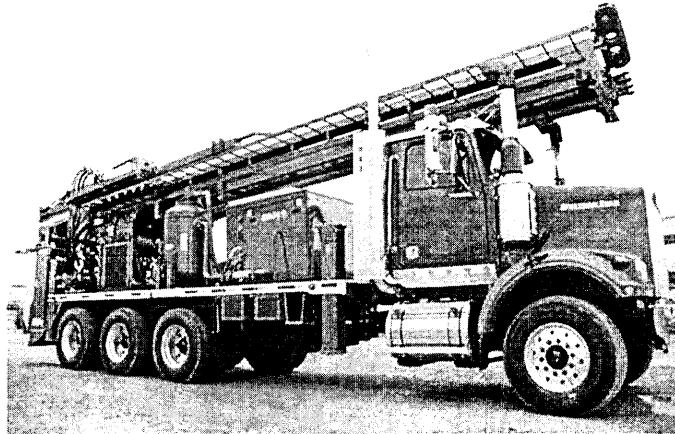
- 1) *Prime Mover* atau mesin penggerak, pada umumnya jenis mesin *diesel*, berfungsi untuk menggerakkan peralatan pengeboran pada waktu proses pengeboran maupun pada waktu mobilisasi atau demobilisasi menuju atau dari lokasi pengeboran (pada jenis *truck* dan *tractor mounted*).
- 2) *Power Take Off (PTO)*, berfungsi untuk mentransmisikan tenaga dari *prime mover* menuju peralatan pengeboran atau *hydraulic pump* pada waktu proses pengeboran atau menuju ke roda truk atau traktor pada waktu mobilisasi.
- 3) Sistem Kendali (*Control System*), terdiri dari pegangan dan instrumen pengukuran yang berfungsi untuk memantau dan mengatur kinerja dari bagian-bagian peralatan selama proses pengeboran berlangsung.
- 4) *Rotary Table* atau *Spindle head*, berfungsi untuk memutar mata bor dengan rangkaian *kelly*, *drill pipe*, maupun *drill collar*.
- 5) *Master*, sebagai tempat kedudukan dan jalan penghantar dari *spindle head* atau *swivel* agar supaya dapat digerakkan ke atas atau ke bawah pada waktu peralatan dioperasikan. Pada bagian atas dari master terdapat *pull* dari *hoist*
- 6) *Hydraulic Jack*, pada umumnya berjumlah empat buah yang berfungsi untuk mengatur agar posisi *drilling rig* selalu tetap pada posisi horisontal sehingga *verticality* (ketegaklurusan) dari lubang bor yang dihasilkan benar-benar terjamin.
- 7) *Hoist* yaitu alat pengangkat *drilling tools* seperti *drilling bit*, *stabilizer*, *drill collar* dan lain-lain yang digunakan dalam proses pengeboran. *Hoist* juga berfungsi pada waktu proses penyambungan *drill pipe* karena akan menambah kedalaman pengeboran, atau proses pengurangan *drill pipe* pada waktu pengeboran telah selesai atau akan berhenti. *Hoist* juga berfungsi untuk pengangkat pipa-pipa sumur pada waktu proses konstruksi sumur yaitu pemasangan pipa naik, *screen* (selubung penyaring) dan pipa jambang dari sumur.

Jenis mesin bor yang digunakan antara lain adalah :

1) *Truck Mounted Drilling rig*

*Truck Mounted Drilling rig*, yaitu mesin bor yang didesain diletakkan di atas *truck chasis*. Mesin bor jenis ini mempunyai kemampuan mobilitas jarak jauh, sehingga sesuai untuk melaksanakan pengeboran pada beberapa lokasi dimana jarak antara lokasi pengeboran yang satu dengan lokasi pengeboran yang lainnya berjauhan.

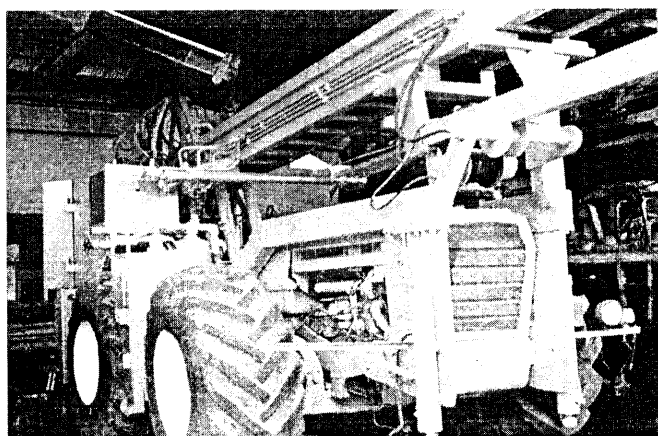
Keuntungan lain dari peralatan ini adalah kemampuannya dapat mengakomodir peralatan bantu yang diperlukan dalam proses pengeboran seperti *mud pump* (pompa lumpur), *air compressor* dan *drilling tools* (perangkat pengeboran) sehingga mengurangi ketergantungan pada *truck cargo* (truk pengangkut barang dan peralatan) dan *truck crane* pada waktu mobilisasi / demobilisasi.



**Gambar Truck Mounted Drilling rig Tractor Mounted Drilling rig**

Mesin bor yang didesain di atas traktor, agar supaya mempunyai kemampuan mobilitas yang tinggi pada lokasi off the road sehingga mampu masuk kelokasi pengeboran yang agak sulit dijangkau oleh *truck mounted drilling rig*, tetapi kemampuan mobilitas mesin bor ini terbatas.

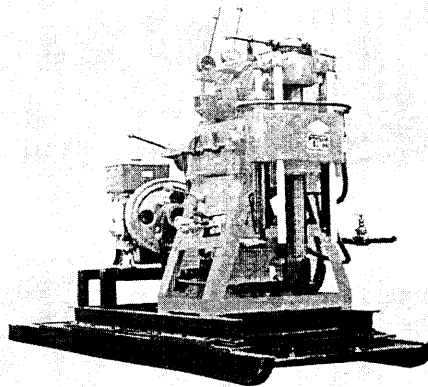
Untuk mengatur agar supaya tenaga dari *prime mover* dapat ditransmisikan ke penggerak roda traktor pada waktu proses mobilisasi atau ke *drilling rig* pada waktu operasi pengeboran yang berlangsung, maka peralatan ini dilengkapi dengan *Power Take Off* (PTO).



**Gambar Tractor Mounted Drilling rig**

## 2) *Skid Mounted Drilling rig*

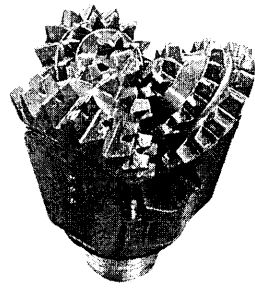
Mesin bor yang didesain di atas base frame sehingga merupakan satu kesatuan dengan *prime mover* peralatan tersebut. Pada proses mobilisasi atau demobilisasi menuju ke atau dari lokasi pengeboran, untuk peralatan ini beserta peralatan bantu dan *drilling tools*, harus diangkut dengan truk. Mesin bor jenis ini tidak dilengkapi dengan *master*, sehingga pada proses pengoperasiannya memerlukan tripot yang digunakan sebagai tempat kedudukan *pull* dari *hoist*. Kemampuan pengeboran mesin pengeboran ini ditinjau dari diameter maupun kedalaman sumur yang dihasilkan adalah lebih terbatas dibandingkan dengan *drilling rig* jenis yang menyatu dengan truk (*truck mounted*) maupun yang menyatu dengan traktor (*tractor mounted*).



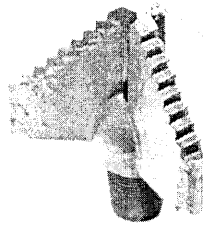
Gambar *Skid Mounted Drilling rig*

## 3) Mata Bor

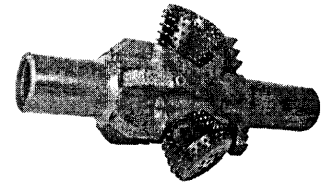
Jenis mata bor yang dipergunakan dalam pelaksanaan pengeboran sesuai dengan fungsinya terhadap jenis formasi yang dihadapinya antara lain: *Tricone Bit*, *Three Wing Bit*, *Hole Opener*, *Hammer Bit*, *Stabilizer* dan lain sebagainya.



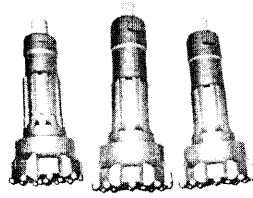
Tricone Bit



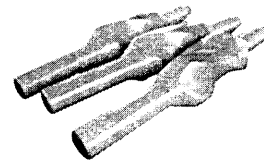
Three Wing Bit



Hole Opener



Hammer Bit



Stabilizer

**Gambar Mata Bor**

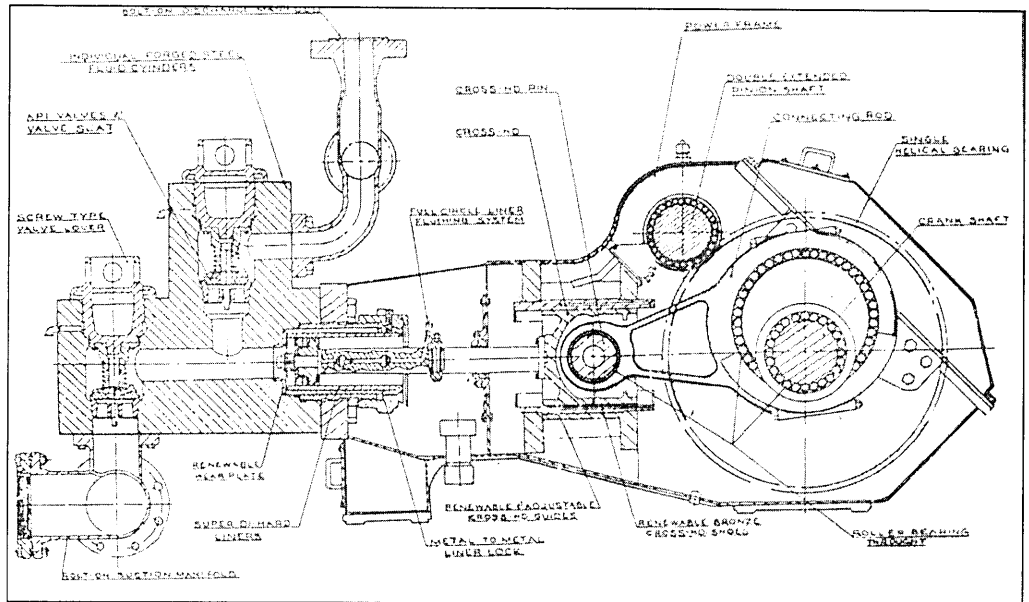
b. Peralatan Bantu Pengeboran :

Peralatan Bantu Pengeboran berdasarkan dari cara kerja alat tersebut, dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain :

1) *Direct Circulation Mudpump*

Pada umumnya *mud pump* yang dipakai dalam proses pengeboran dengan sistem *direct mud circulation* adalah jenis pompa *piston double acting* dua silinder. *Sistem direct circulation* adalah sistem pergerakan *fluida* dalam mesin bor dimana *fluida* bor dipompakan dari *mudpit* (kolam lumpur) ke mata bor melalui bagian dalam setang bor kemudian kembali lagi ke permukaan akibat tekanan pompa melalui rongga *annulus*. *Mud pump* berfungsi untuk mengedarkan lumpur pengeboran selama proses pengeboran berlangsung dengan cara menekan lumpur pengeboran melalui *discharge hose* yang dihubungkan dengan *swivel* yang terdapat pada *spindle head* atau *strive* yang dihubungkan dengan *kelly*, *drill pipe* dan mata bor yang berada di dalam lubang bor.

Selanjutnya akibat tekanan yang diberikan oleh *mud pump*, lumpur pengeboran akan memancar dari *nozzle* yang terdapat pada mata bor dan mengalir ke permukaan lubang bor sambil membawa *cutting* pengeboran keluar dari lubang bor dan dialirkan kedalam *mud pit*. Setelah *cutting* pengeboran diendapkan pada *mud pit* pertama dan disaring pada *mud pit* kedua selanjutnya lumpur pengeboran yang sudah bersih tersebut dihisap oleh *mud pump* untuk disirkulasikan kembali seperti semula.



Gambar *Mud Pump*

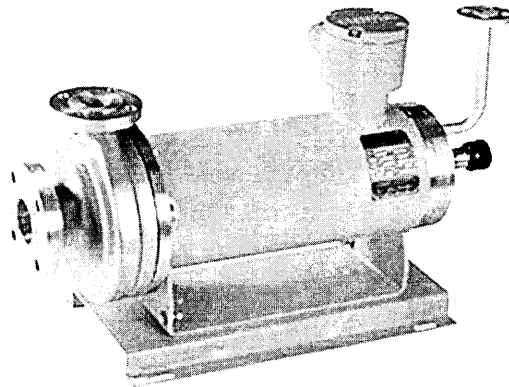
Bagian-bagian utama dari *mud pump* :

- a) *Prime Mover* atau mesin penggerak, pada umumnya jenis mesin *diesel* yang dilengkapi dengan *Power Take Off* (PTO) agar supaya dapat memutuskan atau menghubungkan mesin penggerak dengan *mud pump*.
- b) *Mud pump* jenis pompa *piston double acting* dua silinder horisontal dilengkapi empat *inlet valve* dan empat *outlet valve*, digerakkan oleh mesin *diesel* melalui *Power Take Off* dan V-belt. Untuk menjaga kerapatan antara piston dengan *liner* maka piston dari *mud pump* dilengkapi dengan *rubber piston*, dan pada *piston* rodyang dihubungkan dengan *cross head* diberi *piston rod seal* dan karet serta *gland packing*.
- c) *Trailer* sebagai tempat kedudukan dari *mud pump* dan *prime mover* untuk memudahkan proses mobilisasi atau demobilisasi menuju atau dari lokasi pengeboran.
- d) Aksesoris *mud pump* yang terdiri dari *discharge hose* diperlukan untuk menghubungkan *mud pump* dengan *swivel/spindle head*

dan *suction hose with stariner*, untuk menghisap lumpur pengeboran dari *mud-pit*.

2) *Reverse Circulation (RC) Pump*

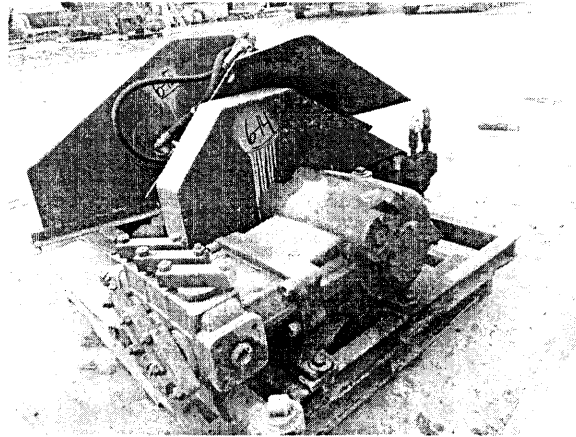
Metode sirkulasi terbalik (*reverse circulation (RC) pump*) adalah sistem pengeboran dimana *fluida* bor dari *mudpit* bergerak melalui rongga anulus, kemudian kembali lagi ke permukaan akibat gaya hisap pompa melalui bagian dalam setang bor. Sama seperti *mud pump*, *RC pump* juga berfungsi untuk mengedarkan lumpur pengeboran selama proses pengeboran berlangsung. *RC pump* adalah jenis *centrifugal pump*, berfungsi untuk menghisap lumpur pengeboran yang membawa *cutting* pengeboran dari lubang pengeboran melalui *suction hose* yang dihubungkan dengan *swivel* atau *spindle head* yang dihubungkan dengan *kelly* atau *drill pipe*, *drill collar* dan mata bor yang berada di dalam lubang bor, lumpur pengeboran diendapkan pada *mud pit* pertama dan disaring pada *mud pit* kedua, selanjutnya lumpur pengeboran yang telah bersih dialirkan kembali kedalam lubang pengeboran untuk disirkulasikan lagi seperti semula. *Driller* dan *crew* pengeboran harus selalu mengontrol agar supaya lubang bor selalu terisi penuh dengan lumpur pengeboran sehingga sirkulasi lumpur pengeboran dapat berlangsung dengan lancar.



Gambar *Reverse Circulation Pump*

3) *Foam Pump*

Apabila proses pengeboran menggunakan sistem *direct foam air flush*, pengeboran yang menggunakan *foam* (busa atau buih) sebagai media mengangkat *cutting* pengeboran keluar dari lubang pengeboran, dipakai *foam pump* untuk menghasilkan buih. *Foam pump* adalah sejenis pompa piston kecil dengan kapasitas 14-22 lpm dan tekanan kerja sebesar 220 - 500 *psi* yang digerakkan motor *diesel*.

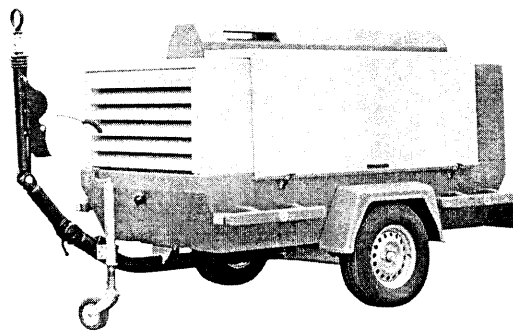


**Gambar *Foam Pump***

Selama proses pengeboran berlangsung, *foam* dihasilkan dengan cara menginjeksikan cairan *additive* yaitu campuran antara STPP (*Tripoly Pospat*) dengan air pada *hose* yang menghubungkan *air compressor* dengan *swivel* atau *spindel head* dari *drilling rig*, sehingga akibat semburan udara bertekanan tinggi dari *air compressor* maka cairan *additive* akan berubah menjadi busa atau buih yang perlu diperhatikan adalah bahwa tekanan kerja dari *foam pump* harus lebih besar dari tekanan kerja dari *air compressor*.

4) *Air compressor*

Peralatan *air compressor* diperlukan untuk melaksanakan uji *air lift test* dan tahapan pembersihan sumur (*well development*) pada pelaksanaan pekerjaan pengeboran. Sebelum dilakukan pekerjaan konstruksi yaitu pemasangan pipa dan *screen* pada sumur tersebut, maka perlu dilakukan *air lift test* terlebih dulu yaitu proses pengujian untuk mengetahui apakah suatu sumur bor mempunyai kapasitas yang cukup memadai untuk dikembangkan menjadi sumur produksi.



**Gambar *Air compressor***

Untuk melaksanakan proses ini dilakukan pemasangan *temporary casing* pada sumur tersebut, kemudian di dalamnya dipasang *air pipe* atau *drill pipe* dan pada *air pipe* atau *drill pipe* tersebut dipasang *hose* dan dihubungkan dengan *air compressor*. Pada *temporary casing* yang paling atas yang muncul diatas permukaan tanah dipasang *casing head* yang berfungsi untuk mengarahkan agar kran air yang akan keluar dari *temporary casing* dapat mengalir kedalam bak pengukur *V-notch*.

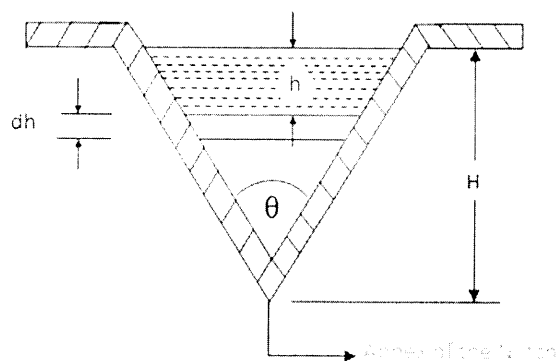


Fig : Triangular Notch

### Gambar Sekat Ukur Thompson V-Notch

alat ukur Thompson atau *V-Notch* secara sederhana dapat dilihat pada gambar diatas. Rumus umum yang menghubungkan ketinggian muka air (*h*) dan debit (*Q*) untuk alat ukur Thompson atau *V-Notch* adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{8}{15} C_d \cdot \tan \frac{\theta}{2} h^{5/2} \sqrt{2 \cdot g}$$

- Dimana :
- Q* = debit air (m<sup>3</sup>/s)
  - C<sub>d</sub>* = koefisien kontraksi (0,5-0,6)
  - H* = tinggi muka air (m)
  - θ* = sudut ambang tajam
  - g* = gravitasi (g=9,8 m/s<sup>2</sup>)

ketika *air compressor* dioperasikan, udara dengan tekanan tinggi dari *air compressor* akan mengalir kedalam sumur melalui *air pipe* atau *drill* dan menekan air di dalam sumur, sehingga akan mengalir ke atas di dalam *temporary casing* dan keluar dari *casing head* ke dalam

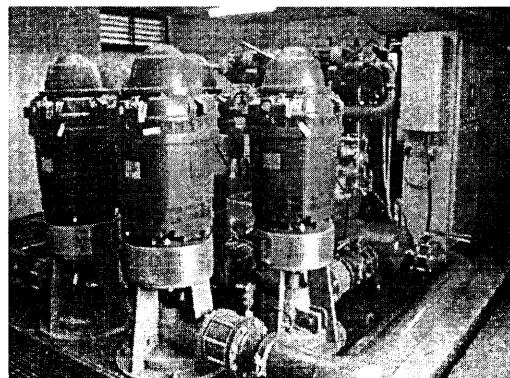
bak pengukur *V-notch*. Dengan demikian, kapasitas air yang keluar dari bak pengukur *V-notch* adalah kapasitas dari sumur tersebut yang dapat diketahui debitnya. Pada umumnya nilai kapasitas ini akan meningkat sesudah dilakukan pembersihan sumur (*well development*).

*Well Development* adalah proses pembersihan dinding sumur dari lumpur pengeboran agar supaya pori-pori dari akuifer dapat terbuka dengan mudah mengalirkan air ke dalam sumur. *Well development* dilaksanakan setelah sumur selesai dikonstruksi pengisian *gravel pack*. *Well development* dilaksanakan dengan mengalirkan udara bertekanan tinggi dari *air compressor* ke dalam lubang sumur melalui *swivel/spindle head*, *air pipe/drill pipe* dan memancar keluar melalui *jetting tool* yang digerakkan naik turun sepanjang posisi *screen* dari sumur tersebut. Dengan demikian, lumpur pengeboran yang menempel pada dinding sumur bersama-sama dengan air dari akuifer akan terbawa oleh aliran udara dari *air compressor* menyembur ke atas keluar dari sumur bor. Demikian proses ini dilaksanakan secara terus-menerus, sehingga dinding sumur pada lapisan-lapisan akuifer benar-benar bersih dari lumpur pengeboran yang ditandai dari air yang memancar keluar dari sumur telah jernih.

Kapasitas *air compressor* yang diperlukan untuk melaksanakan *well development* maupun uji *air lift* pada pembuatan sumur dengan ukuran diameter 12" dengan kedalaman pengeboran 100 meter, sebagai contoh adalah 360 - 425 cfm pada tekanan 180 *psi*.

#### 5) *Mesin Pompa*

Mesin pompa digunakan untuk melaksanakan pekerjaan uji pemompaan yang meliputi uji pemompaan bertingkat (*Step Down Test*) maupun uji pemompaan menerus (*Long Periode Test*). Pelaksanaan proses uji pemompaan dapat dimulai sesudah pekerjaan *well development* pada sumur tersebut dilaksanakan dan dalam kondisi benar-benar bersih.



Gambar *Vertical Turbine Pump*

Mesin pompa yang digunakan pada pengujian ini pada umumnya adalah jenis *vertical turbine pump*, karena pada pompa jenis ini pengaturan debit pemompaan dapat dilakukan dengan mudah. Adapun alat ukur yang dapat digunakan pada uji pemompaan adalah alat ukur jenis bak *V-notch* atau pipa *Orifice*.

