



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR

Jalan Pattimura Nomor 20, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan 12110, Telepon (021) 7396616

Yth,

1. Para Pejabat Pimpinan Tinggi Pratama;
2. Para Kepala Balai Besar Wilayah Sungai/Balai Wilayah Sungai;
di Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.

SURAT EDARAN DIREKTUR JENDERAL SUMBER DAYA AIR

NOMOR 1 SE/Da/2026

TENTANG

PEDOMAN PENERAPAN SOLUSI BERBASIS ALAM (*GUIDELINE NATURE-BASED SOLUTIONS*) KEGIATAN PROYEK KETANGGUHAN BANJIR PERKOTAAN NASIONAL (*NATIONAL URBAN FLOOD RESILIENCE PROJECT*)
DI DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR

A. Umum

Dalam rangka menghadapi tantangan pengelolaan banjir perkotaan yang semakin kompleks akibat peningkatan urbanisasi, perubahan tata guna lahan, dan dampak perubahan iklim, diperlukan pendekatan pengendalian banjir yang tidak hanya bersifat struktural, tetapi juga adaptif dan berkelanjutan.

Bahwa pengendalian banjir di wilayah perkotaan selama ini masih didominasi oleh penggunaan infrastruktur abu-abu (*grey infrastructure*) yang berfokus pada aspek rekayasa teknik. Pendekatan tersebut meskipun efektif dalam jangka pendek, sering kali belum mampu mempertahankan keseimbangan ekosistem dan keberlanjutan fungsi lingkungan.

Sebagai upaya untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan risiko banjir dan memperkuat ketahanan kota terhadap perubahan iklim, telah disusun *Guideline Nature-Based Solutions* yang selanjutnya disingkat NbS sebagai acuan teknis dalam perencanaan dan penerapan solusi berbasis alam pada kegiatan pengendalian banjir perkotaan di bawah kerangka *National Urban Flood Resilience Project* yang selanjutnya disingkat NUFReP.

Untuk memberikan kejelasan dalam pelaksanaan kegiatan pengendalian banjir perkotaan perlu menetapkan Surat Edaran Direktur Jenderal Sumber Daya Air tentang Pedoman Penerapan Solusi Berbasis Alam (*Guideline Nature-Based Solutions*) Kegiatan Proyek Ketangguhan Banjir Perkotaan Nasional (*National Urban Flood Resilience Project*) di Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.

B. Dasar Pembentukan

1. Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2019 Nomor 190, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6405) sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja menjadi Undang-Undang (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 41, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6856);
2. Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 140, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5059) sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja menjadi Undang-Undang (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 41, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6856);

Mewujudkan kemanfaatan sumber daya air yang berkelanjutan

3. Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2012 Nomor 62, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5292);
4. Peraturan Presiden Nomor 170 Tahun 2024 tentang Kementerian Pekerjaan Umum (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 266);
5. 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);
6. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 1 Tahun 2024 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 955);
7. *Loan Agreement for the National Urban Flood Resilience Project (LA for the NUFReP). Loan IBRD Number 9459-ID;*
8. Dokumen *Project Appraisal Document (PAD) National Urban Flood Resilience Project (NUFReP).*

C. Maksud dan Tujuan

1. Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai pedoman bagi seluruh unit pelaksana, baik di tingkat pusat maupun daerah (NPIU, CPIU, dan PIU) dalam lingkup *loan* NUFReP mengenai penerapan NbS dalam kegiatan pengendalian banjir perkotaan.
2. Surat Edaran ini bertujuan agar pelaksanaan kegiatan pengendalian banjir perkotaan dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien.

D. Ruang Lingkup

Ruang lingkup Surat Edaran ini meliputi:

1. Tinjauan *Nature-based Solutions* Dalam Pengendalian Banjir;
2. Rancang Bangun Prasarana Pengendali Banjir;
3. Kriteria Evaluasi Sub-Proyek NbS;
4. Permodelan untuk Penerapan NbS;
5. Skema Penerapan NbS; dan
6. Peran Masyarakat Dalam Penerapan NbS.

E. Ketentuan Peralihan

Dengan ditetapkannya Surat Edaran ini, diharapkan seluruh pihak yang terlibat dalam pelaksanaan kegiatan NUFReP dapat menerapkan prinsip dan pendekatan NbS secara konsisten dan terkoordinasi.

F. Penutup

Surat Edaran ini mulai berlaku pada tanggal yang ditetapkan.

Demikian Surat Edaran ini untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya. Atas perhatiannya disampaikan terima kasih.