Bagian-bagian utama dari *Vertical Turbine Pump*:

- a) *Prime mover* atau mesin penggerak, berupa mesin *diesel* yang terpasang pada *base frame*.
- b) Sistem transmisi untuk menghubungkan antara *engine* dengan pompa terdiri dari *Power Take Off*, *propeller shaft* dan *gear head*.
- c) Unit pompa jenis *vertical turbine pump* lengkap dengan *column pipe*, *line shaft*, *bearing retainer* dan *discharge head*.

Selain *vertical turbine pump*, pompa jenis lain yaitu *submersible* juga dapat digunakan untuk melaksanakan uji pemompaan. Bagian-bagian utama dari *Submersible Pump*:

- a) *Generator set*.
- b) *Panel control*.
- c) Unit pompa

6) *Truck Crane*

*Truck crane* diperlukan pada saat mobilisasi peralatan pengeboran menuju lokasi, pada saat operasi pengeboran maupun saat demobilisasi peralatan pengeboran.

Pada saat mobilisasi dan demobilisasi *truck crane* berperan untuk *loading* dan *unloading* peralatan/aksesoris pengeboran seperti *pipe*, *kelly*, *drill collar*, mata bor, *bentonite*, *temporary casing air pipe*, pipa-pipa sumur, *screen* dan sebagainya, yang apabila dilakukan secara manual tentu akan membutuhkan tenaga yang diperlukan untuk menyiapkan lumpur pengeboran.

Bagian-bagian utama dari *truck crane* adalah sebagai berikut:

- a) Motor *diesel* sebagai *prime mover*.
- b) *Power take off (PTO)* berfungsi untuk mengatur sistem operasi peralatan. Apabila *PTO* masuk berarti peralatan berfungsi sebagai *crane*, sedangkan apabila off berarti peralatan berfungsi sebagai *truck*.
- c) Hidrolik sistem dari *crane*, meliputi *jack*, *boom*, *jab*, *swing* dan *hoist cable* dan *handle control* untuk mengoperasikan peralatan

tersebut.

- d) Unit sasis, sebagai tempat kedudukan dari semua peralatan yaitu *prime mover*, unit *cabin truck*, unit *crane* dan unit cargo.



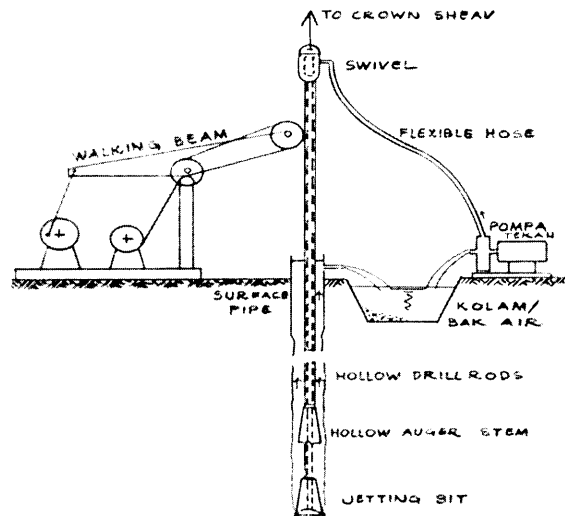
Gambar Truck Crane

#### Jenis Metode Pengeboran

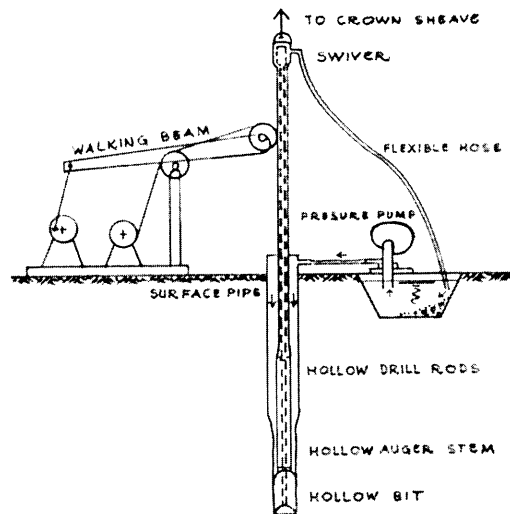
Metode pengeboran berdasarkan dari cara kerja alat bor yang digunakan dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

- a) Pengeboran Tumbuk (*Percussive Drilling*)

Mekanisme ini dioperasikan dengan cara mengangkat dan menjatuhkan alat bor berat secara berulang-ulang kedalam lubang bor sehingga lubang bor terbentuk akibat mekanisme tumbukan dan beban rangkaian bor.



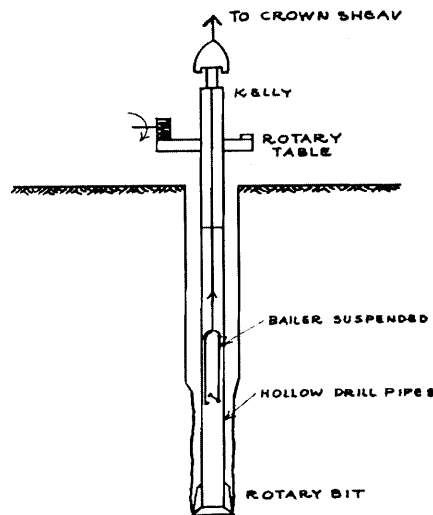
Gambar Pengeboran Tumbuk Hidrolik, Dengan Sirkulasi Langsung



**Gambar Pengeboran Tumbuk Hidrolik Dengan Sirkulasi Terbalik**

b) Pengeboran Putar (*Rotary Drilling*)

Jenis pengeboran ini dilakukan dengan cara lubang bor dibor dengan mekanisme putar dan disertai pembebanan pada alat bornya.



**Gambar Pengeboran Putar Dengan Bailer**

c) Pengeboran Putar Hidraulik (*Hydraulic Rotary Drilling*)

Bor putar hidrolik bekerja yang mana lubang bor dibentuk dari kombinasi antara mekanisme putar, tekanan hidrolik, dan beban setang bor.

c. Pemilihan Material Pengeboran

1) Bahan Lumpur Pengeboran

Bahan untuk campuran yang dipakai sebagai cairan lumpur pengeboran air harus mempunyai sifat dan kemampuan:

- a) mengangkat *cutting* pengeboran dari dalam sumur ke permukaan
- b) membawa *cutting* dan material pengeboran yang berat pada keadaan suspensi sewaktu sirkulasi dihentikan
- c) mendinginkan dan melumasi drilling bit
- d) membuat dinding (*wallcake*) pada lubang pengeboran
- e) mengontrol tekanan formasi dan air dalam formasi
- f) melepaskan pasir dan *cutting* di permukaan (*mudpit*)
- g) berfungsi sebagai penahan sebagian berat dari *drill pipe* dan *casing*
- h) mengurangi efek negatif pada formasi
- i) mendapatkan informasi formasi batuan
- j) media logging geofisika (pendugaan geofisika sumur)

Lumpur untuk pengeboran air tanah berbeda sifat dengan lumpur yang dipakai dalam pengeboran minyak. Banyak ragam dan merek bahan material pengeboran yang beredar di pasaran antara lain *bentonite*, *polimer*, *Sodium Carboxy (methy cellulose)* dan lain-lain.

Guna mengontrol lumpur pengeboran diperlukan pengamatan kekentalan (*viscosity*), kerapatan (*density*), kekuatan ikat (*gel strength*) dan sifat saringan (*filter cake*) dan derajat keasaman (pH). Penggunaan corong Marsh (*Marsh Funnel*) adalah suatu metode sederhana bagi penghitungan kekentalan lumpur.

Corong dipegang secara tegak dengan menutup keluaran (*outlet*) tuangkan *mud* melalui saringan tirai (*screen*) sampai penuh ke dasarnya. Bukalah *jar* dan hitunglah waktu yang dibutuhkan 1000 cc *mud* mengalir ke alat atau mangkuk ukur. Kekentalan pada corong ini dinyatakan dalam detik. Kekentalan air jernih dengan suhu 70°F adalah 26 detik/1.000 cc.

## 2) Bahan Pengisi Dinding Sumur

Untuk kepentingan stabilisasi formasi di ruang melingkar sekeliling pipa buta, pipa saringan agar diisi dengan material porous yang mempunyai keluluhan air lebih besar daripada formasi di sekelilingnya. Hal ini akan mencegah material-material lanau dan lempung di atas lapisan akuifer menjadi rongga atau menjadi longsor ketika pekerjaan penyempurnaan sumur di mulai. Bahan ini berupa material kerikil atau kerakal dengan sortasi dan gradasi terpilah baik yang dinamakan selubung kerikil (*Gravel Pack*).

Secara umum disarankan untuk formasi dengan koefisien keseragaman

(Cu) lebih dari 3 dan ukuran butir lebih besar dari 0,3 mm adalah :

$$C_u = \frac{D_{40}}{D_{90}}$$

Keterangan:

Cu = koefisien keseragaman

D<sub>40</sub> = ukuran lapis yang dapat menahan 40 persen, atau 60 persen lolos dari material pembawa air (akuifer)

D<sub>90</sub> = ukuran lapis yang dapat menahan 90 persen atau 10 persen lolos dari material pembawa air (akuifer), (juga disebut ukuran butir efektif)

Cara menghitung volume bahan kerikil pengisi konstruksi sumur bor, penyekat semen atau lempung dipergunakan rumus:

$$V = 0,785 \times R^2 \times D$$

Dimana

V = volume (m<sup>3</sup>)

R = diameter sumur bor (m)

D = kedalaman sumur bor (m)



**Gambar Bahan Gravel Pack Siap Pakai**

Di dalam penyempurnaan sumur, bukaan saringan biasanya dipilih dari ukuran butir yang tertinggal di dalam saringan sekitar 40 - 50 persen dari formasi dan membiarkan 60 persen darinya melalui bukaan selama proses penyempurnaan. Dimana besaran formasi terdiri dari pasir halus seragam yaitu contoh  $C_u < 2$  dan ukuran butir efektif kurang dari 0,3 mm, kerikil pembalut dari sumur disediakan secara buatan dengan kerikil berbagai besaran atau pasir kasar yang tidak terdapat pada formasi.

Didalam mendesain kerikil pembalut, uji gradasi besaran harus digambarkan untuk tiap-tiap contoh terpilih pada lembar kurva uji gradasi besaran dari hasil ayakan sampel pengeboran. Dari grafik bagian-

bagian yang digunakan untuk mendesain kerikil pembalut ditentukan dari gradasi paling halus.

Penentuan gradasi besaran dari grafik :

- $D_{10}$  = garis tengah rata-rata dari ukuran 10 persen lolos
- $D_{30}$  = garis tengah rata-rata dari ukuran 30 persen lolos
- $D_{50}$  = garis tengah rata-rata dari ukuran 50 persen lolos
- $D_{60}$  = garis tengah rata-rata dari ukuran 60 persen lolos
- $C_u$  = koefisien keseragaman  
= garis tengah dari ukuran butiran 60 persen lolos saringan  
garis tengah dari ukuran butiran 10 persen lolos saringan

sehingga dalam mendesain gradasi dari kerikil pembalut :

- Jika formasi bersih dan  $C_u$  kurang dari 2,5 maka rumus yang dipakai:
  - Ukuran 30 persen lolos x 4
  - Ukuran 50 persen lolos x 5
- (b) Jika formasi berisi lanau dan lempung serta  $C_u$  lebih dari 2,5 kali (tidak seragam) maka rumus yang dipakai:
  - Ukuran 30 persen lolos x 7
  - Ukuran 50 persen lolos x 8

### 3) Bahan Pipa Konstruksi Sumur

Beberapa jenis pipa dengan aneka diameter (dari 1,5" - 24") secara umum dipakai untuk pemasangan konstruksi sumur eksplorasi, sumur uji maupun sumur produksi air tanah dari jenis bahan: besi hitam (*black steel pipe*), pipa *galvanish*, *stainless steel*, *low carbon steel*, PVC (*poly vinyl carbonte*) dan *Fiberglass Epoxy*; pipa-pipa tersebut dipergunakan untuk sebagai pipa penghantar pompa (*pump chamber pipe*), pipa buta (*blank pipe*) maupun pipa saringan (*screen pipe*).

Pipa-pipa ini harus memenuhi kriteria mendasar yaitu :

- a) Mampu menyalurkan atau menghantarkan air dengan mudah
- b) Mempunyai harga yang relatif ekonomis
- c) Tidak mudah rusak, kuat terhadap tekanan per lapisan, tahan korosi
- d) Mempunyai usia pemakaian panjang
- e) Pemasangan mudah

Dalam pengeboran, pipa *casing* mempunyai fungsi untuk menjaga lubang bor dari keruntuhan dan peralatan pengeboran lain dari gangguan-gangguan. Sedangkan saringan (*screen/filter*) mempunyai fungsi untuk

mencegah masuknya partikel-partikel dari air formasi lapisan akuifer sehingga hanya air yang dapat mengalir melalui sumur.

**Tabel Contoh Bahan Material Konstruksi Sumur**

<b>Bahan pipa</b>	<b>Karakter</b>
Baja Ringan	Bahan konvensional, biaya terendah, kekuatan tinggi. Subjek terhadap korosi di air agresif.
Baja Ringan Berlapis	Secara signifikan, biaya lebih tinggi dari baja biasa dan ketahanannya sedikit lebih baik untuk air yang sangat korosif.
<i>Fibreglass</i>	Kurang kuat daripada baja (pada awalnya) dan dua kali lebih mahal. Sangat tahan terhadap aus dan praktis untuk kedalaman
Kayu	Sifat dasar seperti halnya yang <i>fibreglass</i> , namun secara umum menyediakan antara lain di bagian <i>hemicylindrical</i> dan sedikit agak lebih sulit untuk pemasangan. ~
Polivinil Klorida plastik ( <i>Polyvinyl chloride plastic</i> )	Kurang kuat yang diperkuat plastik, tetapi mirip dalam biaya dan ketahanan terhadap korosi
Asbes Semen	Biaya dan ketahanan korosi mirip plastik, tetapi bahan yang agak lebih rapuh.
Aluminium	Kekuatan mendekati baja, biaya sekitar 2,5 kali lebih tinggi. Ketahanan korosi yang lebih baik untuk banyak air tanah.
<i>stainless steel</i> (300 series)	Kekuatan tinggi pada 4-6 kali biaya baja. Sangat tahan terhadap korosi
<b>Bahan Saringan</b>	<b>Karakter</b>
Baja ringan	Biaya awal terendah, tetapi ketahanan terhadap korosi sangat kecil. Tidak dianjurkan untuk layanan jangka panjang.
Kuningan kuning, Kuningan merah, perunggu dan monel	Biaya 3 untuk 5 kali baja ringan. Lebih mudah beradaptasi daripada baja untuk desain dibungkus kawat yang unggul dan umumnya lebih tahan terhadap korosi, kecuali di perairan Derek pH yang tinggi karbon dioksida konten.
Aluminium	Sekitar 2.5 hingga 3 kali biaya dan perkiraan ketahanan baja.
<i>stainless steel</i> (300 series)	Biaya 4-6 kali baja ringan, umumnya disediakan dalam desain efisien dibungkus kawat dan pada dasarnya tidak terpengaruh oleh kebanyakan air tanah.
Resin epoksi terikat <i>Fiberglass</i> atau kayu	Slotted Desain, 2.5 to 3.5 kali biaya baja. Superior ketahanan terhadap korosi dan praktis untuk kedalaman setidaknya 300 m.

Khusus pipa saringan dikenal buatan dari pabrik dan buatan manual. Buatan pabrik biasanya *wirewound screen* yaitu kawat berbentuk "V" dipasang melingkar secara horizontal melilit batang-batang baja penyangga vertikal (*supporting rod*) dan dilas secara otomatis (*automatic fusion welding*) dengan jarak tertentu dan seragam. Keunggulan dari bentuk "V" adalah menciptakan lubang di luar dan membesar ke dalam sehingga dapat menyaring lebih sempurna karena material sedang-kasar (butiran pasir) tidak akan terjepit di tengah lubang dan mempunyai *areal* bukaan pipa (*Opening area*) besar. Pada Tabel 2 diberikan contoh tentang persentase bukaan pipa saringan jenis *wirewound*.

**Tabel Prosentase Bukaan Pipa Saringan Wirewound**

<i>Open Area ( % )</i>									
No	Uku- ran	Slot 10 (0,25 mm)	Slot 20 (0,5 mm)	Slot 30 (0,75 mm)	Slot 40(1 mm)	ID (mm)	OD (mm)	Berat (kg)	Pan- jang (mm)
<i>LCG Material</i>									
1	2"	14,09	24,70	32,98	39,62	52	61	9,73	2,925
2	3"	11,10	19,98	27,24	33,30	78	88	11,89	2,925
3	4"	11,10	19,98	27,24	30,67	101	111	14,93	2,925
4	6"	9,96	18,11	24,91	25,34	153	167	31,57	2,925
5	8"	7,82	14,51	20,29	23,50	205	221	55,61	2,925
6	10"	7,13	13,32	18,73	23,50	256	276	79,25	2,925
7	12"	7,13	13,32	18,73	23,50	305	325	98,42	2,925
8	14"	5,64	10,68	15,21	19,30	338	362	120,5 1	2,925
<i>Stainless Steel Material</i>									
1	2"	14,09	24,70	32,98	39,62	52	61	9,15	2,925
2	3"	11,10	19,98	27,24	33,30	78	88	11,52	2,925
3	4"	11,10	19,98	27,24	30,67	101	111	15,06	2,925
4	6"	9,96	18,11	24,91	25,34	153	166	29,25	2,925
5	8"	7,82	14,51	20,29	23,50	205	217	37	2,925
6	10"	7,13	13,32	18,73	23,50	256	273	76,15	2,925
7	12"	7,13	13,32	18,73	23,50	305	326	94	2,925
8	14"	5,64	10,68	15,21	19,30	338	364	109	2,925

d. Pemilihan Perlengkapan Konstruksi Lainnya

Beberapa jenis bahan perlengkapan konstruksl sumur yang penting adalah pelurus rangkaian konstruksl pipa (*centralizer*), penyumbat bawah pipa (*bottom plug*), penyambung rangkaian konstruksi pipa jambang-pipa buta (*Reducer*), penutup konstruksl pipa sumur (*well cap*), semen penutup di permukaan dan lain-lain bahan atau material lainnya yang tidak dijelaskan pada buku ini. Bahan tersebut di atas diuraikan secara ringkas sebagai berikut:

1) *Centralizer*

*Centralizer*, dibuat dari plat besi kegunaannya untuk meluruskan rangkaian konstruksi pipa sumur, dipasang baik pada rangkaian pipa jambang (*pump chamber*) maupun pada pipa buta (*blank pipe*).

2) *Bottom Plug*

*Bottom Plug*, ada dua macam bentuk yaitu berbentuk penutup dan bentuk penyumbat. Untuk rangkaian pipa besi terbuat dari tutup besi yang dipasangkan pada bagian paling bawah dari konstruksi pipa sumur. Untuk pipa jenis PVC, *Fiberglass* biasanya dibuat dari beton yang dicor didalam pipa buta dia 6" sepanjang  $\pm$  1-2 meter. Kegunaan *bottom plug* untuk menutup rangkaian pipa agar partikel pasir tidak tersedot ke dalam pipa sewaktu pemompaan berlangsung, dan untuk rangkaian pipa PVC bertindak sebagai bahan pemberat sewaktu pelaksanaan pemasangan konstruksi pipa sumur.

3) *Reducer*

*Reducer*, adalah jenis pipa penyambung yang di salah satu sisi mempunyai diameter 10"-12" dan di sisi yang lain mempunyai diameter 4"-6", kegunaannya untuk menyambung pipa jambang dengan pipa buta atau saringan.

4) Saringan (*Screen*)

Hal yang perlu diperhatikan dalam desain saringan sumur juga perlu mempertimbangkan hal berikut:

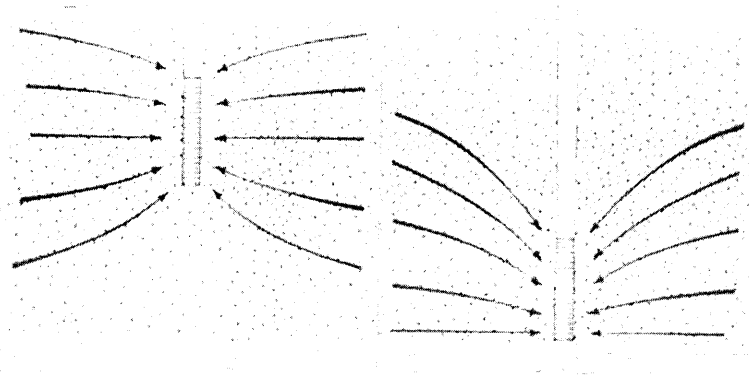
- a) Kecepatan masuk minimum
- b) Daerah terbuka maksimum saringan
- c) Desain yang benar slot untuk menyesuaikan akuifer atau *gravel pack* materi
- d) Pemeliharaan periodik
- e) Pemilihan bahan saringan untuk ketahanan korosi

5) Panjang Saringan

Panjang optimum saringan dengan baik untuk sumur tertentu didasarkan pada ketebalan akuifer, tersedia mencairkan, stratifikasi dalam akuifer, dan jika akuifer adalah *unconfined* atau terbatas. kriteria untuk menentukan panjang saringan untuk homogen dan heterogen, terbatas dan *air-table* akuifer sumur dijelaskan di bagian berikut.

Prinsip desain dasar adalah untuk menyaring seluruh akuifer sebagai asumsi pertama. Pendekatan ini tidak efisien di:

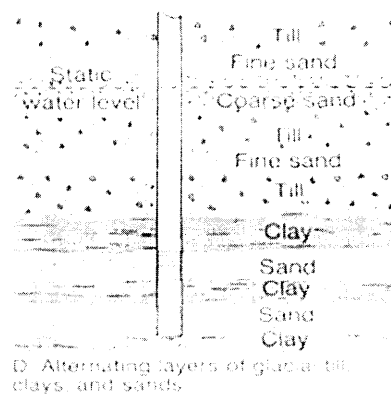
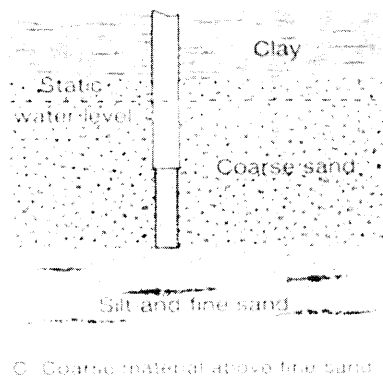
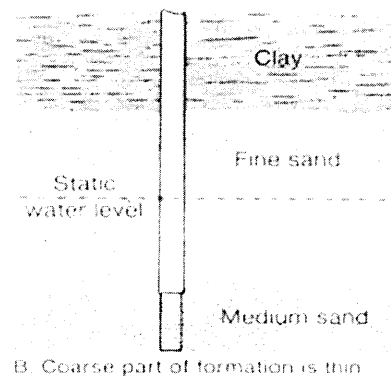
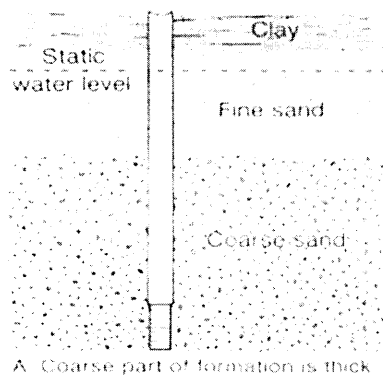
- a) akuifer sangat tebal - menggunakan perkembangan yang ada memiliki beberapa pedoman; dan
- b) akuifer terkekang dangkal.



**Gambaran Air yang Masuk ke Sumur Kurang dari Ketebalan Penuh Akuifer**

Identifikasi bidang akuifer untuk saringan sumur sebagian besar akan dibuat atas dasar *log* litologi. Lempung dan bagian yang tidak produktif biasanya diputar sebagai penutup sumur karena biaya lebih murah daripada dijadikan saringan. Bentuk yang tak terkonsolidasi dengan ukuran butir kurang dari desain pembentukannya harus dibawa keluar. Ini berfungsi untuk:

1. Melindungi bahan dari yang terkikis sehingga menempatkan *casing* di bawah tekanan.
2. Melindungi pompa dari efek buruk dari memompa pasir.



**Gambar Posisi Saringan Sumur pada Berbagai Bentuk Lapisan**

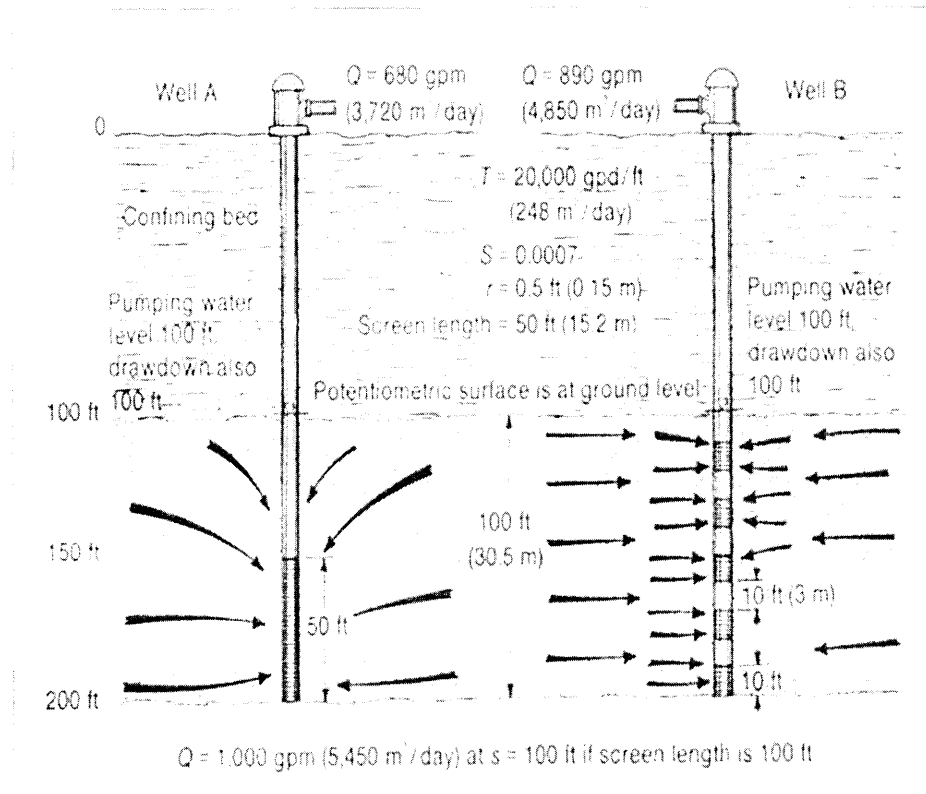
i. Akuifer Terbatas Homogen

Penarikan maksimum dalam sumur di akuifer terbatas perlu dibatasi pada bagian atas akuifer. Memberikan tingkat pemompaan tidak akan menginduksi penarikan di bawah bagian atas akuifer (akuifer tidak menjadi terbatas), 70 sampai 80 persen dari ketebalan unit air-bantalan dapat disaring.

Aturan umum untuk panjang saringan dalam akuifer terbatas adalah sebagai berikut:

- Jika ketebalan akuifer kurang dari 8 m, saringan 70% dari akuifer.
- Jika ketebalan akuifer adalah (8-16) m, saringan 75% dari akuifer.
- Jika ketebalan akuifer lebih besar dari 16 m, saringan 80% dari akuifer.
- Melindungi pompa dari efek buruk dari memompa pasir.

Dalam banyak aplikasi, sepenuhnya *screening* tebal, akuifer umumnya seragam akan *prohibitively* mahal atau akan menghasilkan tingkat kecepatan masuk melalui saringan juga yang terlalu lambat. Oleh karena itu, untuk hasil terbaik, bagian saringan perlu berpusat atau dibagi menjadi beberapa bagian sebesar panjang dan diselingi dengan bagian-bagian pipa kosong untuk meminimalkan konvergensi garis aliran yang mendekati sumur bor, dan meningkatkan kinerja baik



**Gambar Contoh Garis Aliran pada Penerapan Lokasi Saringan Sumur yang Berbeda**

- ii. **Akuifer Terbatas Heterogen**  
 Dalam heterogen atau bertingkat akuifer terbatas, zona paling permeabel perlu disaring. Zona ini dapat ditentukan oleh satu atau beberapa metode berikut:
  - a. Tes permeabilitas (tinggi jatuh dan tes tinggi tetap)
  - b. Analisis saringan dan perbandingan kurva-butir.
    - 1) Jika lereng kurva-butir yang hampir sama, permeabilitas relatif dua atau lebih sampel dapat diperkirakan dengan kuadrat dari ukuran efektif masing-masing sampel. Misalnya, pasir yang memiliki ukuran butir yang efektif dari 0,2 mm akan memiliki sekitar 4 kali konduktivitas hidrolik pasir yang memiliki ukuran butir yang efektif dari 0,1 mm.
    - 2) Jika dua sampel memiliki ukuran yang efektif yang sama, kurva yang memiliki kemiringan curam biasanya memiliki konduktivitas hidrolik terbesar.
  - a. Survei kecepatan bor sumur, jika memungkinkan, untuk memulai produksi sumur sebelum penyelesaian atau menginstal diperpanjang bagian casing berlubang atau saringan di lubang bor;
  - b. Interpretasi log geofisika lubang bor;

- c. Dalam akuifer heterogen atau bertingkat, (80-90)% dari lapisan paling permeabel perlu disaring.

iii. Akuifer Bebas Homogen

- a. Saringan bawah sepertiga dari zona jenuh dalam akuifer bebas homogen biasanya menyediakan desain optimal.
- b. Dalam beberapa sumur, skrining bagian bawah setengah dari lapisan jenuh mungkin lebih diinginkan untuk memperoleh kapasitas khusus yang lebih besar (jika efisiensi juga lebih diinginkan daripada hasil maksimum).
- c. Dalam sumur air-meja, lebih besar kapasitas khusus diperoleh dengan menggunakan saringan selama mungkin; Oleh karena itu, konvergensi garis aliran dan kecepatan masuk melalui saringan dengan baik adalah diminimalkan. Namun, ada penarikan lebih tersedia ketika saringan lebih pendek digunakan.

6) Diameter Saringan Sumur

Beberapa teori mengatakan bahwa batas kecepatan *upflow* 1,5 m/s akan menghasilkan kehilangan energi *upflow* dengan wajar pada sumur.

Prosedur desain saringan Diameter

- a) Desain kerugian *upflow*. Untuk mengurangi desain kerugian *upflow*, pilih ukuran saringan yang optimum disesuaikan dengan tinggi air pemompaan keseluruhan
- b) Jika biaya peningkatan diameter signifikan, dan tidak ada penurunan yang signifikan timbul kerugian *upflow*, penggunaan diameter besar hanya akan disarankan jika ada masalah sebagai berikut:
  - i. kerusakan sumur
  - ii. kerak
  - iii. korosi pada sumur
- c) Diameter saringan dipilih untuk memenuhi prinsip penting: total luas saringan bukaan perlu disediakan sehingga kecepatan masuk tidak akan melebihi standar desain. Diameter dapat bervariasi setelah panjang dan ukuran bukaan saringan ini dipilih. Seringnya panjang saringan dan ukuran slot yang ditetapkan oleh karakteristik alam sehingga diameter saringan adalah variabel utama.
- d) Tes laboratorium dan pengalaman menunjukkan bahwa jika kecepatan masuk saringan dipertahankan sekitar 0,03 m / detik:
  - i. Kerugian gesekan di bukaan saringan akan diabaikan.
  - ii. Tingkat inkrustasi akan diminimalkan.
  - iii. Tingkat korosi akan diminimalkan.

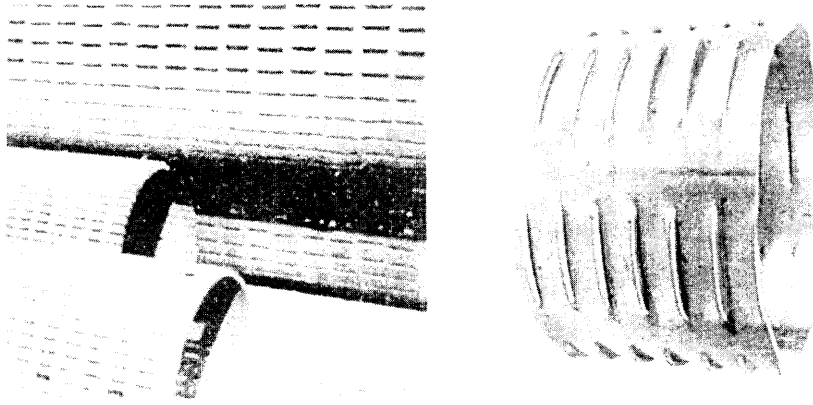
- e) Kecepatan masuk adalah sama dengan hasil yang diharapkan atau diinginkan dibagi dengan total luas bukaan di saringan. Jika kecepatan masuk lebih besar dari 0,03 m / detik. Diameter saringan perlu ditingkatkan untuk memberikan daerah terbuka yang cukup sehingga kecepatan masuk adalah sekitar 0,03 m / detik. Pompa harus diatur di bagian atas saringan untuk desain ini.

#### 7) Tipe Lubang Saringan

Saringan sumur dibuat dari berbagai bahan dengan efektivitas penggunaan biaya yang berbeda-beda. Nilai saringan tergantung pada seberapa efektif itu berkontribusi keberhasilan sumur. Kriteria dan fungsi saringan sumur dibahas sebagai:

- i. Kriteria
  - Persentase lebih besar dari daerah terbuka
  - Slot *non-logging*
  - Tahan terhadap korosi
  - Kolom yang cukup dan kekuatan runtuhnya
- ii. Fungsi
  - Mudah dikembangkan
  - Kecenderungan berkerak minimal
  - Kerugian *head* rendah melalui layar
  - Memompa kontrol pasir di semua jenis akuifer

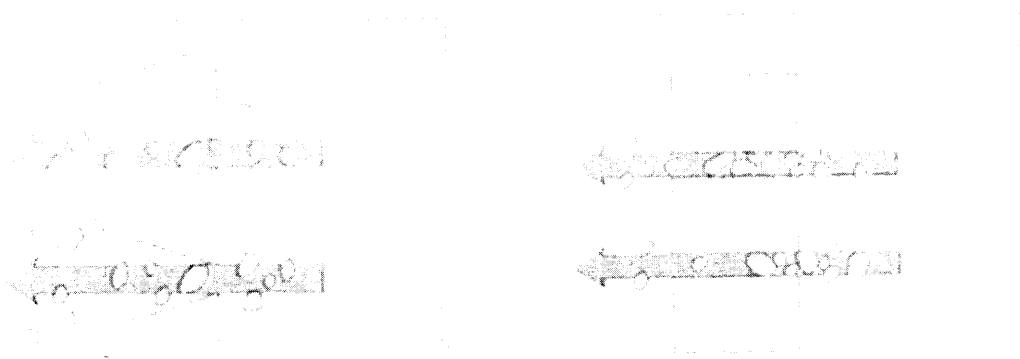
Memaksimalkan masing-masing kriteria dalam membangun layar saringan tidak selalu mungkin tergantung pada desain layar saringan yang sebenarnya. Misalnya, daerah terbuka dari *casing slotted* tidak dapat melebihi 11-12% atau kekuatan kolom akan cukup untuk mendukung penutup atasnya selama proses pemasangan saringan. Namun, daerah terbuka dari 30 sampai 50 persen yang umum untuk layar terus-slot dengan tanpa kehilangan kekuatan. Di perairan korosif tinggi, penggunaan plastik yang disarankan, tapi kekuatannya relatif rendah membuat penggunaannya tidak praktis untuk sumur dalam.



**Gambar Beberapa Contoh Saringan Terbuka**

Hal yang perlu diperhatikan bahwa:

1. Lubang saringan harus menerus di sekitar lingkaran saringan, memungkinkan aksesibilitas maksimum ke akuifer sehingga pemanfaatan efisien mungkin.
2. Lubang saringan harus diberi spasi untuk memberikan daerah terbuka maksimal konsisten dengan kekuatan persyaratan untuk mengambil keuntungan dari konduktivitas hidrolik akuifer.
3. Bukaan individual harus berbentuk-V dan melebar ke dalam untuk mengurangi penyumbatan slot dan ukuran untuk mengendalikan pasir memompa (lihat gambar berikut).

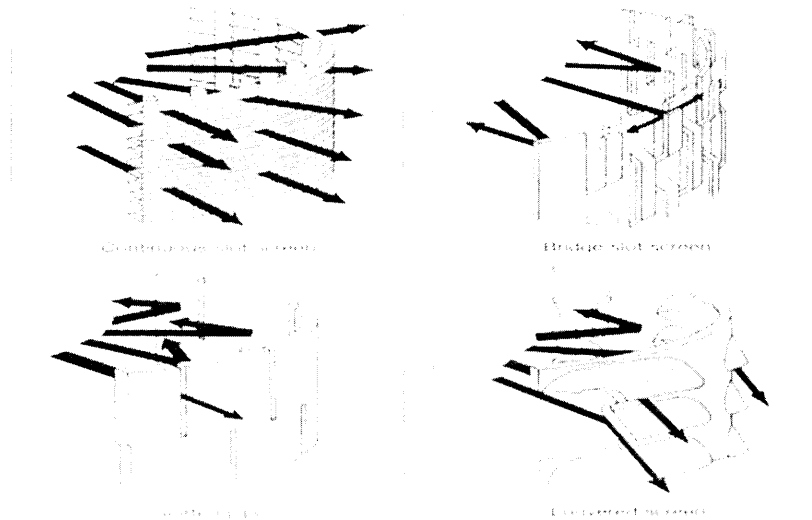


**Gambar Lubang Bukaan Saringan Berbentuk V dan Jika Berbentuk Lurus**

Ada 4 jenis tipe lubang saringan sumur, yaitu:

1. Lubang saringan menerus
2. Lubang saringan tipe *Bride*
3. Lubang saringan tipe *Louvered*
4. Lubang saringan bentuk Pipa

4. Lubang saringan bentuk Pipa

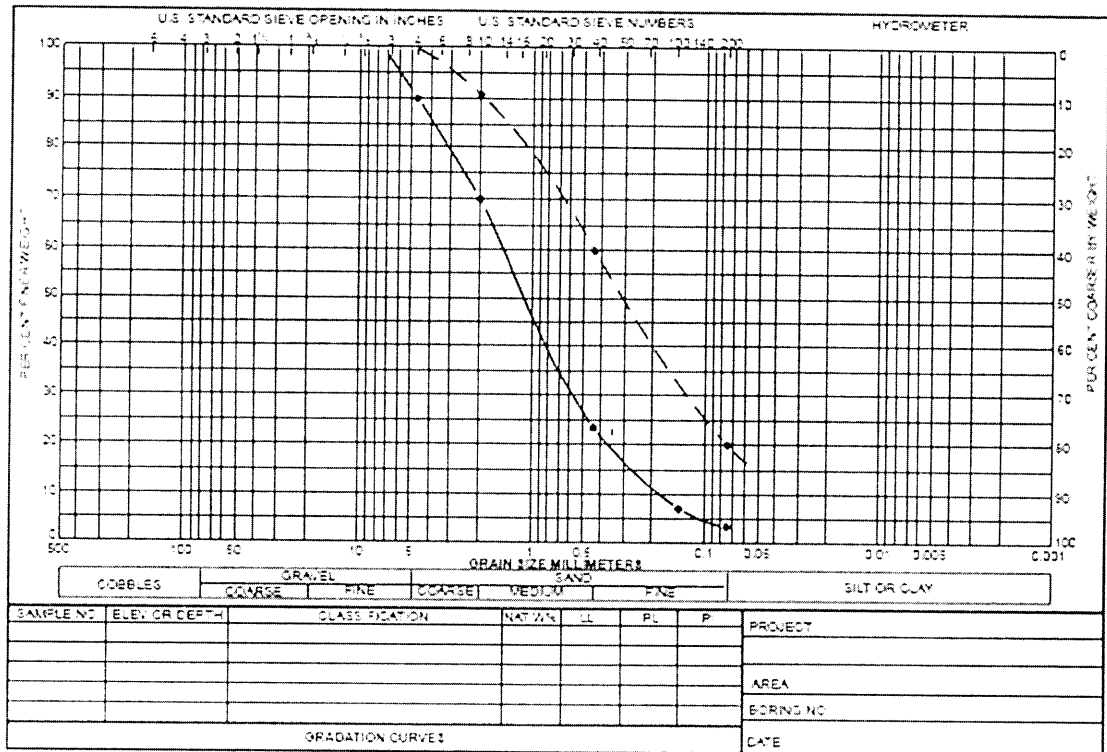


**Gambar Tipe-tipe lubang saringan sumur**

8) Ukuran Lubang Saringan

Untuk sumur alami, lubang saringan sumur harus dipilih dari analisis saringan untuk beberapa sampel dari pembentukan *air-bearing*. Untuk bentuk partikel homogen yang terdiri pasir halus, pasir seragam, ukuran lubang saringan (ukuran slot) dipilih sebagai ukuran yang akan lulus (50-60)% dari pasir yaitu 40-50% dipertahankan

- a. Nilai passing 60-persen perlu digunakan di mana air tanah tidak terlalu korosif, dan nilai probabilitas gagal kecil; dan
- b. Nilai passing 50-persen digunakan jika air korosif atau jika ada nilai probabilitas kegagalan cukup besar; nilai passing 50 persen adalah desain yang lebih konservatif.



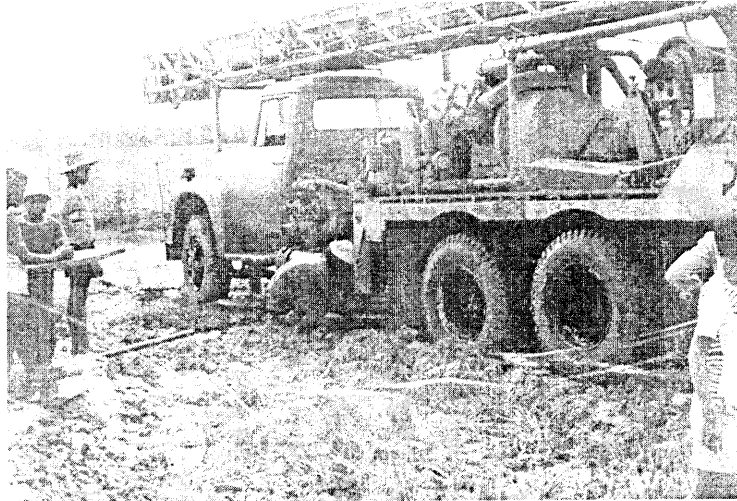
Gambar Contoh Grafik Pemilihan Ukuran Lubang Saringan untuk Jenis Pasir Seragam

Secara umum, pemilihan ukuran lubang saringan yang lebih besar memungkinkan pengembangan zona menjadi lebih tebal di sekitar saringan sumur. Namun, penggunaan ukuran lubang saringan yang lebih besar mungkin memerlukan lagi pengembangan lebih pada kondisi pasir bebas.

Pilihan yang lebih konservatif dari ukuran lubang saringan (misalnya, nilai kelulusan 50%) dipilih jika ada ketidakpastian probabilitas sampel yaitu jika akuifer ditutupi atau didasari oleh pasir halus, partikel pasir loose; atau jika waktu pengembangan sulit dilaksanakan.

#### D. TAHAPAN PELAKSANAAN PENGEBORAN SUMUR AIR TANAH

Tahapan yang paling utama dalam pemanfaatan air tanah adalah pelaksanaan pengeboran sumur air tanah, sebelum melakukan pelaksanaan pengeboran, hendaknya dipersiapkan dengan sebaik-baiknya dimulai dari peijinan, peralatan, sampai bahan material. Prasarana sumur bor setelah tahapan konstruksi ini diharapkan dapat dibangun dengan baik, sehingga menghasilkan prasarana yang dapat dioperasikan secara optimal untuk pemanfaatan air tanah selanjutnya.



**Gambar Segmen Pengeboran**

Standar-standar pelaksanaan pengeboran sumur yang sudah ada sebagai berikut:

1. SNI No. 03-3969-1995 Tentang Metode Pemboran Air Tanah Dengan Alat Bor Putar Sistem Sirkulasi Langsung
2. SNI No. 03-6454-2000 Tentang Metode Pengujian Ketegaklurusan Sumur
3. SNI No. 03-6469-2019 Tentang Tata Cara Pembangunan Sumur Produksi dengan Pengeboran Sistem Sirkulasi Langsung
4. SNI. 7751-2012 Tentang Tata Cara Pencatatan Akuifer dengan Metode *Logging* Geolistrik Tahanan Jenis Short Normal (SN) dan Long Normal (LN) dalam Rangka Eksplorasi Air Tanah
5. SNI No. 03-6377-2000 tentang Tata Cara Pencucian Sumur.
6. SNI No. 19-6744-2002 Tentang Tata Cara Pemilihan Metode Uji Sifat Hidraulik Akuifer dengan Teknik Sumur
7. SNI No. 03-6436-2000 Tentang Metode Pengujian Sumur Injeksi dan Pemompaan untuk Penentuan Sifat Hidraulik untuk Sistem Akuifer (Prosedur Lapangan)
8. SNI No. 19-6739-2002 Tentang Metode Pengujian untuk Penentuan Kapasitas Jenis dan Penaksiran Transmisivitas pada Sumur Uji
9. SNI No. 19-6743-2002 Tentang Metode Pengujian Sifat Hidraulik Akuifer Dengan Cara *Theis*
10. SNI No. 19-6740-2002 Tentang Metode Pengujian untuk Penentuan Transmisivitas Akuifer Tertekan dengan Cara Pemulihan *Theis*
11. SNI No. 2527:2012 Tentang Cara Uji Sifat Hidraulik Akuifer Terkekang dan Bebas dengan Metode *Jacob*
12. SNI No. 19-6742-2002 Tentang Metode Pengujian Kolom Air di Lapangan untuk Penentuan Sifat-Sifat Hidraulik Akuifer
13. SNI No. 19-6741-2002 Tentang Metode Pengujian untuk Penentuan Transmisivitas Akuifer Tertekan dengan Cara Uji Kolom Air

1. Pelaksanaan pengeboran sumur air tanah

a. Pembuatan Lubang Bor Penuntun (*Pilot Hole*)

Pengeboran lubang bor penuntun (*pilot-hole*) dilakukan guna untuk mengetahui litologi secara rinci dan juga dimaksudkan memperingan pekerjaan untuk membuat lubang bor yang lebih besar (*Reaming*).