Tembusan:

1. Menteri Pekerjaan Umum (sebagai laporan);
2. Sekretaris Jenderal Kementerian Pekerjaan Umum;
3. Inspektur Jenderal Kementerian Pekerjaan Umum.

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 30 Januari 2026

DIREKTUR JENDERAL SUMBER DAYA AIR,



Dwi Purwantoro
NIP. 197409092001121002

LAMPIRAN
SURAT EDARAN DIREKTUR JENDERAL
SUMBER DAYA AIR
NOMOR 1/SE/Da/2026
TENTANG
PEDOMAN PENERAPAN SOLUSI BERBASIS
ALAM (*GUIDELINE NATURE-BASED
SOLUTIONS*) KEGIATAN PROYEK
KETANGGUHAN BANJIR PERKOTAAN
NASIONAL (*NATIONAL URBAN FLOOD
RESILIENCE PROJECT*) DI DIREKTORAT
JENDERAL SUMBER DAYA AIR

RINCIAN DETAIL PEDOMAN PENERAPAN SOLUSI BERBASIS ALAM
(*GUIDELINE NATURE-BASED SOLUTIONS*) KEGIATAN PROYEK KETANGGUHAN
BANJIR PERKOTAAN NASIONAL (*NATIONAL URBAN FLOOD RESILIENCE
PROJECT*) DI DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR

A. Pendahuluan

1. NBS Dalam NUFReP

Dalam Proyek Ketangguhan Banjir Perkotaan Nasional atau *National Urban Flood Resilience Project* (NUFReP), Komponen 1 yakni “Perencanaan Penanganan dan Analisis Risiko Banjir” akan memberikan bantuan teknis bagi enam kota (Banjarmasin, Bima, Gorontalo, Manado, Medan, dan Semarang) untuk mengembangkan analisis teknis dan melakukan pemetaan risiko banjir dengan mempertimbangkan berbagai penyebab risiko banjir, seperti perubahan penggunaan lahan, pola urbanisasi, penurunan tanah, dan dampak perubahan iklim (termasuk kenaikan permukaan air laut dan kenaikan presipitasi). Proses analisis akan menghasilkan pengembangan rencana tindakan ketangguhan banjir perkotaan yang terintegrasi lintas sektor dalam jangka panjang dengan memprioritaskan upaya-upaya struktural dan non-struktural, termasuk solusi berbasis alam atau *nature-based solutions* (NBS). Untuk Ibu Kota Nusantara (IKN), Komponen 1 akan mendanai bantuan teknis yang mencakup kajian rancangan untuk perbaikan konsep perencanaan kota yang mempertimbangkan badan air dan NBS untuk menyusun pendekatan *sponge city*.

Komponen 2 yakni “Peningkatan Ketangguhan Banjir Perkotaan” akan mendukung implementasi upaya-upaya struktural dan non-struktural yang diprioritaskan dalam rencana tindakan ketangguhan banjir perkotaan lintas sektor dalam jangka panjang untuk lima kota (Banjarmasin, Bima, Manado, Medan, dan Semarang). Komponen ini pun mendukung subproyek prioritas yang memberikan dampak secara langsung terkait pengurangan risiko banjir dan adaptasi iklim (termasuk NBS), sementara analisis risiko banjir tingkat kota dan rencana tindakannya dilakukan secara bersamaan dengan Komponen 1. Komponen ini akan memprioritaskan penerapan NBS atau infrastruktur yang direkayasa secara hibrida dan infrastruktur berbasis alam guna meningkatkan hasil ketangguhan perkotaan secara menyeluruh, termasuk kesehatan dan kesejahteraan publik, perlindungan lingkungan hidup, adaptasi iklim (misalnya “koridor” perkotaan hijau dan restorasi hutan bakau dan lahan basah untuk perlindungan terhadap banjir), dan mitigasi iklim (misalnya restorasi dataran banjir untuk sekuestrasi

karbon) Komponen 1 dan 2 akan dilaksanakan oleh Balai Wilayah Sungai di bawah Kementerian Pekerjaan Umum.

2. Definisi, Latar Belakang dan Tujuan Program NBS

Solusi Berbasis Alam (NBS) adalah pendekatan strategis dalam pengelolaan banjir yang memanfaatkan, meniru, atau meningkatkan proses dan fungsi ekosistem alami untuk mengurangi risiko banjir. Program NBS dalam pengendalian banjir tidak hanya mengandalkan infrastruktur konvensional (infrastruktur abu-abu) seperti tanggul beton, kanal, atau pompa, akan tetapi NBS bekerja selaras dengan alam untuk mengelola air hujan dan aliran sungai secara berkelanjutan.

Prinsip Kerja Utama NBS dalam Pengendalian Banjir:

Pendekatan ini tidak berfokus pada upaya "membuang air secepat mungkin ke laut", melainkan pada strategi "memperlambat, menyebar, dan meresapkan" air kembali ke siklus hidrologi alaminya. Tiga mekanisme utamanya adalah:

Menahan dan Memperlambat Aliran (*Slowing Down*): Mengurangi kecepatan aliran air permukaan sehingga puncak banjir tidak terjadi secara tiba-tiba dan ekstrem di hilir.

Menyimpan Air Sementara (*Storing*): Menyediakan area atau ruang bagi air untuk berhenti sejenak sebelum dilepaskan kembali secara perlahan ke sungai atau tanah.

Meningkatkan Infiltrasi (*Infiltrating*): Mendorong air hujan untuk meresap ke dalam tanah, yang berfungsi mengisi kembali air tanah (akuifer) dan mengurangi volume limpasan permukaan.

Dalam program pengendalian banjir, Solusi Berbasis Alam (NBS) bukan lagi sekadar alternatif, melainkan sebuah komponen esensial. Pendekatan ini menawarkan solusi yang lebih tangguh, hemat biaya dalam jangka panjang, dan memberikan manfaat tambahan (co-benefits) seperti peningkatan kualitas udara dan air, peningkatan keanekaragaman hayati, penyediaan ruang rekreasi, serta mitigasi perubahan iklim. Mengintegrasikan NBS dengan infrastruktur abu-abu konvensional (pendekatan hibrida) adalah kunci untuk membangun kota dan wilayah yang berketahanan (*resilience*) terhadap bencana banjir di masa depan.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang mengatur zonasi penggunaan lahan dan penyediaan ruang terbuka hijau di Indonesia. UU tersebut mengatur pemerintah kota/kabupaten agar menyediakan 30% ruang terbuka hijau dengan rincian 20% di wilayah publik dan 10% di wilayah privat, dikenal sebagai konsep 30-20-10. Beberapa regulasi lain, baik undang-undang yang baru maupun yang telah lama dirumuskan, mengatur saluran air lokal seperti UU 17/2019 tentang Sumber Daya Air dan UU 24/1992 tentang Penataan Ruang, yang mencakup regulasi terkait luas tutupan lahan kedap air maksimal, limpasan puncak, dan kualitas air.

Untuk menyusun perencanaan sistem drainase perkotaan, Peraturan Menteri PUPR Nomor 12 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan digunakan sebagai referensi. Referensi lain yang digunakan adalah Peraturan Menteri PUPR Nomor 9 Tahun 2021 tentang Pedoman Penyelenggaraan Konstruksi Berkelanjutan yang menekankan bahwa adaptasi risiko bencana atau upaya mitigasi perlu menjadi bagian dari rancangan upaya-upaya ketangguhan banjir perkotaan.

Selain itu ada beberapa peraturan perundangan yang relevan untuk dijadikan acuan dalam merencanakan NBS antara lain:

- a. Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Pemerintah No. 13 tahun 2017;
- b. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 28/PRT/M/2015 tentang Penetapan Garis Sempadan Sungai dan Sempadan Danau;
- c. Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/Kepala Badan Pertanahan Nasional Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2022, tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau;
- d. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 21 Tahun 2021 tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau;
- e. Badan Standardisasi Nasional. 2016. SNI-2415-2016 tentang Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Namun, hingga saat ini, belum ada peraturan, pedoman, atau acuan standar yang mengatur perencanaan atau perancangan NBS. Hingga disusunnya aturan tersebut, dokumen ini bertujuan untuk memberikan pedoman awal untuk perencanaan dan perancangan NBS guna memfasilitasi penerapan NBS struktural untuk NUFReP.

B. Tinjauan *Nature-based Solutions* dalam Pengendalian Banjir

1. Infrastruktur NBS dalam Pengendalian Banjir

Saat ini, masyarakat menghadapi tantangan untuk beradaptasi dengan perubahan iklim sembari mengelola dampak yang disebabkan oleh berbagai krisis di dunia. Sementara itu, ekosistem memberikan manfaat adaptasi dan mitigasi iklim secara signifikan di seluruh dunia. Di bawah payung NBS, NBS untuk ketahanan dan adaptasi iklim berupaya mengurangi risiko iklim dan memberikan manfaat lain. NBS untuk adaptasi dan ketahanan iklim adalah suatu cara yang terjangkau untuk mengatasi tantangan ketahanan iklim yang bermanfaat bagi alam, kehidupan, dan pembangunan. Beberapa aspek penting dapat dipertimbangkan untuk memungkinkan integrasi NBS ke dalam lanskap perkotaan, misalnya, pendekatan utama yang dapat diikuti pengembang dan perancang proyek adalah pendekatan “hijau jika memungkinkan, abu-abu jika diperlukan”.