Berikut adalah tahapan pembuatan lubang bor penuntun (*pilot hole*)

- 1) Lubang sumur bor penuntun ini perlu dilakukan agar beban mata bor tidak berat dan beban pekerjaan mesin bor lebih ringan. Pertama, buat lubang bor berdiameter 220 mm ( $8 \frac{3}{4}$  inch) sampai kedalaman antara 5 – 20 m, tergantung kondisi spesifik setempat. Dalam hal ini misalnya diambil 20 m. Kedua, pasang *casing* (pipa lindung) konduktor sementara (yang nantinya bisa dicabut dan dipakai lagi) berdiameter 200 mm ( $8$  inch), dan ini akan melindungi secara sementara bagian atas calon sumur.
- 2) Setelah terpasangnya pipa lindung (*casing*) sementara ini, di dalamnya dibuat lubang bor penuntun (*pilot hole*) berdiameter 170 mm ( $6 \frac{3}{4}$  inch) sampai kedalaman yang ditargetkan (misalnya antara 100 – 200 m), dan tepatnya tergantung kondisi spesifik setempat (dengan berdasarkan hasil pendugaan geolistrik lapangan, dan lebih baik lagi kalau pendugaan geolistrik tomografi).
- 3) Setiap mengebor 1 m, potongan (*cutting*) sampel batuan yang bercampur dengan lumpur pemboran (*drilling mud*) diambil (untuk pengeboran dengan mesin bor putar atau *rotary rig*) dan dideskripsikan oleh ahli geologi. Biasanya untuk pengeboran inti, sampel lebih mudah dideskripsi karena terambil dengan memakai *core barrel* (tabung pengambil inti). Beberapa mesin bor putar juga dilengkapi dengan kemampuan ini.
- 4) Tergantung keadaan, selama fase pengeboran biasanya dilakukan uji-uji pemompaan air secara singkat dengan *drill stem air lift* (pengangkatan air dengan memakai udara yang ditiupkan melalui kompresor) dalam keadaan lubang bor terbuka (*open borehole*) untuk mengetahui kemampuan debit serahan air tanah (*groundwater yield*) di setiap tahap pengeboran yang diinginkan atau pada berbagai interval kedalaman, dengan mempertimbangkan kestabilan formasi batuan dan litologinya.
- 5) Ketika lubang bor telah mencapai kedalaman yang ditargetkan (biasanya sampai dasar akuifer dengan sedikit perubahan target kedalaman), pengeboran dihentikan dulu dengan setang bor (*drill rods*) diangkat ke atas untuk memberi keleluasaan melakukan pekerjaan berikutnya.
- 6) Lubang bor yang sudah jadi ini kemudian dimasukan suatu alat log pendugaan geofisika sumur (*geophysical well logging*), biasanya alat log listrik (*resistivity* dan *SP*) dan alat log sinar gamma sampai kedalaman terbawah lubang bor yang dibuat, namun dimulai dari bagian terbawah terlebih dahulu

dan berangsur-angsur ditarik ke atas. *Logging* dilakukan untuk mengecek lokasi kedalaman akuifer. Selain itu, diperlukan juga data-data yang lain seperti data *cutting*, dan kecepatan pengeboran serta sumur sekitar sebagai referensi agar penentuan akuifer yang lebih akurat.

b. Pengambilan sampel pengeboran pada interval kedalaman tertentu (*Well Cutting*)

*Cutting* pemboran adalah serpihan-serpihan batuan sebagai akibat tergerusnya batuan tersebut oleh mata bor pada saat pemboran berlangsung. Pekerjaan analisa *cutting* ini dilakukan dalam kerangka pekerjaan *mud logging*. Pertama-tama *cutting* dipisahkan dari aliran lumpur pemboran dengan menggunakan *shale shaker*, setelah itu dilakukan deskripsi litologi.

1) Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan untuk mengetahui stratigrafi lapisan batuan sumur bor tersebut, sehingga dapat berfungsi untuk menentukan jenis posisi dan jenis *screen* yang dipakai misal apakah menggunakan *screen* dari pipa pvc atau dari jenis pipa galvanis, serta bisa untuk menentukan kedalaman posisi *screen*.

Pengambilan sampel, harus diawasi pengambilannya. Pengawasan dilakukan terhadap:

- 1) Waktu pengambilan
- 2) Jumlah pengambilan
- 3) Metode/cara pengambilan
- 4) Penyimpanan
- 5) Cek dengan log laju pemboran.

2) Banyaknya Sampel

Jumlah atau banyaknya sampel diambil per sampel 1–2 kg per masing-masing kedalaman misal per meter. Kantong plastik yang 6” isi sampel dimasukkan dalam kotak sampel atau rak sampel.

3) Interval Pengambilan

Interval pengambilan sampel diambil tiap meter kedalaman, dilakukan bersamaan dengan pencatatan *time log*.

4) Kotak Sampel

Kotak sampel dibuatkan kotak bersekat (*sample box*) ukuran tertentu misalnya 25 cm x 25 cm.

5) Penyimpanan Sampel

Sampel harus di letakkan di kotak sampel, harus dilindungi dari hujan dan panas ditempatkan di tempat yang aman (tidak tumpah) tidak diinjak-injak hewan (sapi, kerbau, kambing atau binatang lainnya).

c. Pencucian dan pembersihan sumur (*well development*) tahap 1

Tahap pekerjaan pencucian dan pembersihan sumur (*well development*) tahap I ini dilakukan dengan maksud untuk dapat membersihkan dinding sumur yang telah dibor (*pilot hole*) dan pembersihan sisa-sisa lumpur setelah dilakukan pengambilan sampel litologi pada *well cutting*

Pencucian sumur (*well development*) mencakup kegiatan berikut:

- 1) Penghancuran kerak lumpur yang menempel pada pipa konstruksi dengan cara memasukkan cairan sodium tripolyphosphate (STP) dan mendiampkannya
- 2) Pelaksanaan pencucian sumur dengan metode *air lift pumping*, *air jetting*, dan *water jetting*

d. Penampangan sumur untuk interpretasi jenis dan kedalaman lapisan batuan dan kedudukan akuifer (*well logging Logging*)

sumur (*well logging*) adalah pengukuran dalam lubang sumur menggunakan instrumen yang di tempatkan pada ujung kabel wireline dalam lubang bor. Sensor yang terletak di ujung *wireline* akan mendeteksi keadaan dalam sumur. *Logging* sumur dilakukan setelah pemboran lubang pandu mencapai target, dan *drill string* dikeluarkan dari sumur. Terdapat dua kabel yang terkoneksi dengan permukaan, kedalam sumur direkam ketika sensor turun dan diangkat kembali untuk memulai pendektesian.

1) Menenal Jenis-Jenis *Logging*

- a) *Log* Radioaktif, terdiri atas
  - Log Gamma ray*
- b) *Log* Listrik
  - i. *Log Spontaneous Potential* (log SP)
  - ii. *Log Resistivitas*
  - iii. *Long normal*
  - iv. *Short normal*

Setiap jenis log dimaksudkan secara bersamaan atau satu per satu untuk mengetahui informasi tertentu, dan semuanya dipadukan untuk mendapatkan informasi kondisi bawah permukaan (*subsurface*) sehingga dapat menentukan tahapan berikutnya dalam pencarian sumber air tanah.

## 2) Prosedur *Logging*

Setelah pemboran lubang pandu mencapai target dilakukan sirkulasi sampai *cutting* bersih sama sekali, kemudian lumpur diencerkan menjadi normal (*flushing*), pencabutan *drill string* stang bor dan perlengkapannya. *Logging* dimasukkan ke dalam lubang dilakukan perekaman dengan menurunkan “*logging tool*” sonde/ ujung/ sensor peralatan *logging*.

Perlu diperhatikan bahwa untuk *electric logging*, *sp logging* sangat sensitif terhadap petir kilat, material-material besi dalam tanah contoh sumur dalam berkonstruksi besi di dekatnya (jarak sama dengan kedalaman), hujan, tegangan tinggi (sutet) jika terdapat hal-hal tersebut maka *logging* menjadi tidak akurat dan dibutuhkan ketelitian lebih tinggi. Jika terjadi hujan dan petir kilat harus dihentikan dulu sampai cuaca baik.

## 3) Peralatan *Logging*

Komponen utama dari sistem *logging wireline* (dari *borehole* ke permukaan):

- a) Alat *logging* (atau probe atau sonde) umumnya mengandung sensor yang mampu mengukur nilai beberapa kuantitas fisik,
- b) Kabel berlapis baja tempat alat ukur berada diturunkan dan diambil dari lubang bor,
- c) Alat perekam otomatis dengan kertasnya atau *software* dan hardware-nya.
- d) Elektrode-elektrode permukaan.

## 4) Pelaksanaan *Logging*

Pelaksanaan *logging* harus dilakukan secepatnya setelah target lubang pandu dan pembersihan *cutting* dan pengenceran dan penormalan lumpur selesai, dimaksudkan agar sebelum terjadi *collapse* atau runtuh.

## 5) Interpretasi *Logging*

Lapisan prospek dapat teridentifikasi dengan melakukan interpretasi *logging*. Secara kualitatif dengan interpretasi tersebut dapat diketahui lapisan-lapisan akuifer serta posisi kedalamannya dan dapat diketahui kegaraman dari air tanah yang dikandungnya.

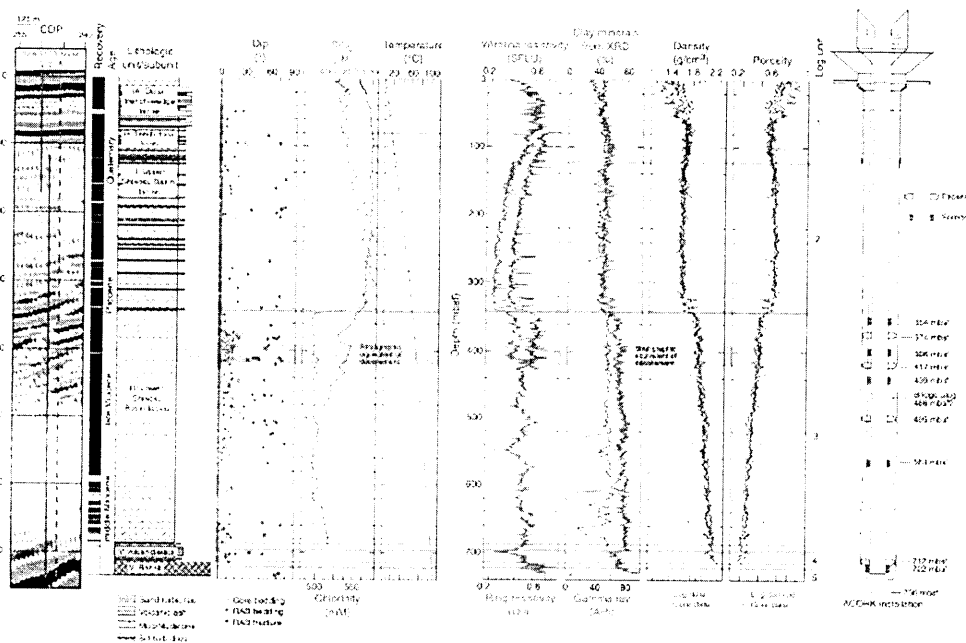
## 6) Curva *Self Potential* (SP)

Dalam sistem pengukuran potensial *voltaic* ini dikenal sebagai SP (*Self Potential*). Adanya SP perlu diperhitungkan pada proses pengukuran nilai potensial. Dari kurva SP inilah dapat dideteksi kadar kegaraman yang

terkadung dalam akuifer atau lapisan batuan yang mengandung air.

Kegunaan Log SP adalah untuk (*Exploration Logging*, 1979) :

- Identifikasi lapisan-lapisan permeabel.
- Mencari batas-batas lapisan permeabel dan korelasi antar sumur berdasarkan batasan lapisan tersebut.
- Menentukan nilai resistivitas air-formasi ( $R_w$ ).
- Memberikan indikasi kualitatif lapisan serpih.



**Gambar Kurva SP**

Dari berbagai kondisi batuan dan Komposisi yang ada di dalamnya, bentuk-bentuk kurva SP adalah sebagai berikut :

Pada lapisan *shale*, kurva SP berbentuk garis lurus. Pada lapisan permeabel mengandung air asin, defleksi kurvanya akan berkembang negatif (ke arah kiri dari garis *shale*). Pada lapisan permeabel mengandung hidrokarbon, defleksi SP akan berkembang negatif. Pada lapisan permeabel mengandung air tawar, defleksi SP akan berkembang positif.

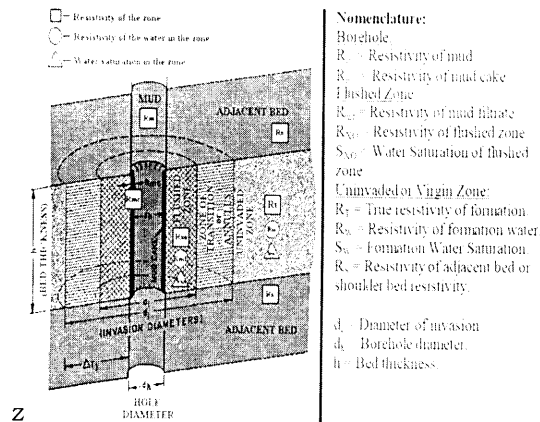
#### 7) Curva Resistivity

Resistivitas atau tahanan jenis suatu batuan adalah suatu kemampuan batuan untuk menghambat jalannya arus listrik yang mengalir melalui batuan tersebut.

Nilai resistivitas rendah apabila batuan mudah untuk mengalirkan arus listrik, sedangkan nilai resistivitas tinggi apabila batuan sulit untuk mengalirkan arus listrik.

*Log Resistivity* digunakan untuk mendeterminasi zona air, mengindikasikan

zona permeabel dengan mendeterminasi porositas resistivitas, karena batuan dan matrik tidak konduktif, maka kemampuan batuan untuk menghantarkan arus listrik tergantung pada sifat *fluida* dan pori.



**Gambar Diagram Invasi Lumpur Terhadap Karakter Resistivity**

8) *Curva Gamma Ray*

*Log Gamma Ray* merupakan suatu kurva dimana kurva tersebut menunjukkan besaran intensitas radioaktif yang ada dalam formasi. *Log* ini bekerja dengan merekam radiasi sinar gamma alamiah batuan, sehingga berguna untuk mendeteksi/ mengevaluasi endapan-endapan mineral radioaktif seperti *Potassium* (K), *Thorium* (Th), atau bijih *Uranium* (U).

Pada batuan sedimen unsur-unsur radioaktif banyak terkonsentrasi dalam serpih dan lempung, sehingga besar kecilnya intensitas radioaktif akan menunjukkan ada tidaknya mineral-mineral lempung. Batuan yang mempunyai kandungan lempung tinggi akan mempunyai konsentrasi radioaktif yang tinggi, sehingga nilai *gamma ray*-nya juga tinggi, dengan defleksi kurva ke kanan.

Dengan menarik garis *Gamma Ray* yang mempunyai harga minimum dan garis *Gamma Ray* maksimum pada suatu penampang *log*, maka kurva tersebut merupakan indikasi adanya lapisan serpih. *Gamma Ray log* dinyatakan dalam API



Serahan Sumur yang Diharapkan (l/s)	Ukuran Nominal Mangkok Pompa (inches)	Ukuran Optimum Casing Pompa (inches)	Ukuran Casing Sumur Terkecil (inches)
62,79 – 98,6	12	16 OD	14 OD
91 – 136,5	14	20 OD	16 OD
121,3 – 277,5	16	24 OD	20 D

- f. Konstruksi sumur air tanah dan penentuan letak *screen* dan *casing* *Screen* merupakan tempat masuknya air pada lubang bor berfungsi juga sebagai filter supaya material dari formasi tidak ikut terbawa oleh pompa.

Setelah semua informasi litologi yang menunjukkan keberadaan lapisan akuifer dan yang bukan akuifer yang diperoleh dari *well logging*, barulah sumur dikonstruksi berdasarkan temuan-temuan dari kondisi setempat, dengan memasang pipa lindung pada bagian atas, dan pipa penyaring (*screen*) pada sebagian besar ketebalan akuifer yang dijumpai. Pipa lindung teratas diperkuat dengan grout semen (kedap) dan harus dibuat menonjol 0,5 m di atas permukaan tanah setempat, dan dipasang pelindung penutup yang kokoh dan kuat serta diberi penanda atau prasasti nomor sumur. Dalam pemasangan pipa *casing* perlu diperhatikan kelurusan dan kesesuaian posisi *screen* agar sesuai dengan hasil *logging* dan analisa *cutting*.

- g. Pemasukan *Gravel Pack* (Kerikil)

Setelah konstruksi sumur selesai, dilanjutkan dengan pengisian *gravel pack* (kerikil) yang berukuran maksimal 5 mm ke dalam ruang diantara dinding lubang bor dengan dinding saringan melalui pipa penghantar dari dasar sumur sampai kedalaman yang direncanakan. Hal ini dilakukan untuk menjaga lubang bor tetap stabil dan tidak *mudah runtuh*.

Material *gravel pack* yang ditempatkan di sekitar *screen* yang berguna untuk mempermudah air dipompa (filter alami) karena material-material pada akuifer akan tertahan pada *gravel pack* tidak menutupi lubang-lubang *screen* (*sand bridge*).

Pengisian *gravel pack* juga harus diiringi dengan pencucian sumur, hal ini dilakukan untuk mengencerkan sirkulasi air dan memompa lumpur (*spulling*) dari pompa ke dalam sumur. Kemudian diusahakan lumpur keluar melalui dinding pipa konstruksi dan dinding lubang bor tempat *gravel pack* berada agar *gravel pack* yang dimasukkan dapat tersusun dengan baik dan padat.

### 1) Syarat-Syarat Bak Kerikil

Untuk membuat bak saringan untuk menyaring pasir halus dan tanah lempung haruslah yang stabil. Untuk jenis tanah ini biasanya tidak praktis jika memiliki ukuran slot yang sangat kecil, sehingga bak kerikil buatan yang dipilih akan membentuk ukuran yang benar sesuai ukuran pori pembukaan, dan akan menstabilkan pasir di dalamnya. Penggunaan bak saringan pasir memungkinkan membuka saringan menjadi jauh lebih besar daripada jika saringan ditempatkan terpisah dalam bentuk partikel itu sendiri. Ada pengurangan konsekuensi dalam kerugian *head*. Jika gradasi akuifer kecil, diperlukan gradasi ukuran bak kerikil untuk dapat mempertahankan bentuk kerikil tersebut, dan menyediakan ukuran pembukaan saringan yang praktis. Bak kerikil berbatasan dengan saringan terdiri dari partikel berukuran lebih besar dari ukuran partikel disekitarnya, dan *void* berukuran lebih besar terbentuk di dan dekat dengan saringan yang memungkinkan masuknya air hingga kehilangan tinggi tekan air dapat diminimalisir.

Kondisi yang diperlukan untuk bak kerikil adalah:

- a) bebas dari gangguan pasir setelah pembangunan,
- b) permeabilitas tertinggi dengan stabilitas (resistensi rendah),
- c) kecepatan masuk rendah,
- d) efisiensi waktu layanan/operasi bak kerikil, yaitu tahan terhadap serangan kimia.

### 2) Bak Kerikil Alami

Bak jenis ini diproduksi oleh pengembangan pembentukan kerikil di alam. Teknik pengembangan yang digunakan untuk menggambar partikel halus dari akuifer yang tidak terkonsolidasi melalui saringan dengan lebih stabil dan menjadikannya lebih permeable.

Akuifer yang cocok yang berbutir kasar diurutkan, umumnya dengan koefisien keseragaman yang lebih besar dari 3.

Ukuran lubang yang direkomendasikan untuk saringan berada di antara  $D_{10}$  dan  $D_{60}$  (sering  $D_{40}$ ). Pilihan ukuran slot ini kemudian tergantung pada keandalan sampel dan sifat akuifer. Tidak dianjurkan jika ukuran slot kurang dari 0,5 mm.

### 3) Bak Kerikil Buatan

Juga dikenal sebagai paket kerikil penyaring, pembungkusnya terdiri dari partikel yang digradasi, bak kerikil dimaksudkan untuk memenuhi fungsi berikut:

- a) mendukung formasi akuifer dan mencegah keruntuhan ke dalam sumur;

- b) tahanan lateral penutup sumur, efektif memperkuat penutup sumur;
- c) mencegah pergerakan material akuifer ke dalam sumur.

Pendekatan normal adalah dengan menggunakan paket filter bila:

- a) Koefisien keseragaman <3 mm;
- b) Akuifer merupakan akuifer halus, dengan ukuran  $D_{10} < 0,25$  mm.

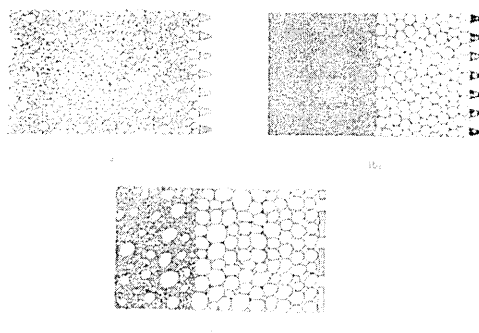
4) Material Bak Kerikil

Material bak kerikil harus memiliki syarat berikut:

- a) Bersih
- b) Memiliki bentuk partikel *well-rounded*
- c) Bebas dari senyawa kimia yang dapat larut dalam air seperti karbonat (pasir mengandung *silica* dan kerikil)
- d) Memiliki gradasi partikel yang baik agar desain tersebut berjalan sesuai fungsinya

**Tabel Karakteristik Bak Material yang Diperlukan dan Berikut Keuntungan yang Didapat**

Characteristic	Advantage
Clean	Little loss of material during development Less development time
Well-rounded grains	Higher hydraulic conductivity and porosity Reduced drawdown Higher yield More effective development
(90-95)% quartz grains	No loss of volume caused by dissolution of minerals
Uniformity coefficient of 2.5 or less	Less separation during installation Lower head loss through filter pack



**Gambar Jenis-jenis Bak Kerikil dari Berbagai Penyusunnya**

5) Ketebalan Bak

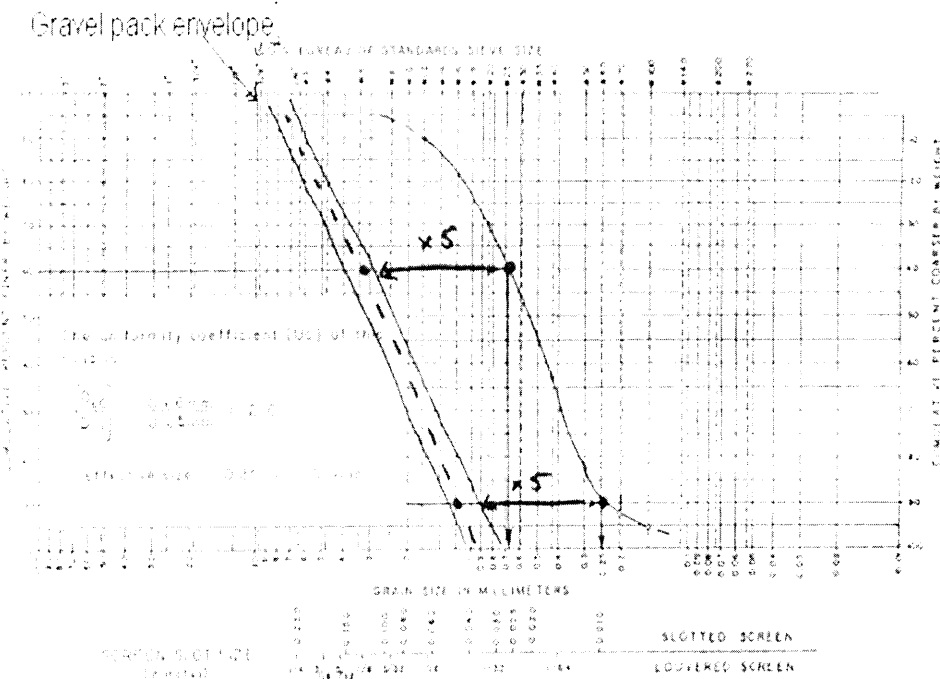
Secara teori, dibutuhkan 2 atau 3 lapisan butiran untuk mempertahankan bentuk bak kerikil. Pada praktiknya sekitar 10 cm digunakan untuk memastikan pembungkus sumur tetap dalam posisinya. Batas atas ketebalan bak kerikil adalah 20 cm. Bak dengan ketebalan kurang dari 5 cm hanya dapat digunakan untuk mempertahankan bentuk bak kerikil, tetapi tidak efektif sebagai filter.

6) Pemilihan Gradasi Kerikil (*Gravel Pack*)

Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi bahan yang dapat digunakan sebagai penyaring partikel yang masuk ke dalam sumur dengan meminimalkan energi yang hilang. Bak kerikil buatan terletak pada material akuifer yang masuk dalam kategori halus, atau dilaminasi dan heterogen. Material ini memungkinkan penggunaan ukuran slot yang lebih besar dari yang seharusnya digunakan. Beberapa metode penentuan ukuran butir bak kerikil telah diusulkan, salah satunya persamaan dari Terzaghi.

$$\frac{D_{15 \text{ filter}}}{D_{85 \text{ akuifer}}} < 4 < \frac{D_{15 \text{ filter}}}{D_{15 \text{ akuifer}}}$$

Setelah dilakukan metode penentuan ukuran butir dapat dimasukkan kedalam grafik pemilihan butiran saringan, sehingga didapatkan ukuran butiran yang paling efektif di dalam bak kerikil



**Gambar Kurva Gradasi Pemilihan Butiran Saringan**

Bak kerikil akan berfungsi dengan semestinya jika koefisien keseragaman adalah mirip dengan akuifer, yaitu kurva distribusi ukuran butiran saringan dan akuifer bahan serupa. Ukuran butir dari bahan akuifer harus dikalikan dengan konstanta sekitar (4-7) dengan rata-rata (5) untuk membuat pembungkus mendefinisikan gradasi filter.

h. Pencucian dan pembersihan sumur (well development) tahap 2

Pencucian sumur (*well development*) tahap II ini dimaksudkan untuk membersihkan sumur air tanah secara keseluruhan setelah konstruksi sumur selesai dilaksanakan. Lubang bor ini harus dicuci dan dikuras sebersih mungkin (*development*) untuk menghilangkan lumpur pengeboran (*mud cake*) terutama pada bagian zone akuifer yang potensial. Fase ini harus diulang-ulang agar benar-benar terjamin kebersihannya.

Tujuan utama dari *well development* adalah untuk mengembalikan permukaan akuifer yang terpotong oleh proses pengeboran pada keadaan aslinya dengan memecahkan lubang *anulus* yang telah menjadi padat karena proses pengeboran, bahan-bahan halus dan gumpalan lumpur yang mencemari.

*Well development* yang benar juga akan membuat suatu *zone* lebih *permeable* dan stabil pada formasi dekat sumur tersebut, jadi mencegah terpompanya pasir dan menjadikan sumur lebih efisien, tahan lama dan menurunkan biaya pengoperasian dan pemeliharaan.

Metode-metode praktis yang lebih umum dipakai untuk *well development* tercatat sebagai berikut:

- 1) *Bailing* (Penimbaan)
- 2) *Overpumping* (Pemompaan berlebihan)
- 3) *Washing* (Pencucian)
  - a) *High pressure jetting* (*Jetting* tekanan tinggi)
  - b) *Back washing* (Pencucian ulang)
  - c) *Washing with chemicals* (Pencucian dengan bahan kimia)
- 4) *Surgin* (Penggelombangan)
  - a) *Mechanical Surgin* (Penggelombangan mekanis)
  - b) *Hydraulic Surgin* (Penggelombangan hidraulis)

*Well Development* yang layak dan hati-hati akan memperbaiki daya kerja kebanyakan sumur, dan penentuan ketepatan *well development* pada banyak hal merupakan masalah pengalaman dan penentuan. Sebelum memulai segala pekerjaan *well development*, *driller* harus dengan hati-hati mempertimbangkan keadaan-keadaan khusus yang ditemui didalam sumur yang akan dikembangkan.

Metode pengeboran, tipe konstruksi sumur, tipe akuifer, ukuran, tipe dan panjang *screen*, bersama-sama dengan peralatan yang tersedia merupakan hal-hal yang paling penting dalam pemilihan metode *well development* yang paling cocok.

Faktor yang penting adalah bahwa pekerjaan *well development* harus dimulai pelan-pelan dan hati-hati sehingga apabila mungkin, sekali dimulai tidak diberhentikan sampai pekerjaan selesai.

Pada umumnya, sebuah sumur dapat dikatakan telah cukup dibersihkan apabila setelah secara efektif menguras jumlah maksimum pasir dari formasi akuifer

tersebut, sumur bisa memberikan air yang jernih dan bebas pasir serta debit yang maksimum per meter *drawdown*.

Pada praktiknya tidak mungkin untuk mengetahui lebih dulu bagaimana satu sumur akan bereaksi terhadap *well development* dan berapa lama *well development* sumur tidak mahal jika dipandang keuntungannya yang diperoleh, dan hanya dalam keadaan luar biasalah atau metode - metode yang tidak layak maka *well development* itu akan membahayakan.

a) Metode-Metode *Well Development*

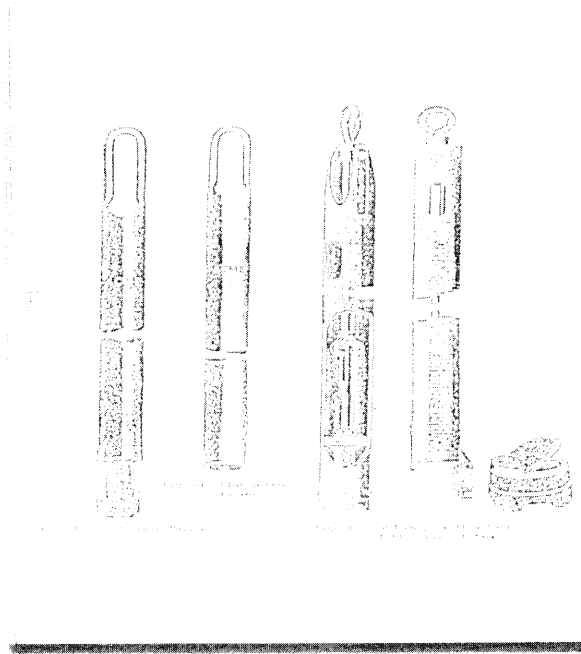
1) Penimbaan (*Bailing*)

Pada sebuah lubang sumur yang telah stabil oleh lumpur pengeboran, atau apabila dipakai metode *rotary*, maka cairan pengeboran harus dibersihkan secara layak dengan air bersih, dan *test* penimbaan awal dilakukan untuk meyakinkan bahwa air mengalir masuk ke dalam sumur dari akuifer sebelum cara lain untuk *well development* diusahakan.

Setelah mengukur dan mencatat muka air statis dalam sumur, maka produksi dari lubang sumur tersebut dimulai. Pada tahap awal *development* sebuah sumur hindarilah penimbaan yang cepat. Langkah tersebut disebut *swabbing* atau *rawhiding* daripada lubang sumur, yang berarti menurunkan penimba (*bailer*) pada bagian atas daripada *screen* dan dengan cepat mengangkatnya ke permukaan. Metode ini mempunyai pengaruh yang sama apabila menggunakan balok penimba dan dapat mengakibatkan tersumbatnya *screen*.

Tipe - tipe alat penimba antara lain:

- (a) *Dart - valve* atau alat penimba dengan tipe katup seperti lembing dan berdasar rata : Banyak dipakai untuk operasi penimbaan. Katub tersebut terbuka apabila menyentuh air dan kotoran pada dasar lubang, dan apabila alat penimba tersebut diangkat katupnya secara otomatis menutup dan menjerat air, pasir, dan kotoran dalam alat penimba tersebut.
- (b) *Sand Pump* atau pemompa pasir dipakai untuk membersihkan pasir dan kerikil yang tidak terjangkau oleh alat penimba tersebut diatas. Alat ini terbuat dari tabung dengan katup buka tutup dan suatu pengisap yang bekerja di dalam bumbung.



**Gambar Tipe - tipe Alat Penimba**

2) Pemompaan Berlebihan (*Over Pumping*)

Semua sumur yang mampu menghasilkan air yang bebas pasir pada pemompaan berkapasitas tinggi dapat dipompa dengan kapasitas rendah tanpa membawa resiko kerusakan.

Metode yang paling sederhana untuk membuang bahan-bahan halus dari formasi akuifer adalah dengan pemompaan berlebihan, yaitu memompa sumur dengan kapasitas pemompaan waktu pompa siap untuk dioperasikan.

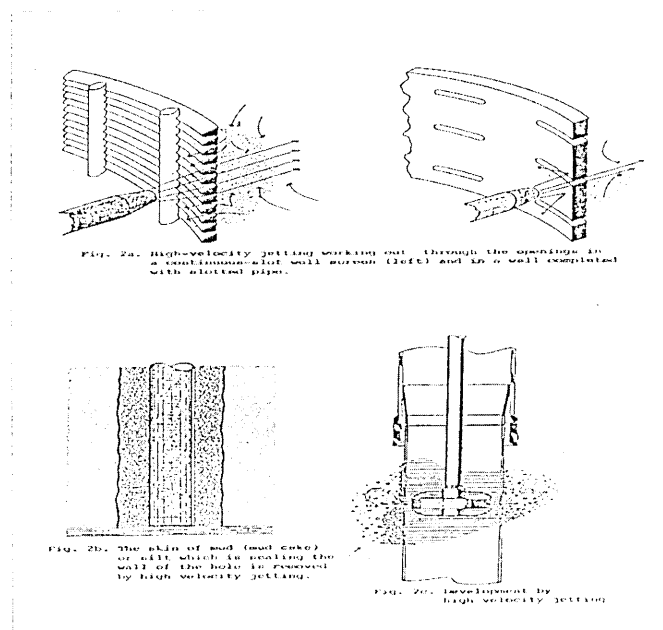
Namun, *well development* dengan pemompaan berlebihan hanya mampu membuang bahan-bahan halus yang terbatas yaitu dengan menggerakkan kecepatan yang lebih tinggi disekitar *screen*, dan tidak mampu mengembangkan sumur secara efektif seperti metode - metode lain. Lebih jauh lagi partikel-partikel pasir halus cenderung masuk kedalam formasi karena gerakan air yang satu arah saja, dan pompa yang diperlukan harus berkapasitas lebih besar dari apa yang biasanya tersedia.

a) Pencucian (pembersihan sumur) (*Washing*)

(1) *Jetting* Kecepatan Tinggi

*Jetting* dengan air pada kecepatan tinggi pada umumnya merupakan metode yang paling efektif untuk *well development* jenis *open hole*, pada sumur-sumur yang memakai *screen* dengan presentase celah yang besar serta sumur-sumur yang menggunakan gravel pack buatan.

Prosedur tersebut dilakukan dengan jalan menyemprotkan air secara horizontal didalam sumur sedemikian rupa sehingga arus kecepatan air yang tinggi yang keluar lewat celah-celah *screen* menggerakkan dan mengatur kembali partikel-partikel pasir dan kerikil dari formasi di sekitar *screen* dan memecahkan lumpur keras yang mengendap pada lubang sumur pada metode pengeboran *rotary*. Pasir halus, lumpur dan tanah liat dicuci keluar dari formasi akuifer dan pergolakan air yang timbul karena penyemprotan akan membawa kembali bahan-bahan halus ke dalam sumur dimana nantinya akan dibuang.



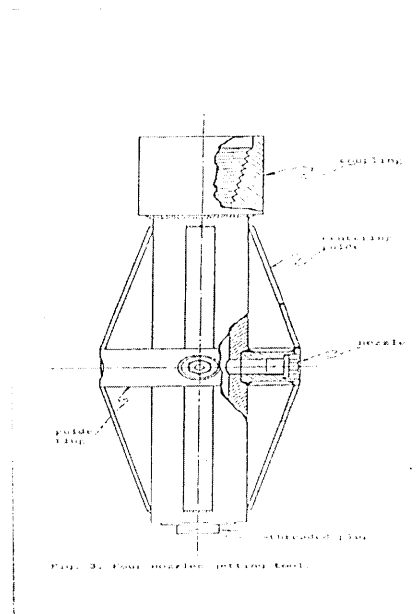
**Gambar Prosedur Pencucian Menggunakan *Jetting* Tekanan Tinggi**

Metode ini mempunyai keuntungan-keuntungan sebagai berikut :

- Energi dipusatkan pada satu daerah yang kecil tetapi dengan efektifitas yang lebih tinggi
- Setiap bagian *screen* dapat tercakup secara terpilih
- Metode ini relatif lebih sederhana untuk dipraktikkan dan tidak membawa kesulitan jika dipraktikkan berlebihan.

Peralatan utama yang diperlukan untuk metode ini adalah alat *jetting*, pompa dan selang bertekanan tinggi, sambungan-sambungan dan pipa. Alat *jetting* terdiri atas 1 pipa besar (*head*) dengan dua atau lebih lubang jet dengan jarak yang sama pada suatu landaian di sekelilingnya. Bagian bawah *head* tersebut tertutup dan bagian atasnya dsambungkan pada pipa yang dihubungkan melalui alat pemutar (*swivel*) pada selang

bertekanan tinggi dan pompa yang berkapasitas tinggi. Pompa lumpur dari *rotary rig* yang biasa dipakai adalah ideal untuk pekerjaan *development* dengan penyemprotan (*jetting*).



**Gambar Alat Jetting**

Kecepatan minimum jet yang efektif kira-kira 40 m/s. Pengembangan yang lebih baik dapat diperoleh dengan kecepatan jet antara 50 m/s dan 90 m/s, khususnya untuk sumur-sumur yang menggunakan *gravel pack* buatan. Kecepatan yang lebih tinggi tidak akan menghasilkan keuntungan tambahan dan mungkin sebaliknya akan menyebabkan pengikisan pada *screen*.

Alat *jetting* tersebut, pelan-pelan diputar dan sedikit demi sedikit dinaikkan dan diturunkan mulai dari bagian bawah *screen* dan naik ke atas. Bilamana mungkin dan dimana ukuran sumur, peralatan yang tersedia dan posisi muka air statis dalam sumur mengijinkan, maka lebih dikehendaki bilamana pemompaan juga dilakukan bersamaan dengan *jetting* dengan kecepatan tinggi sedang berjalan. Praktik ini akan memindahkan bahan-bahan halus setelah dicuci didalam *screen* dan menjaga air tanah tetap mengalir ke dalam sumur. Pada sumur-sumur yang menggunakan *gravel pack* buatan, ketebalan *gravel pack* akan membatasi keuntungan-keuntungan pekerjaan *jetting*.

b) Pencucian Kembali

Pencucian kembali termasuk aneka ragam metode yang yang dipakai untuk menggerakkan formasi disekitar sumur dengan jalan menimbulkan arus yang bergantian keluar masuk lewat celah-celah *screen* dengan pengaruh penggelombangan. Metode-metode yang lebih umum dipakai untuk pencucian kembali adalah sebagai berikut:

(1) Pencucian Kembali dengan *Rawhiding*

Pengaturan untuk *rawhiding* sama dengan pengaturan untuk pemompaan berlebihan (*overpumping*) dan pompanya tidak harus dilengkapi dengan alat yang dapat mencegah terjadinya putaran balik daripada pompa tersebut atau katub duga (*check valve*). Metode tersebut dilakukan dengan cara menghidupkan dan mematikan pompa secara bergantian untuk menghasilkan perubahan muka air yang cepat pada air dalam sumur.

Harus diperhatikan untuk tidak menghidupkan pompa ketika porosnya sedang berputar terbalik karena ini akan menyebabkan patah. Metode ini paling efektif dimana muka air statis sangat dalam dan sangat kuat daripada metode pemompaan berlebihan, tetapi bilamana dioperasikan tersendiri biasanya pengaruh atas development tersebut hanya kena pada bagian atas akuifer yang dipasang *screen* saja.

(2) Pencucian Kembali dengan *Bailer*

Pada metode ini air dialirkan ke dalam sumur dengan cepat dan dikeluarkan dengan *sand - pump* atau *bailer*. Akibatnya dapat memproduksi *head* yang lebih besar di dalam sumur dan menggantikan pergerakan melalui *screen* dan formasi *water bearing* saat air dialirkan kedalam sumur. Metode ini adalah metode yang paling simpel dari *well development*, dan telah terbukti keefektifannya.

(3) Pencucian Kembali dengan Tekanan

- Pencucian kembali dengan air

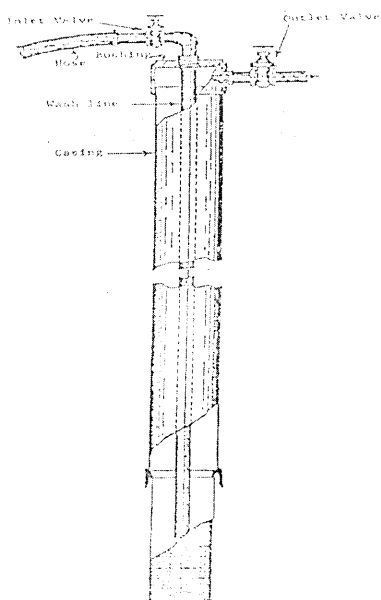
Sumur dipaksa untuk mendapatkan air pada tingkat yang lebih tinggi yang secara normal akan didapatkan. Ada dua prinsip cara untuk mengaplikasikan metode ini, yang pertama *simple back washing* diikuti dengan *bailing* atau pemompaan.

Hal ini akan diselesaikan dengan menyambungkan pompa ke *casing* dengan cara mengepaskan *water - tight* dan memaksa air turun ke sumur.

Setelah diaplikasikan dalam jangka pendek, sambungannya akan diambil dan sumur akan *bailed* dengan *mudah*.

Cara lain untuk mengaplikasikan metode ini adalah dengan menyediakan sambungan diatas dengan sisi *valve outlet* dan *fitting* gantungan jalur dari *pipe down* ke bawah atau dekat dengan dasar sumur.

Dengan cara ini tekanan akan diaplikasikan langsung ke dalam sumur, kemudian sisi outlet akan dibuka dan sumur *air - lifted*.



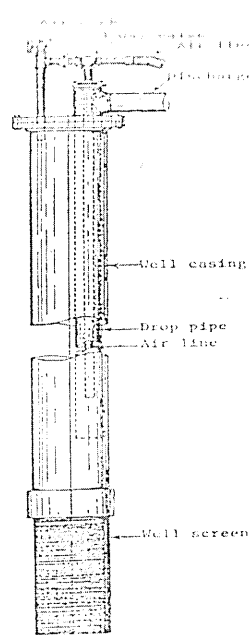
**Gambar Pencucian Kembali dengan Air**

- Pencucian kembali *compressed air*

Air akan dipaksa keluar melalui *screen* kembali ke formasi dengan bantuan *compressed air*. *Compressed Air* diketahui masuk kedalam sumur melalui *casing* atas dan kemudian akan tertutup dengan penutup kedap udara. *Drop pipe* dan pipa udara telah terinstalasi sehingga sesuai dengan metode penggelombangannya, dan tetap bersama dengan pemisah *short air*. Pipa dan *three-way valve*.

*Compressed air* akan dilepaskan melalui pipa udara panjang, memaksa udara dan air keluar dari sumur

melalui *drop pipe*. Setelah air menjadi bersih, udara yang tersuplai menutup dan air akan kembali ke *static water level*. *Three way valve* akan kembali menerima udara ke bagian atas sumur melalui pipa udara pendek. Pada pencucian kembali ini, air dari sumur menuju ke formasi, pada saat bersamaan akan mengaduk butiran pasir sekitar sumur. Udara akan memaksa masuk ke sumur sampai keluar melalui *drop pipe*, sehingga membuat *air-logging* menjadi tidak memungkinkan, setelah *three way valve* kembali dan suplai udara kembali diarahkan ke bawah pipa udara panjang untuk memompa sumur.

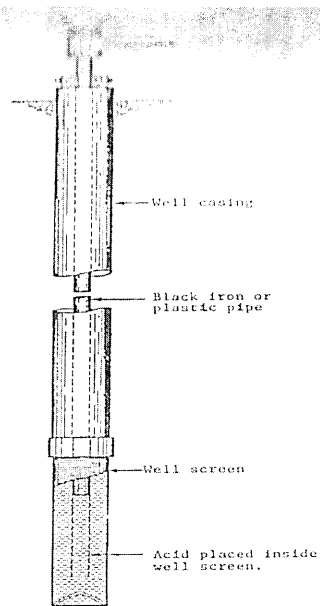


**Gambar Pencucian Kembali dengan Kompresor Udara**

- Pencucian dengan bahan kimia  
Menambahkan bahan kimia yang cocok kedalam air sebagai sirkulasi untuk memindahkan *drilling fluid*, untuk air yang digunakan untuk pencucian kembali atau *jetting*, agar air dalam sumur membantu mengeluarkan lumpur. Bahan-bahan kimia yang paling umum dipakai untuk membantu *development* sumur mungkin *polyphosphates* yang berfungsi sebagai pemisah tanah liat dan bahan-bahan butiran halus lainnya dan membiarkan *mud cake* pada dinding sumur dan bagian-bagian tanah liat pada formasi-formasi akuifer lebih siap untuk dibuang melalui *development*.

Sumur-sumur pada batuan *carbonate* sering *didevelop* dengan menambahkan zat asam *muriatic* (asam *chlorida*) dan zat asam sulfa yang berfungsi melunakkan batuan *carbonate* dan memperbesar celah-celah lubang yang ada serta membuat celah-celah lubang baru. Pemberian asam *muriatic* pada sumur dilakukan dengan menggunakan pipa hitam atau pipa plastik yang cukup panjang supaya dapat sampai pada *open hole* atau bagian yang dipasang *screen*. Zat asam tersebut harus diaduk-aduk di dalam sumur selama satu atau dua jam dan kemudian ditimba keluar. Apabila diperoleh perbaikan debit sumur maka cara yang dilakukan tersebut dapat diulangi.

Asam sulfat merupakan suatu bahan butiran kering yang dapat menjadi suatu asam cair yang kuat apabila dicampur didalam air. Asam sulfat dapat dimasukkan dalam sumur yang akan dikembangkan juga dengan mencampur bahan butiran tersebut dengan air dalam sebuah tangki dan kemudian menuang asam cair tersebut ke dalam sumur, atau dengan menuang bahan butiran itu sendiri ke dalam sumur dan mencampurnya dengan air di dalam sumur dengan pengadukan. Asam sulfat lebih *mudah* dan lebih aman untuk ditangani daripada asam *muriatic*, asam sulfat tidak merusak kulit yang kering dan pencampurannya tidak menimbulkan asap.



**Gambar Pencucian dengan Bahan Kimia**

### 3) Penggelombangan (*Surgin*)

Penggelombangan berarti penggerakan air keluar masuk lewat formasi tersebut dengan tujuan untuk menghasilkan gerakan yang akan mengendorkan ikatan pasir halus atau butiran-butiran kerikil dan membawanya atau membantu untuk membawanya lewat celah *screen* ke dalam sumur dimana pasir halus dan butiran-butiran kerikil tersebut akan dibuang keluar dengan berbagai cara yang memungkinkan.

Contoh penggelombangan pada umumnya dilakukan dengan metode-metode mekanis, yang menggunakan balok penggelombang, atau dengan metode hidraulis dengan tekanan udara.

a) Penggelombangan mekanis : *well development* dengan balok penggelombang

Balok penggelombang merupakan satu metode yang paling tua dan paling efektif untuk *well development*. Balok semacam itu khususnya dapat digunakan dengan memakai mesin bor tumbuk, dan sering *rig* semacam itu yang dilengkapi dengan balok penggelombang dipakai untuk mengembangkan satu sumur yang dibor dengan metode-metode lain.

Balok-balok penggelombang yang kuat atau balok-balok penggelombang berkatup, biasanya yang dipakai. Tipe-tipe macam ini mungkin desainnya sangat mendetail tetapi semuanya mempunyai cara kerja dengan prinsip-prinsip umum yang sama. Balok penggelombang yang paling efektif dan bisa memberikan keuntungan-keuntungan dalam menghindari terjadinya

penyumbatan pasir pada *screen* adalah balok penggelombang *spring-loaded*, berkatup atau keras.

Saat balok tersebut digerakkan naik dan turun di dalam *casing* atau *screen*, tipe yang keras tersebut dapat memberikan tekanan penggelombang pada air yang berkekuatan hampir sama pada kedua arah. Balok penggelombang berkatup dengan tekanan ke bawah yang lebih perlahan hanya mampu menghasilkan pencucian kembali yang cukup untuk memecahkan segala penyumbatan yang mungkin terjadi dan tekanannya keatas yang lebih kuat menarik butiran-butiran pasir yang telah lepas dari sumbatan yang telah dipecahkan.