Kemudian, ada beberapa kriteria yang diikuti ketika konsep NBS dituangkan menjadi target kinerja:

- a. NBS harus mengatasi tantangan sosial secara efektif:

NBS harus dirancang sebagai respons terhadap tantangan sosial. Setiap NBS memiliki serangkaian fungsi dan manfaat yang diberikan. “Fungsi” merujuk kepada kemampuan NBS dalam memberikan manfaat bagi masyarakat. Fungsi tersebut merupakan langkah lanjutan yang penting dalam memahami manfaat NBS bagi masyarakat. Hal ini mencakup, misalnya, pengurangan kerusakan karena banjir, pengurangan suhu panas, atau penggunaan ruang terbuka hijau sebagai tempat rekreasi. Dibandingkan dengan infrastruktur abu-abu, NBS memberikan berbagai manfaat bagi masyarakat, serangkaian manfaat yang ditawarkan NBS harus dipertimbangkan dalam proses pengambil keputusan. Tabel 1 menunjukkan fungsi utama berbagai tipe NBS yang dapat membantu mengidentifikasi tantangan yang dapat diatasi oleh berbagai NBS dan manfaat lain yang dapat diperoleh dengan menerapkannya.














- b. Penerapan pendekatan sistem terintegrasi bagi NBS untuk ketahanan

Solusi berbasis alam untuk ketangguhan perkotaan akan lebih efektif apabila direncanakan secara terintegrasi, terutama di lingkungan perkotaan yang kompleks. Dengan demikian, pendekatan berbasis sistem harus diambil untuk mengatasi tantangan ketahanan. NBS harus dirancang untuk melengkapi upaya dan rencana manajemen risiko yang ada. Integrasi tersebut tidak hanya diperlukan di tingkat sistem tetapi harus dipertimbangkan dalam skala lokal di mana, misalnya, NBS dan infrastruktur abu-abu secara bersama-sama dapat meningkatkan kemampuan sistem dalam mengurangi risiko dan memberikan manfaat.

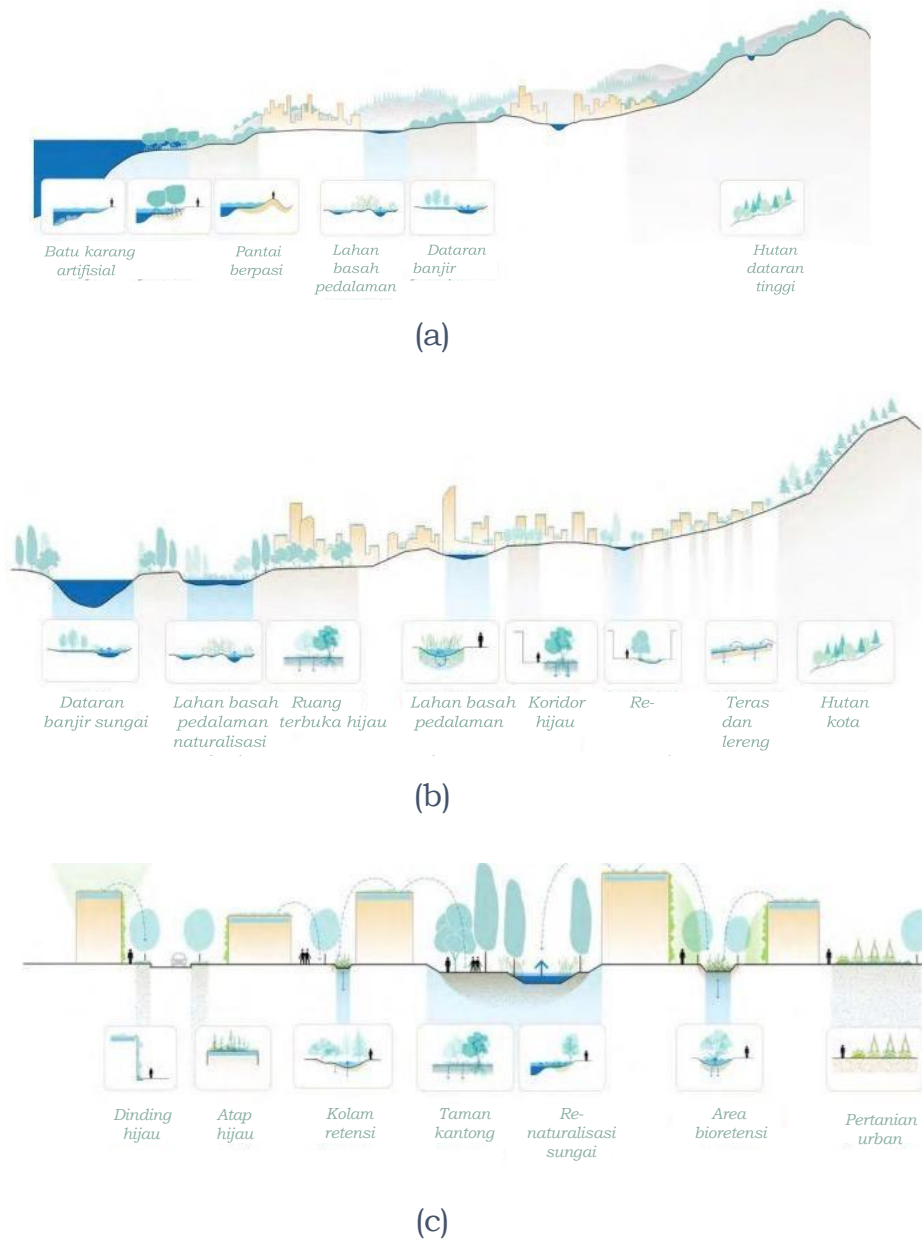
- c. Pertimbangkan prinsip-prinsip perlindungan ekosistem