Balok penggelombang tersebut dilekatkan pada bagian bawah gagang bor (*drill stamp*) dengan berat yang cukup agar menghasilkan tekanan ke bawah yang tinggi karena pengaruh gaya gravitasi. Berat gagang bor yang akan dilekatkan pada balok tersebut jika dibandingkan dengan diameter *screen* haruslah sebagai berikut :

Diameter <i>screen</i> (inch)	6 "	8"	10"	12"
Berat (kg)	600	700	800	1000

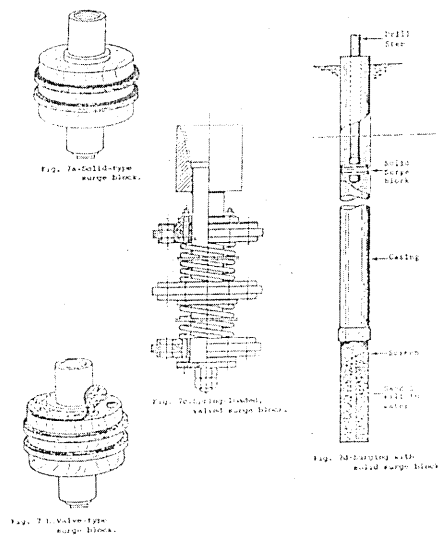
Balok penggelombang tersebut tidak boleh dioperasikan kecuali telah diperoleh arus air yang tidak mengandung pasir, sehingga alat tersebut bisa berjalan dengan halus dan bebas. Alat tersebut harus diturunkan ke dalam *casing* sampai balok tersebut berada kira-kira 5 sampai 10 meter di dalam air dan kemudian dinaik-turunkan dalam *casing*, menggelombangkannya airnya keluar-masuk lewat *screen* tersebut

Setelah penggelombang tersebut berjalan lama sebagaimana dirasakan cukup oleh *driller* maka alat tersebut, diangkat dan alat penimba (*bailer*) dimasukkan dalam sumur untuk membersihkannya. Kelanjutan penggelombang di dalam *casing*, para *driller* yang berpengalaman akan meneruskan penggelombang di bagian bawah *screen* dengan mengangkat balok tersebut pelan-pelan melalui *screen* tersebut sebagaimana penggelombang sedang berjalan sampai semua bagian *screen* telah digelombangkan.

Pengelombang sering dilakukan dengan alat penimba berkatup yang bisa digerak-gerakkan. Cara kerjanya sama dengan balok penimba berkatup dan apabila terdapat perbedaan satu inci atau kurang antara diameter alat penimba tersebut terhadap diameter dalam pipa tersebut, maka akan hampir seefektif balok penimba. Alat

penimba dengan diameter lebih kecil sering juga digunakan dengan penutup kain goni, ring-ring pengapit, atau sejenisnya, untuk menyesuaikan diameter sebelah dalam pipa tersebut secara lebih rapat.

Untuk sumur-sumur *open hole* pada akuifer-akuifer batuan, penggelombangan dapat dilakukan didalam *casing* di sebelah atas *open hole* tersebut.



**Gambar Metode *Development* dengan *Surging***

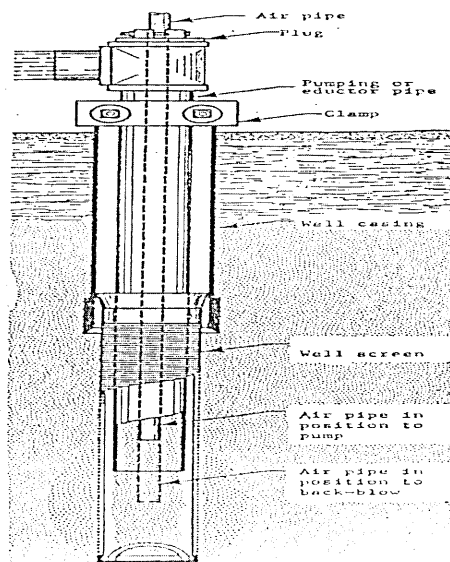
b) Penggelombang hidraulis (*Hydraulic Surging*): Dengan tekanan udara

Metode *development* yang paling sederhana dengan tekanan udara adalah apa yang disebut sistem pipa tunggal terbuka pada *atmosphere*.

Penggelombangan tersebut dilakukan dengan sistem pemompaan udara yang memakai pipa tunggal dengan menggunakan *casing* atau lubang sumur itu sendiri sebagai pengatur arah. Mula – mula sumur tersebut dipompa dengan udara sampai bersih, airnya tidak mengandung pasir, kemudian udaranya ditutup supaya air didalam sumur bisa kembali pada kondisi statis. Katupnya kemudian dibuka kembali dan udara dimasukkan lagi ke dalam sumur sampai air dibawa lagi ke permukaan dengan *air-lift* tersebut; permukaan air di dalam sumur dinaik-turunkan berulang kali sampai air didalam sumur menjadi keruh dimana pada saat itu sumur dipompa terus menerus dengan udara sampai debitnya dan airnya tidak lagi mengandung pasir.



Gambar Penggelombang Hidraulis (*Hydraulic Surging*)



Gambar Penggelombang Menggunakan Kompresor Udara Modifikasi *Air - Lift*

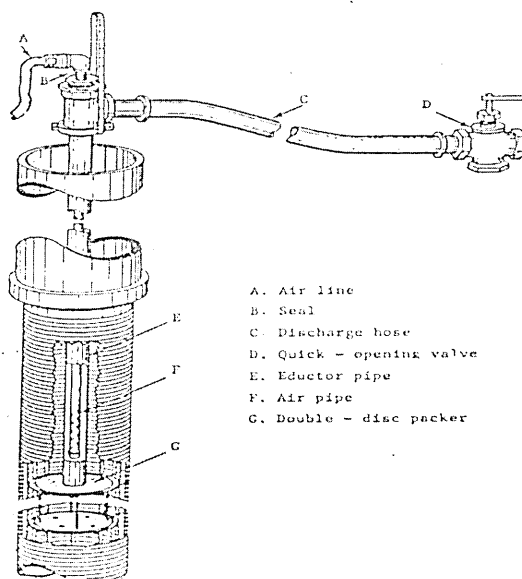
Gambar diatas menunjukkan susunan pekerjaan tersebut dan peralatan yang perlu untuk *development* dengan udara yaitu dengan sistem dua pipa.

Harus diperhatikan bahwa didalam metode ini *drop pipe* diletakkan disebelah dalam *screen*. Untuk pengoperasian yang paling baik, pipa udara harus ditenggelamkan 60%, yaitu 60% panjang total pipa tersebut harus berada dibawah permukaan air pada waktu sumur dipompa.

Pada permulaan *development*, *drop pipe* diturunkan sampai kira-kira 0,5 m dari bagian bawah *screen* dan pipa udara dimasukkan ke dalamnya sampai kira-kira 0,5 m diatas bagian bawah *drop-pipe* tersebut. Udara kemudian dimasukkan dan sumur dipompa dengan

udara (*air-lifted*) sampai airnya yang dipompa tidak mengandung pasir. Tangki udara kemudian dipompa sampai tekanan maksimum, sementara itu pipa udara diturunkan 0,5 m di bawah bagian bawah *drop - pipe* tersebut. Apabila tangki udara sudah penuh, udaranya kemudian disalurkan masuk ke dalam sumur sehingga menimbulkan penggelombang yang kuat terhadap air di dalam sumur. Dan pipa udara segera ditarik ke atas sampai bagian bawahnya berada kira-kira 0,5 m sampai 1 m dan proses penggelombang dan pemompaan tersebut diulangi sampai seluruh panjang *screen* tersebut selesai dikembangkan.

Suatu cara kerja yang efektif untuk *development* sebuah sumur secara bagian demi bagian yang menggunakan penggelombang dengan udara, adalah alat *packer double - disc* ; semua penggelombang dan pemompaan dilakukan didalam *double packer* tersebut dan cara kerjanya pada panjang tertentu daripada *screen*.



**Gambar Penggunaan *Disc Packer* Untuk *Developing* dengan Efek Penggelombang**

i. Uji Pemompaan (*Pumping Test*)

Setelah selesai pengkonstruksian sumur, dilakukan uji pemompaan menerus (*continuous pumping test*) sebaiknya selama 72 jam, uji pemompaan bertahap (*step drawdown test*) dan uji pemulihan (*recovery test*) melalui *long continuous pump*.

Pada uji coba pemompaan bangunan penggunaan air tanah dalam hal ini sumur air tanah, akan terjadi penurunan muka air tanah yang besar, maka pada bagian atas sumur harus mempunyai ruang pompa yang besar untuk dapat memasang pompa turbin atau pompa selam. Pemompaan yang berhasil guna untuk menentukan hubungan gradien hidraulik kritis, penyadapan air vertikal dan akuifer bocor memerlukan mutu kawat saringan yang baik serta ukuran butir

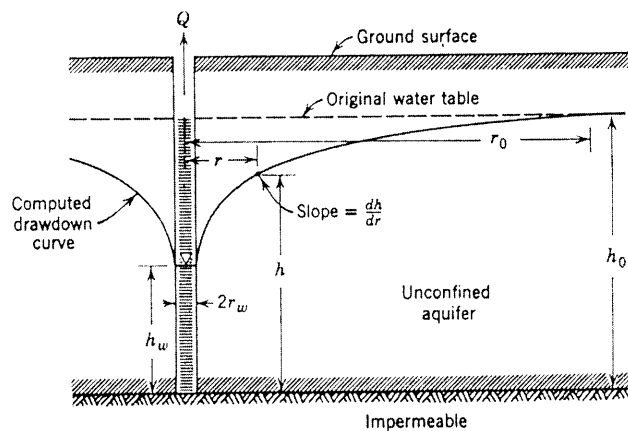
kerikil pembalut yang baik pula. Lokasi saringan yang tepat dan menutupi akuifer dapat ditentukan dengan melakukan *resistivity* SP/PR, log sinar gamma dan data litologi.

Data dari uji pemompaan bisa dipakai untuk mendapatkan karakteristik hidraulik pada akuifer dan akuitar (parameter yang digunakan pada pemodelan air tanah) serta kapasitas spesifik sumur. Tahapan yang pertama dilakukan adalah uji akuifer dan yang kedua adalah uji sumur.

Prosedur untuk uji akuifer adalah sebagai berikut:

Air tanah dipompa keluar dari sumur dimana saringan pada akuifer telah diuji pada waktu dan tingkatan tertentu, dan level air pada sumur uji dan pada sekitar sumur observasi serta piezometer dipantau. Dengan menggunakan metode yang sesuai dengan keadaan lapangan dan memakai formula (analisa atau grafik dengan menggunakan nomogram dan tabel) dan dengan mempertimbangkan tipe dari akuifer, maka karakteristik hidraulik bisa didapatkan.

Pemompaan baik pada akuifer air tanah bebas ataupun pada air tanah terkekang, muka air tanah akan turun membentuk kerucut depresi (*depression cone*) dengan radius pengaruh (*radius of influence*) pada jarak tertentu, untuk waktu tertentu. Bentuk kerucut depresi dipengaruhi oleh besar debit pemompaan, lama waktu pemompaan dan kondisi hidrogeologi setempat seperti bentuk dan kondisi akuifer, besar cadangan atau potensi air tanah dan lain sebagainya. Kelulusan hidraulik ( $k$ ) adalah kelulusan yang dipakai dalam bidang air tanah (satuan m/hari), permeabilitas adalah istilah yang dipakai dalam bidang mekanika tanah (satuan cm/s).



**Gambar Kondisi Kerucut Penyusutan pada Akuifer Tak Terkekang (*Unconfined Aquifer*)**

Cara pelaksanaan uji pemompaan dilakukan dengan 2 cara yang yang berbeda untuk tujuan yang berbed

1) Uji Pemompaan Bertahap (*Step Drawdown Test*)

Uji pemompaan bertahap (*step drawdown test*) adalah uji pemompaan yang dilakukan terhadap sumur uji atau sumur produksi dengan melakukan pemompaan air berdebit tetap dalam periode tertentu dan dilanjutkan dengan debit tetap yang lebih tinggi dalam periode tertentu berikutnya dan begitu seterusnya, disebut dengan uji pemompaan bertahap. Uji pemompaan surutan bertahap bertujuan untuk menetapkan karakteristik kinerja sumur uji atau sumur produksi yang menembus akuifer dalam rangka penentuan debit aman sumur tersebut melalui analisis dan evaluasi terhadap data uji pemompaan surutan bertahap tersebut. Uji pemompaan bertahap menggunakan pompa yang berbeda-beda dari mulai 5 l/s, 10 l/s, sampai 60 l/s. Pompa yang digunakan juga bergantung pada kemampuan akuifer untuk dapat dipompa.

Pelaksanaan uji bertahap dengan cara memompa sumur dengan debit bertahap dalam waktu tertentu, sebagai contoh dapat disajikan sebagai berikut:

**1 Tahapan Uji Pemompaan Bertahap**

Step	Debit Pemompaan	Waktu	Alat Baru
1	20 liter/s	2 - 6 jam	V-Notch/ Orifice Pipe, jam, sounding, meter
2	30 titer/s	2 - 6 jam	
3	40 liter/s	2 - 6 jam	
4	60 liter/s	2 - 6 jam	
Uji Pemulihan ( <i>Recovery Test</i> )		Tak terbatas, sampai putih	Sounding, jam

Tabel data yang terekam dibuat dalam bentuk grafis yang kemudian dianalisa memakai rumus-rumus tertentu untuk mengetahui besaran debit yang dapat dipompa, penurunan muka air tanah dan untuk perencanaan pemilihan / pemasangan pompa yang akan terpasang. Serta diukur penurunan water level dengan menggunakan water level marker setiap jam selama pemompaan.

2) Uji Pemompaan Menerus (*Long Continous Pumping Test*)

Setelah pompa uji bertahap kemudian dilakukan pompa uji menerus selama waktu 72 jam menerus atau lebih yang kemudian diikuti dengan uji pemulihan (*recovery test*) sampai dengan kembalinya muka air tanah ke posisi sedia kala. Biasanya, pompa yang digunakan untuk uji pompa menerus,

ditentukan dari uji pemompaan *step drawdown test* dan kemampuan akuifer. Uji pemompaan di sumur pompa akan mendapatkan harga T (transmitivitas), sedangkan pengukuran di sumur pengamat yang mempunyai jarak tertentu akan mendapatkan nilai T (transmitivitas) dan S (koefisien kandungan). Banyak analisa untuk mendapatkan harga T (transmitivitas) dan S (koefisien kandungan) dari hasil uji pemompaan, misalnya metode *Theis*, *Theis's Recovery*, *Walton*, *Jacob*, *Boulton* dan lain sebagainya. Mencari harga k (kelulusan hidran) dapat diperoleh dengan harga T (transmitivitas) dibagi dengan d, atau dapat juga dicari kalau uji pemompaan menggunakan sumur pengamatan, waktu pemompaan lama, telah mencapai kondisi aliran seimbang (*equilibrium flow*).

Susut sumur (*well loss*) adalah kedudukan muka air tanah terdalam dari kerucut depresi yang ada di sumur. Kedudukan muka air sumur ini akan dapat lebih dalam lagi karena adanya susut sumur (*well loss*). Semakin dalam turunnya muka air di dalam sumur tersebut berarti semakin besar susut sumur tersebut. Susut sumur ini terjadi dikarenakan tidak sempurnanya penyelesaian pelaksanaan pekerjaan sumur bor dibagian saringannya. Dengan berbagai metode analisis dapat dihitung harga susut sumur tersebut, juga harga efisiensi sumur.

Dalam melaksanakan uji pemompaan ini harus diamati pula sumur-sumur penduduk dalam radius tertentu, untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh pemompaan. Uji pemompaan ini harus dilaksanakan dengan sebaik-baiknya, sehingga dari hasil uji pemompaan akan dapat diketahui kapasitas debit sumur, jari-jari pengaruh penurunan muka air (*drawdown Influence*) dan karakteristik lainnya dari akuifer lainnya. Uji ini untuk mengetahui kemampuan akuifer dalam cekungan air tanah tersebut dapat mengeluarkan air tanah, kisaran pengaruh penurunan muka air tanah pada lingkungan disekitarnya dan lain-lain data teknis penelitian hidrogeologi yang berkaitan dengan pengeluaran air tanah diareal tersebut.

**Tabel Range of time intervals between water level measurements in the pumped well**

<b>Waktu sejak pemompaan dimulai</b>	<b>Interval Waktu</b>
0 – 5 menit	0.5 menit
5 – 60 menit	5 menit
60 – 120 menit	20 menit
120 – pompa dimatikan	60 menit

Tabel *Range of time intervals between water level measurements in piezometer*

Waktu sejak pemompaan dimulai	Interval Waktu
0 – 2 menit	Sekitar 10 detik
2 – 5 menit	30 detik
5 – 15 menit	1 menit
15 – 50 menit	5 menit
50 – 100 menit	10 menit
100 menit – 5 jam	30 menit
5 jam – 48 jam	60 menit
48 jam – 6 hari	3 kali sehari
6 hari – pompa dimatikan	1 kali sehari

Perhitungan uji pemompaan menerus ini memakai rumus-rumus antara lain: *Theis, Walton-Boulton, Jacob, Papadopoulos* dll, yang masing-masing disesuaikan dengan kondisi akuifernya.

Rumus Theis adalah:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W_{(u)} = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$$

Dimana

$h_0 - h$  = *draw down*

$T$  = *transmissibility*

$W_{(u)}$  = Fungsi Sumur

Sedang metoda Jacob adalah:

$$T = \frac{264 Q}{\Delta h}$$

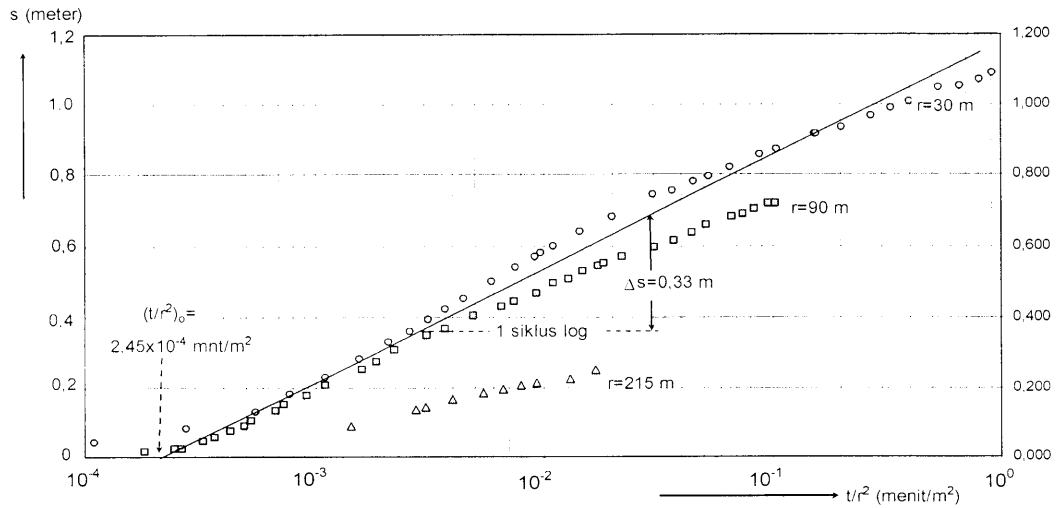
$$s = \frac{0,3 T t_0}{r^2}$$

Dimana

$s$  = *storage coefficient*

$r$  = jarak ke sumur pengamat (meter)

$t$  = waktu sejak pemompaan (detik)



**Gambar Grafik Drawdown Metode Jacobs**

Data uji pemompaan menerus yang dilakukan di lapangan bisa dianalisis dengan tujuan untuk mencari antara lain:

- a. Karakteristik hidraulik akuifer, yaitu T dan S
- b. Karakteristik hidraulik akuitar, yaitu k'
- c. Kapasitas jenis sumur (Q/s) dengan s sebagai surutan (*drawdown*) di dalam sumur.

Selain itu, ketika pemompaan dihentikan, surutan yang terjadi pada masa pemulihan muka air juga tetap dicatat. Uji tersebut dinamakan uji pemulihan (*recovery test*), dan datanya bisa dianalisis untuk tujuan mencari karakteristik hidraulik akuifer. Data karakteristik hidraulik yang diperoleh melalui perolehan data uji pemompaan menerus dan uji pemulihan, bisa dipakai untuk analisis dan evaluasi alternatif pengembangan air tanah dengan menggunakan model air tanah, misalnya sebagai contoh untuk pada sistem akuifer ganda dua, yang berbasis persamaan berikut:

$$T \left( \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) = S \frac{\partial \phi}{\partial t} - Q(x, y, t) + \frac{k'}{D'} (\phi(x, y, t) - H(x, y, t))$$

Tabel berikut memberikan berbagai metode yang dapat dipakai dalam analisis uji pemompaan untuk masing-masing akuifer sesuai kondisi lapangan.

Tabel Ulasan Metode Analisis

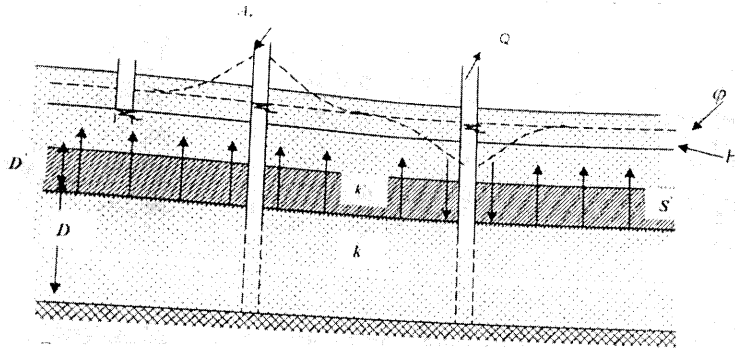
Tipe Akuifer	Kondisi	Persamaan Aliran	Metode Analisis		Keterangan	Parameter yang dihitung
			Nama	Type		
Terkekang	Keadaan Langgeng	$Q = \frac{2\pi kD(S_1 - S_2)}{\ln(r_2/r_1)}$	Thiem	Perhitungan		kD
	Keadaan Lekang	$s = \frac{Q}{4\pi kD} \int_u^\infty \frac{e^{-y}}{y} dy = \frac{Q}{4\pi kD} W(u)$	Theis Chow	Pencocokan lengkung	$u = \frac{r^2 S}{4kDt}$	kD dan S kD dan S
		$s = \frac{2.30Q}{4\pi kD} \log \frac{2.25kDt}{r^2 S}$	Jacob	Garis Lurus	$\frac{r^2 S}{4kDt} < 0.01$	kD dan S
		$s = \frac{2.30Q}{4\pi kD} \log \frac{t}{t''}$	Theis Recovery	Garis Lurus	$s'' =$ susutan sisa $t'' =$ waktu sejak pemompaan dihentikan	kD
Semi Terkekang	Keadaan Langgeng	$S_m = \frac{Q}{2\pi kD} K_0\left(\frac{r}{L}\right)$	De Glee	Pencocokan Lengkung	$L > 3D$	kD dan c
		$S_m = \frac{2.30Q}{2\pi kD} (\log 1.12 \frac{L}{r})$	Hantush Jacob	Garis Lurus	$r/L < 0.05$	kD dan c
	Keadaan Lekang	$Q - Q' = \frac{2\pi kD(S_1 - S_2)}{\ln(r_2/r_1)}$	Ernst mod, Thiem moth	Perhitungan	$Q' =$ recharge rate by confining layer	kD
		$s = \frac{Q}{4\pi kD} \int_u^\infty \frac{1}{y} \exp(-y - \frac{r^2}{4L^2 y}) dy$ $= \frac{Q}{4\pi kD} W(u, \frac{r}{L})$	Walton Hantush I	Pencocokan Lengkung Titik belok	$u = \frac{r^2 S}{4kDt}$	kD, S dan c kD, S dan c

Tipe Akuiifer	Kondisi	Persamaan Aliran	Metode Analisis		Keterangan	Parameter yang dihitung
			Nama	Tipe		
		$s = \frac{Q}{4\pi kD} \left[ 2K_0 \left( \frac{r}{L} \right) - W \left( q, \frac{r}{L} \right) \right]$	Hantush II	Titik belok	$q = \frac{kDt}{SL^2}; q > \frac{2r}{L}; t > 4t_p$	kD, S dan c
			Hantush III	Pencocokan lengkung		
Tak terkekang dengan serahan tunda dan semi bebas	Keadaan Lekang	$s = \frac{Q}{4\pi kD} \int_0^\infty 2J_0 \left( \frac{r}{B} y \right) \frac{y^2}{y^2 + 1} \cdot [1 - \exp\{-\alpha y t(y^2 + 1)\}] \frac{dy}{y} = \frac{Q}{4\pi kD} W(u_{Ay}, r/B)$	Boulton	Pencocokan lengkung	y = Variabel Integrasi $u_A = \frac{r^2 S_Y}{4kDt}$ $\gamma = \frac{S_A + S_Y}{S_A}; \gamma > 100$	kD, S <sub>A</sub> , S <sub>Y</sub> , Band 1/α
Bebas atau Tidak terkekang	Keadaan Langgeng	$Q = \pi k \frac{h_2^2 - h_1^2}{\ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)} = \frac{2\pi kD(s'_{m1} - s'_{m2})}{\ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)}$	Thiem-Dupuit	Perhitungan	$s' = s - (s^2/2D)$	kD
	Keadaan Lekang	Seperti untuk akuifer terkekang			s diganti oleh $s' = s - (s^2/2D)$	kD dan generally S

Keterangan:

S : koefisien kandungan; T : transmitivitas; r : jarak sumur ke pengamat; t : waktu sejak pemompaan; k : kelulusan hidran; D : diameter sumur, W(u) : fungsi sumur

Q : debit, s : surutan (drawdown)



**Gambar Model Air Tanah dengan Kasus Dua Akuifer dan Satu Akuitar**

Hasil uji pemompaan dapat dipakai untuk merancang besar debit pemompaan desain, dengan cara menetapkan terlebih dahulu batas surutan yang diperkenankan dan mencari berapa lama waktu pencapaian terjadinya surutan yang dimaksud.