NBS harus secara langsung mengatasi kondisi ekosistem saat ini yang didasari oleh penilaian berbasis bukti. NBS mencakup berbagai pendekatan berbasis ekosistem termasuk perlindungan, perbaikan atau restorasi, dan pembentukan infrastruktur alami atau infrastruktur hijau. Mempertimbangkan elemen tersebut sangat sesuai dalam mengutamakan penerapan NBS di tingkat strategis serta dalam perencanaan dan persiapan proyek NBS di tingkat permukiman, perkotaan, dan wilayah sungai. Perlindungan infrastruktur alami yang ada harus diutamakan. Lahan basah, padang rumput, dataran banjir, dan hutan kota alami adalah contoh ekosistem di wilayah perkotaan yang dapat dilindungi untuk mempertahankan manfaat yang ada.

Tabel 2-1. Klasifikasi tipe NBS beserta manfaatnya berdasarkan jenis bahaya

Proses regulasi bahaya					
Tipe NBS	 Banjir	 Erosi (pantai dan sungai)	 Kekeringan (regulasi aliran air)	 Panas	 Longsor
 Hutan perkotaan & dataran tinggi	Mengurangi limpasan, memantulkan energi, memperlambat aliran air, mengurangi ketinggian gelombang	Menstabilkan tanah melalui jaringan perakaran	Mengatur simpanan & aliran air, mengelola evapotranspirasi dan air tanah	Memberikan keteduhan, mengelola evapotranspirasi	Menstabilkan tanah melalui jaringan perakaran, memperlambat dan mengurangi limpasan
 Teras & lereng	Memperlambat limpasan, meningkatkan infiltrasi	Menstabilkan tanah	Meningkatkan infiltrasi, mengelola evapotranspirasi, menyimpan air	Memberikan keteduhan, mengelola evapotranspirasi	Menstabilkan tanah melalui jaringan perakaran, memperlambat limpasan
 Restorasi sungai & dataran banjir	Menyimpan air, memperlambat aliran air, meningkatkan infiltrasi	Menyeimbangkan suplai dan proses sedimentasi	Meningkatkan infiltrasi, mengelola evapotranspirasi, memberikan keteduhan, menyimpan air	Memberikan keteduhan, menyerap panas, mengelola evapotranspirasi	Menstabilkan tepi sungai
 Ruang terbuka hijau	Menyimpan air, meningkatkan infiltrasi	Menstabilkan tanah melalui jaringan perakaran	Mengelola evapotranspirasi, memberikan keteduhan, menyimpan air	Memberikan keteduhan, mengelola evapotranspirasi	Menstabilkan tanah melalui jaringan perakaran
 Kolam, sungai, dan badan air kecil	Menyimpan air	Mengatur aliran sedimen	Menyimpan air	Menyerap panas, mengurangi evaporasi	Tidak berlaku
 Lahan basah pedalaman	Menyimpan air, memperlambat aliran air, mengurangi ketinggian gelombang	Mengatur aliran sedimen	Mengembalikan air tanah	Mengelola evapotranspirasi	Tidak berlaku
 Hutan bakau	Memantulkan energi, memperlambat aliran air, mengurangi ketinggian gelombang	Mengatur aliran air dan sedimen	Tidak berlaku	Tidak berlaku	Tidak berlaku
 Lahan basah pantai lain (selain bakau)	Menyimpan air, memperlambat aliran air, mengurangi ketinggian gelombang	Menstabilkan tanah dan sedimen	Tidak berlaku	Tidak berlaku	Tidak berlaku