### 3) Peralatan Uji Pemompaan

Peralatan untuk melaksanakan uji pemompaan diperlukan beberapa peralatan berupa:

#### 1) Alat pemompaan

Jenis pompa (*Turbin/Sentrifugal/Submersible*) lengkap dengan mesin penggerak dan pengatur debit, dengan ketentuan sebagai berikut:

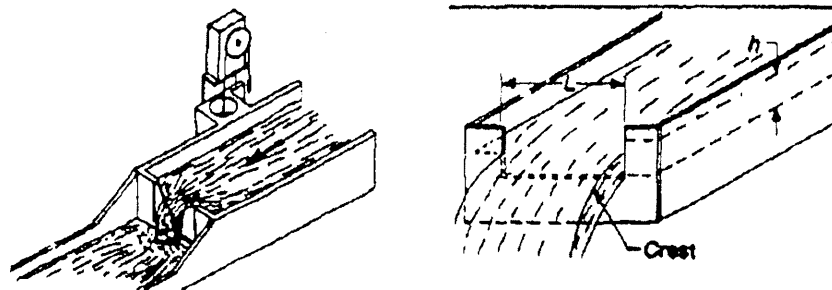
- a) untuk sumur dalam, kapasitas minimal 40 liter/detik, tinggi julang penghisap (*head*) minimal 40 meter
- b) untuk sumur menengah kapasitas minimal 10 liter/detik, tinggi julang penghisap (*head*) minimal 15 meter

#### 2) Alat pengukur debit

Menggunakan *kotak pengukur debit* yang dilengkapi dengan alat ukur Thomson tipe "V-notch" atau dengan "Orifice weir".

#### 3) Alat duga pengukur muka air

Seyogyanya digunakan tipe elektrik seperti AWLI (*Automatic Electric Water Level Indicator*) dengan ketelitian pengukuran minimal 0,1 cm.



**Gambar Peralatan ukur tipe V-Notch dan sekat Cipoletti**

4) Alat pelengkap lainnya

- a) *Stop watch* dan jam wekker yang diperlukan untuk mencatat waktu selama pengujian
- b) Transportasi untuk melakukan pengamatan SWL sumur-sumur pengamatan
- c) Tenda pelindung, meja kursi, *veldbed* untuk pengamat, alat komunikasi

Dengan selesainya pengeboran sumur uji maka akan dapat ditentukan berapa kapasitas debit sumur maksimum yang diijinkan untuk dipompa dan jarak minimal antara sumur produksi yang satu dengan sumur produksi lainnya, untuk data perhitungan kesetimbangan air tanah (*Groundwater Balance*) dan lain sebagainya.

4) Prosedur Uji Pemompaan

Uji pemompaan (*Pumping test*) meliputi kegiatan berikut:

- a) Pemasangan peralatan pengujian dan penentuan debit pengujian.
- b) Pengukuran kedalaman permukaan air tanah awal, yakni pada saat sebelum pompa dihidupkan.
- c) Pengujian dengan metode uji surutan bertahap (*step drawdown test*), dan dilanjutkan dengan uji pemulihan (*recovery test*). Besarnya debit pemompaan harus dicatat baik-baik. Kedalaman muka air tanah dicatat setiap kurun waktu tertentu untuk diplot dalam grafik logaritmik, sehingga penurunan muka air tanah (saat uji penyusutan) dan kenaikan muka air tanah (saat uji pemulihan) dapat terdokumentasi dengan baik.
- d) Pengujian dengan metode uji susutan dengan debit tetap (*constant rate drawdown test*), dan dilanjutkan dengan uji pemulihan .
- e) Evaluasi dan analisis data uji pemompaan terutama uji susutan bertahap, untuk menentukan debit pemompaan optimum.

Prosedur uji pemompaan meliputi:

a) Saluran sumur

Poin-poin berikut relevan dengan pemilihan saluran sumur uji:

- i. Tidak harus dekat dengan batas-batas hidrogeologi yang tidak biasa, seperti patahan besar atau sungai;
- ii. Akses harus cocok untuk tanaman tapi tidak dekat jalan utama dengan getaran lalu lintas;

- iii. Jika dekat dengan kanal yang terdapat timbunan pasir, pompa bisa membebaskan air yang telah terpompa dari saluran sebelum dilanjutkan ke akuifer

Di Indonesia kebanyakan sumur uji akan berlokasi di daerah persawahan yang mungkin akan banjir selama tes. Ini akan menyediakan sumber resapan ke akuifer bebas tetapi efeknya bisa dihindari jika pengujian dilakukan pada musim kemarau dan *area* belum teririgasi pada saat itu (sawah tadah hujan)

b) Tempat Instalasi

Tes juga harus dilakukan penyaringan terhadap 75% dari akuifer sehingga efek penetrasi parsial dapat diabaikan. Ini tidak mungkin dalam akuifer bebas yang cukup tipis karena penarikan yang cukup besar dapat direncanakan dan saringan tidak harus ditempatkan di bagian atas karena ia akan menjadi kering.

*Drawdown* harus diukur dalam sumur pompa dan akan digunakan untuk menentukan karakteristik *tubewell* dan akuifer. Namun, sumur observasi akan sangat meningkatkan perhitungan karakteristik akuifer karena mereka tidak terpengaruh oleh susut sumur. Karena biaya mungkin hanya untuk satu sumur observasi, tetapi tes yang lebih lengkap akan mencakup setidaknya 3 lubang di garis tegak lurus kontur muka air dan 2 lubang pada garis sejajar dengan kontur muka air, jauh dari sumur uji. Hal ini akan memungkinkan perhitungan menggunakan *distance-drawdown* seperti *time-drawdown* dan juga untuk menunjukkan efek dari anisotropi akuifer. Penggunaan dana mungkin bukan hanya untuk memiliki sumur observasi di beberapa sumur uji tetapi dengan dua atau tiga saluran sumur yang terdokumentasi.

Sumur observasi harus diletakkan cukup dekat dengan sumur uji untuk mendapatkan pengukuran *drawdown* cukup jauh untuk memiliki aliran horizontal dan laminar. Hal ini tergantung pada jenis akuifer, transmisivitasnya pada *pumping rate*. Tabel dibawah ini menunjukkan radial jarak untuk penarikan dari 0,5 m dalam akuifer terbatas ( $S = 10^{-3}$ ) sebuah dalam akuifer bebas ( $S_y = 10^{-1}$ ), untuk transmisivitas berbeda dan pengisian.

**Tabel Hubungan *Drawdown-Distance* Sumur Observasi dengan *Drawdown Constant* Di 0.5m**

<i>Transmissivity</i>	S	Q (m <sup>3</sup> / day)	r (m)	Sy	Q (m <sup>3</sup> / day)	r (m)
T						
<i>Low</i>	10 <sup>-3</sup>	1000	420	10 <sup>0</sup>	1000	13
100 m <sup>2</sup> /day	10 <sup>-3</sup>	3500	690	10 <sup>0</sup>	3500	20

<i>Medium</i>	$10^{-3}$	1000	220	$10^0$	1000	7
500m <sup>2</sup> / day	$10^{-3}$	3500	780	$10^0$	3500	25
<i>High</i>	$10^{-3}$	1000	4	$10^0$	1000	0.1
2000m <sup>2</sup> / day	$10^{-3}$	3500	360	$10^0$	3500	10

Untuk  $t = 1$  hari . Berdasarkan Theis unsteady – state equation

Sumur observasi harus dibangun sehingga ditempatkan di bagian lebih kurang pada titik pusat setiap bagian saringan pada sumur uji. Piezometer adalah lubang observasi dengan ujung permeabel sangat singkat sehingga mengukur kepala piezometric pada satu titik dalam akuifer. Piezometer dapat diinstal pada tingkat yang berbeda di satu lokasi untuk menyelidiki variasi kepala vertikal.

c) Pengukuran Lapangan

Selama pengujian debit harus dipertahankan sebagai hampir konstan mungkin, menggunakan katup gerbang pada garis debit, dan itu harus dicatat setiap jam. Debit dapat diukur dengan mengintegrasikan meteran air digital tetapi harus telah dikalibrasi sebelum kontrak pengujian. Pengukuran sering hanya akurat untuk aliran kisaran terbatas sehingga tidak dianjurkan untuk langkah pengujian. Idealnya pengukuran ketinggian air harus dimulai beberapa hari sebelum pemompaan mulai untuk menentukan setiap resesi jangka panjang dan variasi diurnal (siang hari) sehingga koreksi yang dapat dibuat untuk tren ini.

Contoh kasus untuk pengukuran lapangan di daerah Gemolong, Sragen provinsi Jawa Tengah:

Sumur hidrograf sering menunjukkan musim resesi kering 10 sampai 50 mm / hari dan AWLR menunjukkan fluktuasi barometrik harian 15 mm / hari. Oleh karena itu pada akhir dari 3 hari pengujian, dapat tercatat sebanyak 165 mm dan resesi kering 60-70 mm. Koreksi untuk tren tersebut berharga dalam sumur observasi untuk tes musim kemarau. Pada musim hujan efek mengisi ulang akan membuat fluktuasi tak terduga. Pengukuran tingkat air harus sangat sering untuk satu jam pertama atau pemulihan dan kurang sering setelahnya. Membaca prosedur pengujian waktu Interval dijelaskan oleh Johnson (1966) dan Kruseman Ridder (1979).

Pengamat tes pompa harus mencatat pada lembar laporan lapangan hasil pengukuran yang dilakukan. Misalnya kedalaman untuk titik baik, *head* air selama *V-notch*, waktu, penarikan, debit dan waktu berlalu sejak memompa, tidak harus direkam secara langsung.

d) Jangka Waktu dan Jenis Tes

Tes *pumping* sebaiknya dilakukan sebanyak 5 kali peningkatan debit, setiap pemompaan dilakukan selama 100 menit. Perkiraan debit dalam 5 tingkatan ditentukan dari kenaikan pompa selama pemompaan atau pada awal pemompaan. Kenaikan tingkat debit pemompaan dilakukan untuk menguji/mengetahui debit konstan, yang ditentukan dari hasil tes peningkatan pemompaan. Jika pada tingkatan yang berbeda mempunyai hasil yang sama dengan tingkat pemompaan yang ke 5, maka dapat ditentukan debit konstan. Tetapi jika tidak stabil hasil debit, maka seharusnya debit konstan akan berkurang.

Akuifer vulkanik di Indonesia sering menunjukkan penghalang efek batas, mungkin karena *lenticularity* dari kerikil. Hal ini sangat penting untuk menentukan efek tersebut untuk menentukan debit sumur produksi dan jangka *pumping water level* (PWL). Dalam praktiknya 3 hari memompa mungkin cukup lama untuk batas seperti yang menyebabkan penarikan meningkat lebih cepat daripada yang diharapkan.

Dalam akuifer terkekang tes debit 7 sampai 10 hari konstan akan diperlukan untuk menentukan hasil tertentu dengan metode *Boulton*. Tes tersebut telah dilakukan di Kediri tetapi dengan hasil yang tidak meyakinkan karena mengisi ulang dari air irigasi dan fluktuasi debit.

e) Kualitas Air

Pengujian kualitas air, dilakukan untuk tujuan:

- i. Mengetahui kualitas air tanah alami
- ii. Mengetahui kesesuaian dengan kualitas yang diperlukan untuk penggunaannya (Rumah Tangga, Perkotaan dan Industri, Irigasi dll)
- iii. Mengetahui terjadinya polusi pada air tanah

Pelaksanaan pengujian kualitas air dilakukan dengan cara berikut :

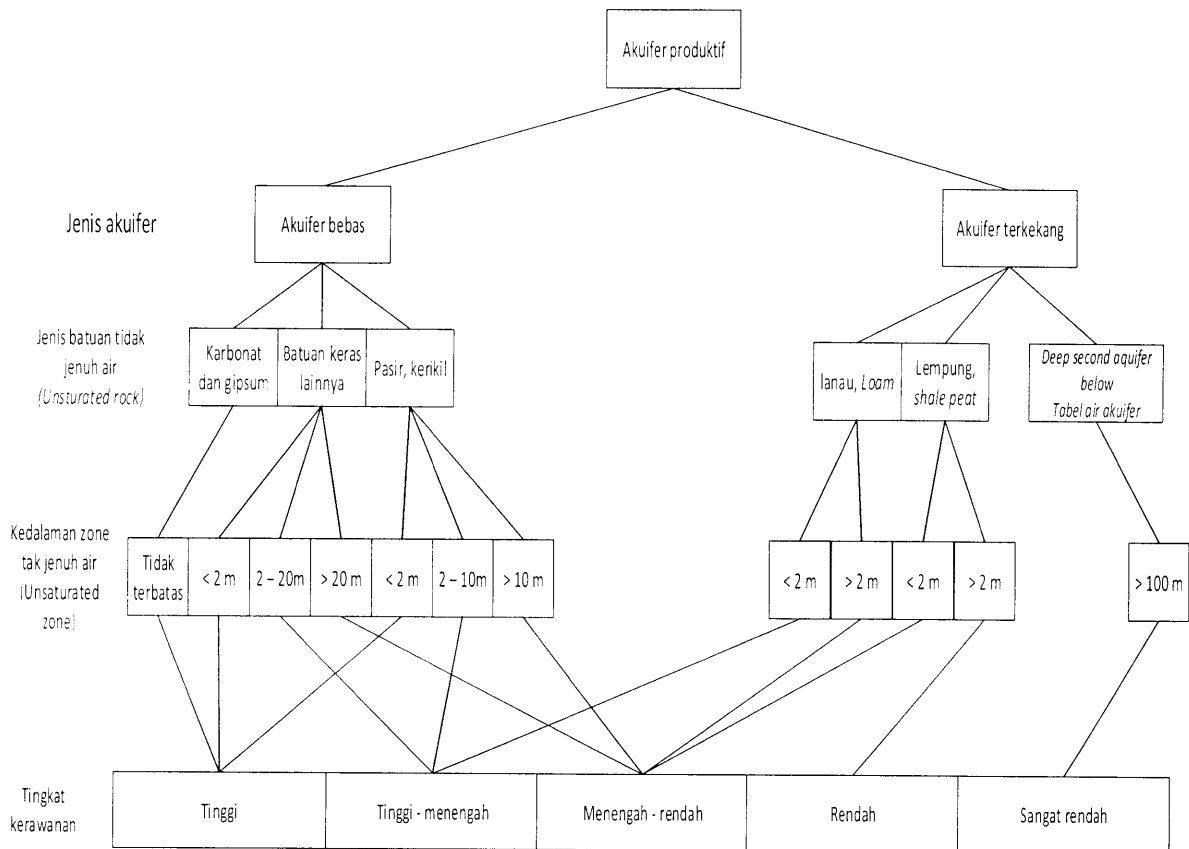
- i. Pengujian peralatan dan bahan-bahan yang meliputi :
  - Peralatan analisis lapangan terdiri ata Ec – meter, pH – meter, termometer, titrasi volumetri, nanocolometer, dan analisis bakteri
  - Bahan-bahan kimia antara lain larutan standar pH, indikator, pereaksi pengujian, larutan pengawet dan media untuk pemeriksaan bakteri koli (jika dipandang perlu)
  - Botol/tempat mengambil dan menyimpan percontoh air tanah untuk analisis secara lengkap di laboratorium
- ii. Pengujian pelaksanaan meliputi :

- Pemeriksaan dan analisis parameter fisika, unsur/senyawa kimia utama, dan bakteri koli (jika dipandang perlu) terhadap sampel air tanah sekurang - kurangnya pada saat sebelum pemompaan dan akhir pemompaan
- Pengambilan percontoh air tanah untuk analisis secara lengkap di laboratorium, sekurang - kurangnya diambil pada saat sebelum dan akhir uji pemompaan

Penggunaan dari data kualitas air tanah tergantung dari tujuan studi air tanah apakah untuk RKI, irigasi, dan lain-lain tergantung dari penggunaannya. Hal ini dapat digunakan sebagai alat untuk kajian hidrologi, kajian polusi air, atau kajian lingkungan lainnya.

Dalam kajian hidrologi, hanya beberapa dari zat pelarut yang dapat diambil, agar dapat mencapai kesimpulan tertentu. Sebagai contoh pada model intrusi air laut yang terpenting adalah untuk mengetahui nilai - nilai numerik dari konduktivitas listrik, kandungan klorida dan total zat terlarut.

Dalam penelitian pencemaran air tanah, memberikan pengelompokan kepekaan air terhadap pencemaran berdasarkan tipe dari akuifer. Kriteria kepekaan air tanah lainnya adalah kemampuan akuifer untuk meniadakan zat kimia berbahaya dari air tanah. Dengan mengambil contoh dan menganalisisnya di dalam laboratorium konsentrasi zat kimia, dalam parameter tertentu dapat ditentukan dan jika konsentrasi mencapai nilai ambang batas bisa dikatakan polusi sedang berlangsung.



**Gambar Klasifikasi dari tingkat kepekaan dari peristiwa perlindungan air tanah dari pencemaran dari permukaan**

Dikatakan contoh-contoh air tanah pada sumur harus dilakukan analisa di lapangan, hanya beberapa unsur kimia dan dalam laboratorium untuk mengetahui kualitas air tanah.

Kualitas air tanah mempunyai komponen-komponen yang utama dengan satuan mg/l dan kadang-kadang dalam gr/l. Untuk komponen minor kisarannya  $\mu\text{g/l}$  atau bahkan lebih kecil lagi. Nilai ambang standar / nilai ambang baku untuk setiap konsentrasi zat kimia, dan harus disebutkan di dalam pencatatan kualitas air tanah.

Contoh tabel ini menunjukkan tabel standar air minum dari WHO dan Kementerian Kesehatan (2010) dengan nilai ambang batasnya.

**Tabel Kriteria kualitas air minum Indonesia dan WHO Internasional**

No	Items	Unit	WHO International		Kementerian Kesehatan Indonesia	
			I	II	I	II

No	Items	Unit	WHO International		Kementerian Kesehatan Indonesia	
			I	II	I	II
(*)	Physic					
1	Turbidity	Units S10 <sub>2</sub>	5	25	5	25
2	Color	Units Pt/Co	5	50	5	50
3	Odor	-	None	Alight	None	-
4	Taste	-	Well	Reasonable	Well	-
5	pH	-	7,0	8,5	6,5	9,2
(*)	Chemistry	(*)				
6	Total solid	Mg / l	-	-	500	1500
7	Organic watter	Mg/l KMnO <sub>4</sub>	10	-	-	10
8	Carbon dioxide aggressive	Mg/l CO <sub>2</sub>	-	-	-	0,0
9	Total Hardness	*D	5,6*	28*	5*	10*
10	Calsium	Mg/l Ca	75	200	75	200
11	Magnesium	Mg/l Mg	30	150	30	150
12	Iron	Mg/l Fe	0,1	0,1	0,1	1,0
13	Manganese	Mg/l Mn	0,05	0,5	0,05	0,5
14	Copper	Mg/l Cu	0,05	1,5	0,05	1,5
15	Zinc	Mg/l Zn	5,0	15	0,1	15
16	Chloride	Mg/l Cl	200	600	200	600
17	Sulphate	Mg/l So <sub>4</sub>	200	400	200	400
18	Sulphide	Mg/l H <sub>2</sub> S	-	-	-	0,0
19	Fluoride	Mg/l F	0,7	0,8	1,0	2,0
20	Ammonia	Mg/l NH <sub>4</sub>	-	-	-	0,0
21	Nitrate	Mg/l NO <sub>3</sub>	-	45	-	20
22	Nitrite	Mg/l	-	-	-	0,0

No	Items	Unit	WHO International		Kementerian Kesehatan Indonesia	
			I	II	I	II
23	Phenol	NO <sub>2</sub> Mg /l	0,001	0,002	0,001	0,002
24	Arsenic	Mg/l As	-	0,05	-	0,05
25	Lead	Mg/l Pb	-	0,10	-	0,10
26	Selenium	Mg/l	-	0,01	-	0,01
27	Chromium Hexavalent	Se Mg/l	-	0,001	-	0,05
28	Cyanide	Cr Mg/l	-	0,05	-	0,05
29	Cadmium	Cn Mg/l	-	0,01	-	0,01
30	Mercury	Cd Mg/l	-	0,01	-	0,001
		Hg				
(*)	Bacteriologi	(*)				
31	General Bacteria	-	-	-	-	None
32	Coliform Bacteria	-	MPN 10 All year	-	-	None
(*)	Radio Activity	(*)				
33	Alpha	Ra 226	10 <sup>-9</sup>	-	-	10 <sup>-9</sup>
34	Beta	Sr 90	10 <sup>-8</sup>	-	-	10 <sup>-8</sup>
(*)	Other Substance					
35	Boron	Mg/l B	-	-	-	-
36	Flourida :		-	-	-	-
	- Temp 50 – 58,3 ° F	Mg/l F	-	-	-	-
	- Temp 58,4 – 70,6 ° F	Mg / l F	-	-	-	-
	- Temp 70,7 – 90,5 ° F	Mg/l	-	-	-	-
37	Nitrogen (No <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub> )	F Mg/l	-	-	-	-
38	Uranyl	N Mg/l	-	-	-	-
		UO <sub>2</sub>				
(*)	Pesticide					
39	Aldrine	Mg/l	-	-	-	-
40	Chlordane	Mg/l	-	-	-	-

No	Items	Unit	WHO International		Kementerian Kesehatan Indonesia	
			I	II	I	II
41	D.D.T	Mg/l	-	-	-	-
42	Dieldrine	Mg/l	-	-	-	-
43	Endrine	Mg/l	-	-	-	-
44	Heptachlor	Mg/l	-	-	-	-
45	Heptachlor Eporide	Mg / l	-	-	-	-
46	Lindone	Mg / l	-	-	-	-
47	Methaxychlor	Mg / l	-	-	-	-
48	Organo Phospor	Mg / l	-	-	-	-
49	Toxaphene	Mg / l	-	-	-	-

j. Pembetonan Sumur

Suatu lapisan buatan (berupa lulusan semen) yang berfungsi untuk menahan konstruksi lubang bor, dengan cara memasukkan adonan semen keatas permukaan *gravel* (ruang antara dinding pipa konstruksi dengan dinding lubang bor) melalui pipa penghantar. Kemudian pipa dicabut satu persatu sampai semen mencapai permukaan.