- d. NBS harus dipertimbangkan di berbagai skala ruang terdapat tiga skala spasial yang diidentifikasi: skala wilayah sungai, skala perkotaan, dan skala permukiman. Misalnya, area bioretensi dan kolam detensi dapat direncanakan di tingkat permukiman, sementara restorasi dataran banjir yang mengembalikan fungsi hidraulik alami yang dapat membantu mengelola bahaya banjir berada pada tingkat cekungan sungai. Selain itu, NBS di pedalaman seperti hutan dapat menahan air di hulu, mengurangi beban di sisi hilir, sehingga dapat melindungi sungai. Di skala perkotaan, renaturalisasi aliran dan saluran drainase yang ada dapat memperlambat aliran air, sementara penambahan ruang terbuka hijau di kota dapat memperbaiki infiltrasi lihat Gambar 2-1: Tipe NBS di tingkat daerah tangkapan air (a), tingkat kota (b), dan tingkat masyarakat (c).



Gambar 2-1: Tipe NBS di tingkat daerah tangkapan air (a), tingkat kota (b), dan tingkat masyarakat (c)

- e. Melakukan pendekatan interdisipliner dan dengan berbagai pemangku. Mengintegrasikan NBS ke dalam strategi ketahanan kota memerlukan pendekatan kolaboratif, interdisipliner, dan lintas sektor. Hal ini memerlukan koordinasi yang ekstensif dalam seluruh fase proyek—sejak identifikasi dan perancangan hingga implementasi dan operasional—dan antar berbagai pelaku, termasuk pemerintah, perusahaan sektor publik dan swasta, lembaga ilmu pengetahuan/akademisi, masyarakat sipil, lembaga swadaya masyarakat, dll. Keberhasilan penerapan NBS melibatkan pendekatan interdisipliner yang mengintegrasikan manajemen risiko banjir, perencanaan tata ruang, dan strategi adaptasi terhadap perubahan iklim. Tim interdisipliner yang terdiri atas praktisi tata kota, arsitek lanskap, urbanis, insinyur sipil, dan pemangku kepentingan harus bekerja sama secara aktif dalam proses perencanaan dan perancangan proyek ketangguhan perkotaan untuk memberikan solusi yang lebih komprehensif bagi permasalahan perkotaan. Deskripsi dan contoh berbagai tipologi

NBS dapat dilihat di Bab 3 Katalog NBS untuk Ketangguhan Perkotaan yang dapat diakses <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/36507>.

2. *Nature-based Solutions* Dalam Pengelolaan Air Hujan

a. Tipologi dan Dampak Pembangunan Perkotaan (*Urban Area*) Terhadap Limpasan Air Hujan

Urbanisasi menyebabkan perubahan terhadap lanskap alami dan proses hidrologi. Siklus air alami mempertahankan keseimbangan air melalui presipitasi, evapotranspirasi, dan infiltrasi. Urbanisasi mengurangi daya serap permukaan karena permukaan tanah alami digantikan oleh permukaan seperti atap, jalan, dan lahan parkir. Proses ini menghilangkan vegetasi alami yang menghambat dan memperlambat limpasan serta meningkatkan infiltrasi dan evapotranspirasi, sehingga dapat menyebabkan peningkatan limpasan di permukaan.