Pekerjaan *grouting cement* dilakukan dengan maksud untuk :

- 1) Menyekat air yang tidak dikehendaki (agar air permukaan tidak masuk kedalam sumur)
- 2) Mengikat pipa konstruksi dengan dinding lubang bor agar kondisi pipa konstruksi kokoh dan tidak meluncur turun.

k. Pemasangan Tutup Sumur

Pekerjaan terakhir yang dilakukan setelah dilaksanakan pemompaan uji adalah pemasangan tutup sumur. Pemasangan tutup sumur ini bertujuan untuk mencegah material-material asing masuk kedalam sumur. Pemasangan tutup harus dilengkapi kunci dan patok tanda pengenal sumur dengan mencantumkan nomor sumur dan tahun pembuatan.

*Well Cap*, adalah penutup sumur mempunyai diameter lebih besar dari pipa yang ditutupnya, kegunaannya agar konstruksi sumur tidak dimasuki barang-barang oleh orang yang tidak bertanggung jawab baik sengaja maupun tidak sengaja.

*Well Cementing Mortar*, adalah bahan semen yang dicor di bagian permukaan tanah atas, untuk menghindari kotoran/cairan lainnya masuk kedalam sumur, mempunyai pipa kecil dia 2"-3" dengan panjang tertentu yang dipakai sebagai

lubang pengamat muka air tanah (*static water level observation*) dan lubang untuk menambah *gravel pack* apabila terjadi penurunan permukaan *gravel*.

Panjang *casing* atas yang diperlukan menentukan penutup atas sumur juga ditentukan oleh persyaratan pompa. Pompa biasanya perlu tetap terendam, dengan rendaman minimum yang disarankan oleh produsen. Operasi tingkat air di sumur dapat dihitung sebagai jarak di bawah permukaan tanah dari tingkat *piezometric* statis "tingkat air statis" (H), penarikan diantisipasi di sumur (sw), margin keamanan (SF).

Pengantisipasi dengan aliran sumur (sw) biasanya dihitung untuk kondisi *steady state*, sebagai fungsi dari sumur debit desain dan aliran akuifer (atau produk dari panjang saringan dan akuifer permeabilitas).

Nilai indeks keamanan (SF) harus mencakup:

- 1) Variasi dalam akuifer keterusan karena akuifer heterogenitas;
- 2) Tingkat kerusakan sungai;
- 3) Kehilangan energi pada sumur (yang timbul dari aliran melalui saringan dan paket kerikil);
- 4) Perkiraan potensi kerusakan sumur, dll.

a) Perhitungan Panjang Penutup Atas Sumur

Jadi nilai panjang penutup sumur dihitung melalui:

$$L = H + Sw + SF + PR$$

Dimana:

L : panjang dari *casing* atas (m)

H : mendalam untuk tingkat air statis (m BGL)

Sw : penarikan diantisipasi (m)

SF : Keselamatan margin (faktor keamanan)

PR : persyaratan pompa yang meliputi:

Pompa perendaman dengan inlet impeller; plus

Panjang pompa di bawah titik ini;

Konsekuensi dari membuat ketentuan yang tidak memadai untuk tingkat pemompaan air lebih rendah dari mengantisipasi oleh memiliki terlalu pendek *casing* atas adalah serius, bahwa debit berkurang harus diterima atau sumur harus kembali dibor. Kadang-kadang juga *casing* atas diperpanjang ke atas akuifer, tetapi biaya latihan ini sering terlalu tinggi

b) Diameter Panjang Penutup Atas Sumur

Diameter penutup atas sumur diperlukan untuk mengakomodasi pompa, dengan beberapa margin untuk izin sekitar unit. Produsen pompa akan merekomendasikan *minimum casing* (lihat Tabel di bawah). Diameter harus

cukup besar untuk pompa untuk menjadi fit nyaman, membuat tunjangan untuk non-vertikalitas dari lubang bor. Sebuah diameter 100 mm lebih besar dari diameter pompa nominal sering direkomendasikan. Pada umumnya, kecepatan vertikal dalam casing juga harus kurang dari 1,5-2 m/detik untuk meminimalkan kerugian sumur.

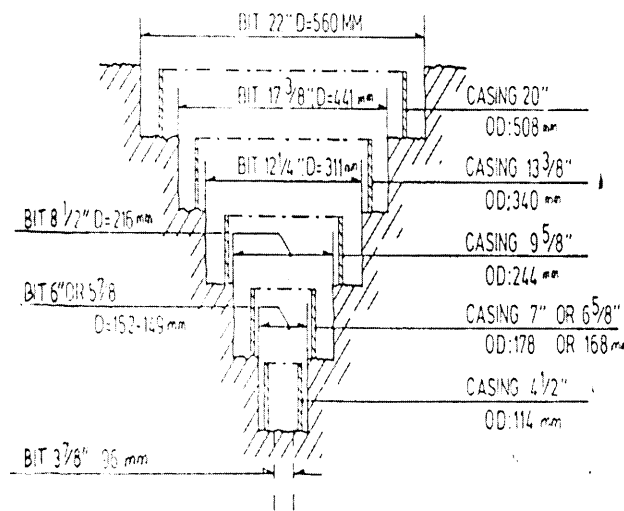
**Tabel Rekomendasi Diameter Sumur untuk Berbagai Tipe Pompa**

Anticipated Well Yield m <sup>3</sup> /day	Nominal Size of Pump Bowls		Optimum Size of Well Casing		Smallest Size of Well Casing	
	in	mm	in	mm	in	mm
Less than 545	4	102	6 ID	152 ID	5 ID	127 ID
409 - 954	5	127	8 ID	203 ID	6 ID	152 ID
818 - 1,910	6	152	10 ID	254 ID	8 ID	203 ID
1,640 - 3,820	8	203	12 ID	305 ID	10 ID	245 ID
2,730 - 5,450	10	254	14 OD	356 OD	12 ID	305 ID
4,360 - 9,810	12	305	16 OD	406 OD	14 OD	356 OD
6,540 - 16,400	14	356	20 OD	508 OD	16 OD	406 OD
10,900 - 20,700	16	406	24 OD	610 OD	20 OD	508 OD
16,400 - 32,700	18	508	30 OD	762 OD	24 OD	610 OD

Hal yang perlu diperhatikan bahwa:

- Untuk informasi pompa khusus, pendesain sumur harus menghubungi pemasok pompa, menyediakan hasil diantisipasi, kondisi kepala pompa, dan pompa diperlukan.
- Ukuran casing juga didasarkan pada diameter luar mangkuk untuk turbin vertikal pompa, dan pada diameter baik mangkuk pompa atau motor untuk pompa *submersible*.

Selain itu, diameter casing juga didasarkan pada ukuran bit yang digunakan dalam pengeboran lubang bor. Gambar berikut menunjukkan hubungan antara lubang dan diameter casing.



**Gambar Diameter Penutup Atas Sumur**

BAB II  
PEMANTAUAN DAN PENGAWASAN KONSTRUKSI SUMUR AIR TANAH

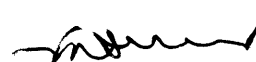
Pemantauan dan pengawasan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sebuah konstruksi sumur air tanah, Pemantauan dan pengawasan, dilakukan berdasarkan:

1. pencatatan dan pelaporan hasil konstruksi sumur air tanah yang telah dilaksanakan di lapangan. Pencatatan dan pelaporan merupakan kegiatan yang dilakukan oleh pelaksana di lapangan dalam hal ini Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) dan Balai Wilayah Sungai (BWS).

Adapun pencatatan dan pelaporan dilakukan sesuai contoh format pencatatan dan pelaporan yang tercantum pada lampiran II, antara lain:

- a. Laporan harian;
  - b. Laporan mingguan;
  - c. Laporan lithologi log;
  - d. Laporan log pemboran;
  - e. Laporan uji ketegaklurusan sumur;
  - f. Data instalasi pipa;
  - g. Pemasangan *gravel pack*;
  - h. Pengujian *airlift test*;
  - i. Laporan pengembangan sumur (*well development*);
  - j. Uji pemompaan pendahuluan (*trial test*);
  - k. Uji pemompaan bertingkat;
  - l. Uji pemompaan debit tetap (menerus); dan
  - m. Uji pemulihan.
2. Pelaporan dan pencatatan sebagaimana dimaksud pada angka 1 dibuat oleh pelaksana kegiatan selama pekerjaan konstruksi sumur air tanah berlangsung, disetujui oleh konsultan supervisi, dan diketahui oleh pengawas lapangan dan pejabat pembuat komitmen (PPK).
  3. Hasil dari pencatatan dan pelaporan dilaporkan oleh Kepala BBWS/BWS kepada Direktur Jenderal Sumber Daya Air c.q Pusat Air Tanah dan Air Baku sebagai bagian dari fungsi pemantauan dan pengawasan konstruksi sumur air tanah.

DIREKTUR JENDERAL SUMBER DAYA AIR,



Dr.Ir. Hari Suprayogi. M.Eng  
NIP.195911071985031002

BAB II  
PEMANTAUAN DAN PENGAWASAN KONSTRUKSI SUMUR AIR TANAH

Pemantauan dan pengawasan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sebuah konstruksi sumur air tanah, Pemantauan dan pengawasan, dilakukan berdasarkan:

1. pencatatan dan pelaporan hasil konstruksi sumur air tanah yang telah dilaksanakan di lapangan. Pencatatan dan pelaporan merupakan kegiatan yang dilakukan oleh pelaksana di lapangan dalam hal ini Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) dan Balai Wilayah Sungai (BWS).

Adapun pencatatan dan pelaporan dilakukan sesuai contoh format pencatatan dan pelaporan yang tercantum pada lampiran II, antara lain:

- a. Laporan harian;
  - b. Laporan mingguan;
  - c. Laporan lithologi log;
  - d. Laporan log pemboran;
  - e. Laporan uji ketegaklurusan sumur;
  - f. Data instalasi pipa;
  - g. Pemasangan *gravel pack*;
  - h. Pengujian *airlift test*;
  - i. Laporan pengembangan sumur (*well development*);
  - j. Uji pemompaan pendahuluan (*trial test*);
  - k. Uji pemompaan bertingkat;
  - l. Uji pemompaan debit tetap (menerus); dan
  - m. Uji pemulihan.
2. Pelaporan dan pencatatan sebagaimana dimaksud pada angka 1 dibuat oleh pelaksana kegiatan selama pekerjaan konstruksi sumur air tanah berlangsung, disetujui oleh konsultan supervisi, dan diketahui oleh pengawas lapangan dan pejabat pembuat komitmen (PPK).
  3. Hasil dari pencatatan dan pelaporan dilaporkan oleh Kepala BBWS/BWS kepada Direktur Jenderal Sumber Daya Air c.q Pusat Air Tanah dan Air Baku sebagai bagian dari fungsi pemantauan dan pengawasan konstruksi sumur air tanah.

DIREKTUR JENDERAL SUMBER DAYA AIR,

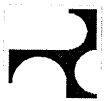


Dr. Ir. Hari Suprayogi, M. Eng  
NIP.195911071985031002

LAMPIRAN II  
SURAT EDARAN DIREKTUR JENDERAL  
SUMBER DAYA AIR  
NOMOR 03/SE/Da/2019  
TENTANG  
PEDOMAN PERSIAPAN DAN PELAKSANAAN  
KONSTRUKSI SUMUR AIR TANAH UNTUK  
MENDUKUNG PENYEDIAAN AIR BAKU

FORMAT PENCATATAN DAN PELAPORAN SELAMA PELAKSANAAN  
KONSTRUKSI SUMUR AIR TANAH





Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

PEKERJAAN : PEMBORAN SUMUR  
DALAM  
DI .....

**LAPORAN HARIAN**

Hari : ..... Tanggal : ..... Minggu ke : .....

- 1 Satuan Kerja : 5 Penyedia Jasa
- 2 PPK : 6 No dan Tgl Kontrak
- 3 Pekerjaan : 7 No dan Tgl Amandemen :
- 4 Lokasi : 8 Waktu Pelaksanaan
- 9 Operator

No	KEGIATAN			TENAGA		BAHAN						Keterangan	
	Uraian	Satuan	Hasil	Jenis	Jumlah Orang	Jenis Bahan	Stock yang lalu	Masuk/Diterima	Jumlah	Digunakan	Stok		Jumlah Digunakan s/d hari ini
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 = 8+9	11	12 = 10 - 11	13 = 1300 - 11 + 11	14
PERALATAN													
		Macam		Jumlah		Jam Operasi							
Cerah		: Jam	..... s/d	Unit		Jam							
Mendung		: Jam	..... s/d	Unit		Jam							
Gerimis		: Jam	..... s/d	Unit		Jam							
Hujan		: Jam	..... s/d	Unit		Jam							
				Unit		Jam							
				Unit		Jam							
				Unit		Jam							

Mengetahui :  
Pejabat PPK

Dibuat :

( ..... ) ( ..... ) ( ..... ) ( ..... )







# UJI KETEGAKLURUSAN

Nomor Kontrak :  
Tahun Anggaran :

Penyedia Jasa :  
Nomor Sumur :  
Lokasi :  
Tanggal :

Diameter Casing : ..... Inch  
Tinggi Casing : ..... m  
Kedalaman : GL + ..... m  
Jambang Elevasi : GL - ..... m  
Top Casing : + ..... m  
Operator :

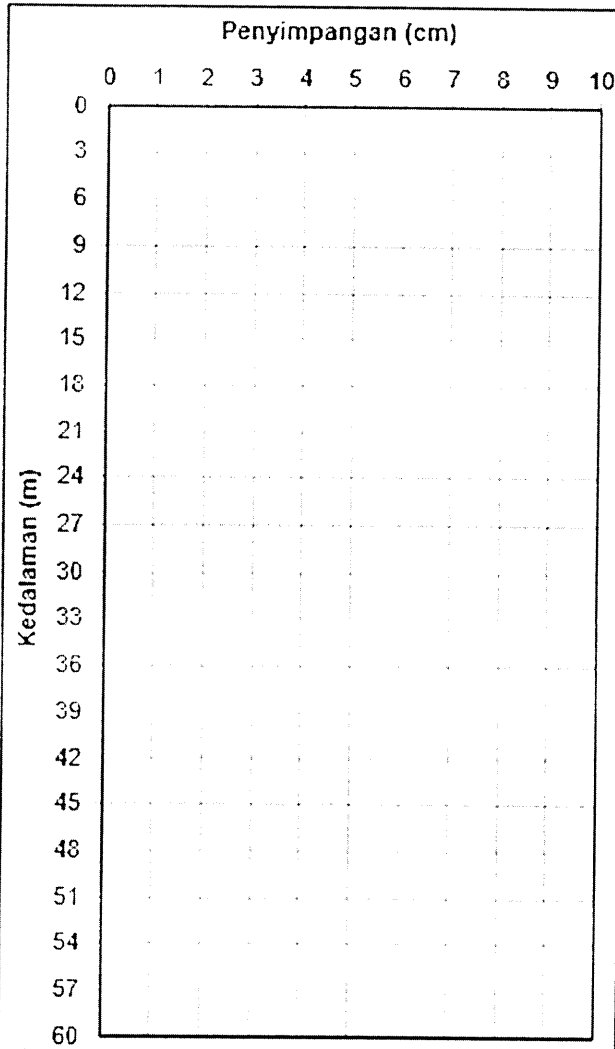
**h**  
(m)

**d**  
(m)

**R**  
(mm)

**D**  
(cm)

## KETERANGAN



Rumus :

- D = R (1 + d/h)
- D : Penyimpangan casing jambang
- R : Pergeseran yang diukur
- h : Jarak katrol
- d : Kedalaman dummy dan top casing

Tg Ø - .....  
Ø - .....





## PENGUJIAN AIRLIFT TEST

Nomor Kontrak : .....	Tahap : Akhir (Test)
Tahun Anggaran : 20 .....	Pompa (Type, HP) : .....
Penyedia Jasa : .....	Mesin Penggerak (HP) : .....
No. Sumur : .....	Alat Ukur : V-Notch/Orifice/Bucket
Lokasi : .....	Compress or : CFM/ Psi
Tanggal Mulai : .....	Tinggi Top <i>Casing</i> : MT +..... M
Tanggal Selesai : .....	Elevasi (MT) : ..... M
Operator : .....	SWL (dari Top <i>Casing</i> ) : ..... M

Tanggal	Jam	Waktu (menit)	Tinggi Muka Air (m)	Penurunan (m)	H (cm)	Q (l/dt)	Keterangan
		0					
		1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		6					
		7					
		8					
		9					
		10					
		12					
		14					
		16					
		18					
		20					
		25					
		30					
		35					
		40					
		45					
		50					
		55					
		60					
		70					
		80					
		90					
		100					
		110					
		120					
Tanggal	Jam	Waktu (menit)	Tinggi Muka Air (m)	Penurunan (m)	H (cm)	Q (l/dt)	Keterangan

		135					
		150					
		165					
		180					
		200					
		220					
		240					

CATATAN :

....., 20...

Mengeahui, Disetujui, Dibuat,  
 Pengawas Lapangan PPK

( ..... ) ( ..... ) ( ..... ) ( ..... )

Lembar ..... dari .....

**PENGEMBANGAN SUMUR (WELL DEVELOPMENT)**

Nomor Kontrak : ..... Metode : .....

Penyedia : ..... Pompa (Type & Kapasitas) : ..... l/dt.

Jasa : ..... Kompresor : .....CFM.....Psi.

No. Sumur : ..... Dia. Pipa Edukator : .....inch

Lokasi Desa : ..... Dia. Pipa Tiup : .....inch

Kec. : ..... SWL (dari Tinggi Top Casing) : .....m

Kab. : ..... Tinggi Top Casing : .....m

Tanggal Mulai : ..... Elevasi (GL) : .....m

Tanggal Selesai : ..... Operator : .....

Operator : .....

No. Screen	Kedalaman	Waktu		Mud Pump		Tekanan Compressor (kg/cm2)	Katup *)	Uraian **)
		Mulai	Sampai	Tekanan (kg/cm2)	Debit (l/det)			



## UJI PEMOMPAAN PENDAHULUAN (TRIAL TEST)

Nomor Kontrak :	Tipe Pompa :
Nomor Sumur :	Mesin Penggerak (HP) :
Lokasi: Desa, Kec, Kab :	Pipa orifice ( inch ) : <sup>o</sup> .
Tanggal Mulai :	Pipa discharge ( inch ) : <sup>o</sup> .
Tinggi top casing (m) :	Posisi pompa ( m ) :
SWL (dari top casing, m) :	Pump Chamber (m) :
SWL (dari MT, m) :	Operator :
Lembar ... dari ...	

Tanggal	Jam	Waktu pemompaan (menit)	Kedalaman muka air (m)	Penurunan muka air (m)	H (cm)	Q (l/s)	Keterangan
		0					
		5					
		10					
		15					
		20					
		25					
		30					
		35					
		40					
		45					
		50					
		55					
		60					
		65					
		70					
		75					
		80					
		85					
		90					
		95					
		100					
		105					
		110					
		115					
		120					
		125					
		130					
		135					
		140					
		145					
		160					
		165					
		170					
		175					
		180					
		185					
		190					
		195					
		200					

Mengetahui :	Disetujui :	Dibuat :
Pengawas Pekerjaan	PPK	
(.....)	(.....)	(.....)

\*lama waktu disesuaikan kontrak/RAB

## UJI PEMOMPAAN BERTINGKAT/STEP - 1

### UJI PEMOMPAAN BERTINGKAT/STEP - 2

Nomor Kontrak : Nomor Sumur : Lokasi, Desa, Kec., Kab : Tanggal Mulai : Tinggi casing (m) : SWL (dari top casing, m) : SWL dari MD, di 5 :	Tipe Pompa : Tipe Pompa : Mesin Penggerak (HP) : Pipa orifice ( inch ) : Pipa discharge ( inch ) : Posisi pompa ( m ) : Pump Chamber ( m ) : Operator :
--	--

\* lama waktu

Tanggal	Jam	Waktu pemompaan (menit)	Kedalaman muka air (m)	Penurunan muka air (m)	H (cm)	Q (l/s)	Lembar 1 dari 5 Keterangan
Tanggal	Jam	Waktu pemompaan (menit)	Kedalaman muka air (m)	Penurunan muka air (m)	H (cm)	Q (l/s)	Keterangan
		10					
		0					
		15					
		5					
		20					
		10					
		25					
		15					
		30					
		20					
		40					
		25					
		50					
		30					
		60					
		40					
		70					
		50					
		80					
		60					
		90					
		70					
		100					
		80					
		110					
		90					
		120					
		100					
		130					
		110					
		140					
		120					
		150					
		130					
		140					.....20
Mengetahui :		150				Disetujui :	Dibuat :
Pengawas Pekerjaan		160	PPK				
		170					
		180					

Mengetahui :		Disetujui :	
Pengawas Pekerjaan	PPK		Dibuat :
disesuaikan kontrak/RAB			
(.....)	(.....)	(.....)	(.....)

\*Lama waktu disesuaikan kontrak/RAB

### UJI PEMOMPAAN BERTINGKAT/STEP - 3

Nomor Kontrak :	Tipe Pompa :	
Nomor Sumur :	Mesin Penggerak (HP) :	*Lama waktu
Lokasi Desa, Kec, Kab :	Pipa orifice ( inch ) :	disesuaikan
Tanggal Mulai :	Pipa discharge ( inch ) :	kontrak/RAB
Tinggi top casing (m) :	Posisi pompa ( m ) :	
SWL (dari top casing, m) :	Pump Chamber (m) :	
SWL (dari MT, m) :	Operator :	

Lembar 3 dari 5

Tanggal	Jam	Waktu pemompaan (menit)	Kedalaman muka air (m)	Penurunan muka air (m)	H (cm)	Q (l/s)	Keterangan
		0					
		5					
		10					
		15					
		20					
		25					
		30					
		40					
		50					
		60					
		70					
		80					
		90					
		100					
		110					
		120					
		130					
		140					

Mengetahui : Pengawas Pekerjaan (.....)	PPK (.....)	Disetujui : (.....)	Dibuat : (.....)
---	----------------	------------------------	---------------------

### UJI PEMOMPAAN BERTINGKAT/STEP - 4

Nomor Kontrak :  
 Nomor Sumur :  
 Lokasi Desa, Kec. Kab :  
 Tanggal Mulai :  
 Tinggi top casing (m) :  
 SWL (dari top casing, m) :  
 SWL (dari MT, m) :

Tipe Pompa :  
 Mesin :  
 Pipa orifice :  
 Pipa :  
 Posisi pompa (m) :  
 Pump Chamber (m) :  
 Operator :

\*Lama waktu disesuaikan kontrak/RAB

Lembar 3 dari 5

Tanggal	Jam	Waktu pemompaan (menit)	Kedalaman muka air (m)	Penurunan muka air (m)	H (cm)	Q (l/s)	Keterangan
		0					
		5					
		10					
		15					
		20					
		25					
		30					
		40					
		50					
		60					
		70					
		80					
		90					
		100					
		110					
		120					
		130					
		140					

..... 20..

Mengetahui :  
 Pengawas Pekerjaan                      PPK                      Disetujui :                      Dibuat :  
 (.....)                      (.....)                      (.....)                      (.....)

## UJI PEMOMPAAN BERTINGKAT/STEP - 5

Nomor Kontrak :	Tipe Pompa :
Nomor Sumur :	Mesin Penggerak (HP) :
Lokasi :	Pipa orifice ( inch ) :
Tanggal Mulai :	Pipa discharge ( inch ) :
Tinggi top casing (m) :	Posisi pompa ( m ) :
SWL (dari top casing, m) :	Pump Chamber (m) :
SWL (dari MT, m) :	Operator :

Lembar 5 dari 5

Tanggal	Jam	Waktu pemompaan (menit)	Kedalaman muka air (m)	Penurunan muka air (m)	H (cm)	Q (l/s)	Keterangan
		0					
		5					
		10					
		15					
		20					
		25					
		30					
		40					
		50					
		60					
		70					
		80					
		90					
		100					
		110					
		120					
		130					
		140					

Mengetahui : Pengawas Pekerjaan	PPK	Disetujui : .....20...	Dibuat : .....
(.....)	(.....)	(.....)	(.....)

\*Lama waktu disesuaikan kontrak/RAB