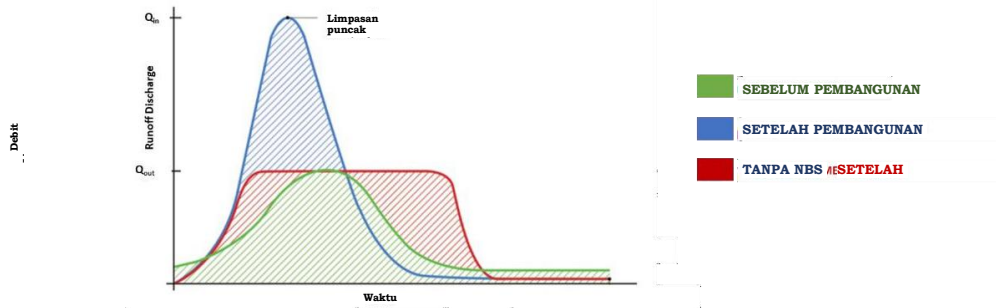
Tingkat limpasan permukaan puncak dari area berkembang umumnya lebih besar dibandingkan dari area hijau (lihat , kasus A dan B), karena lebih sedikit air yang dapat diserap tanah atau dihambat dengan cara lain. Hal ini dapat menyebabkan dampak signifikan, meningkatkan kecepatan aliran di saluran air, serta meningkatkan kemungkinan banjir dan erosi tepi sungai. Selain itu, apabila aliran air disalurkan ke sistem drainase, risiko yang ditimbulkan dapat meningkat karena drainase tersebut memiliki kapasitas terbatas dan lebih sensitif terhadap perubahan kecepatan aliran.

b. NBS Sebagai Kerangka Mitigasi Dampak Pembangunan Perkotaan (*Urban Area*) Terhadap Aliran Limpasan

NBS Perkotaan dapat mengelola kuantitas air sehingga mengurangi kemungkinan banjir. NBS Perkotaan membantu melindungi siklus alami (kasus C) dengan menangkap, menyaring, menyerap, menyimpan, dan/atau meresapkan air hujan. Selain itu, NBS perkotaan pun membantu mempertahankan aliran air dan sungai, mengembalikan air tanah, serta mengurangi erosi tepi sungai dan dasar sungai. Upaya-upaya ini lebih efektif dalam curah hujan yang singkat atau menengah serta memberikan mitigasi untuk potensi banjir di permukaan dan banjir dari aliran air yang berukuran kecil atau sedang.



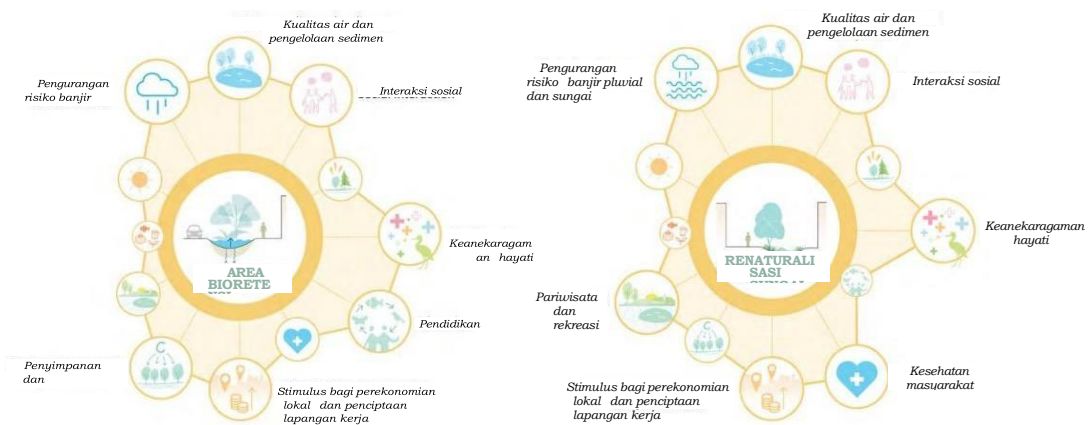
Gambar 2-2 : Tipologi dan Dampak Urbanisasi dan Penerapan NBS Terhadap Aliran Limpasan Permukaan



Gambar 2-3: Ilustrasi Hidrograf Banjir akibat dampak urbanisasi dan penerapan NBS terhadap aliran limpasan permukaan

Ketika digunakan sebagai komponen sistem pengelolaan air hujan, praktik berbasis alam seperti area bioretensi atau taman hujan, kolam retensi, renaturasi sungai dapat menghasilkan berbagai manfaat bagi lingkungan maupun manfaat sosio-ekonomi (lihat Gambar 2-4). Selain menahan dan menyerap limpasan air, praktik-praktik tersebut dapat menyaring polutan udara, memitigasi suhu panas (mengurangi energi yang dibutuhkan untuk pendinginan), meningkatkan kualitas air, dan melakukan sekuestrasi karbon sembari meningkatkan kesehatan publik dengan menyediakan ruang rekreasi dan/atau ruang publik tambahan bagi masyarakat. Perencanaan sistem multifungsi akan membantu meningkatkan rasio manfaat/biaya gabungan bagi proyek yang menerapkan pendekatan NBS. Maka, NBS harus dirancang dan diterapkan untuk membangun lanskap perkotaan multifungsi, guna mewujudkan infrastruktur yang efisien, kolaborasi yang lebih baik, dan manfaat yang lebih banyak di perkotaan.

Terminologi yang menjelaskan prinsip dan praktik drainase perkotaan berbasis alam semakin beragam. Ada berbagai istilah yang digunakan untuk pendekatan ini, termasuk solusi berbasis alam, infrastruktur hijau, praktik pengelolaan terbaik, pembangunan berdampak rendah, penataan kota ramah air, dan sistem drainase perkotaan berkelanjutan. Dalam panduan ini, istilah yang digunakan adalah solusi berbasis alam dan infrastruktur hijau.



Gambar 2-4: Contoh beberapa manfaat yang diberikan oleh bioretensi (kiri) dan renaturalisasi sungai dan aliran (kanan)

3. Natural Base Solutions Pada Berbagai Skala

NBS dapat diimplementasikan dalam berbagai skala, dari intervensi berskala kecil hingga intervensi berskala besar di tingkat kota. NBS perkotaan berskala kecil (tingkat jalanan) seperti area bioretensi atau taman hujan, riparian, dan trotoar berpori merupakan upaya

desentralisasi yang mengurangi limpasan air melalui infiltrasi atau detensi. Intervensi berskala kecil harus diimplementasikan dalam skala yang cukup untuk mencapai dampak yang terukur terhadap sistem drainase. NBS perkotaan berskala menengah (tingkat permukiman) merupakan upaya yang lebih terpusat, misalnya area tampungan atau kolam retensi, yang menjadi penyangga, menyediakan penyimpanan sementara bagi limpasan air, dan mengurangi aliran puncak yang disalurkan melalui sistem drainase. Elemen infrastruktur tunggal (misalnya sebuah tampungan) dapat menyebabkan dampak yang signifikan bagi sistem drainase perkotaan lokal. NBS berskala besar merupakan solusi terpusat yang dapat diterapkan di tingkat kota. Contohnya termasuk renaturalisasi aliran air, pemulihan atau restorasi dataran banjir, dan pembentukan taman detensi di sepanjang sungai atau aliran. NBS tersebut menyediakan lebih banyak ruang bagi air, memperlambat laju aliran, dan menjadi area penyimpanan guna mengurangi aliran puncak di hilir.

Beberapa tipe NBS yang berbeda dapat diterapkan dan digabungkan untuk mengembangkan konsep rantai pengelolaan air hujan. Pendekatan rantai pengelolaan air hujan melibatkan penggunaan berbagai tipe NBS dan melibatkan penerapan NBS dalam berbagai skala, baik skala kecil (misalnya taman hujan, trotoar berpori, atap hijau, dll.) hingga skala regional (misalnya konstruksi lahan basah, kolam retensi, dll.).

Pendekatan merata meliputi penerapan berbagai NBS berskala kecil di seluruh daerah tangkapan air. Pendekatan merata memiliki keunggulan karena melibatkan upaya-upaya berskala kecil yang dapat diterapkan bahkan di permukiman padat dengan ruang terbatas. Pendekatan terpusat memerlukan penerapan sistem yang lebih besar di hulu atau tengah dari area tangkapan air yang dapat memberikan dampak signifikan pada hilir.

Sistem yang merata melalui desentralisasi yang terhubung satu sama lain sering kali diterapkan karena beberapa alasan: perlindungan lebih baik, pengelolaan setempat di dekat sumber limpasan air hujan, distribusi risiko (risiko kegagalan sistem secara menyeluruh relatif rendah), implementasi yang dapat dilakukan dalam beberapa fase, dan penghijauan kota yang merata (sehingga dapat mencapai manfaat lainnya). Namun, keputusan untuk memilih salah satu pendekatan umumnya bergantung kepada kondisi eksisting dan tantangan yang ada serta tujuan proyek. Agar pengendalian hujan dan manajemen aliran di ruang perkotaan menjadi efektif, kombinasi kedua pendekatan tersebut umumnya menjadi strategi pengelolaan terbaik hingga akhirnya membentuk rantai pengelolaan air hujan.

Penerapan NBS bisa dilakukan dalam berbagai skala, dari tingkat DAS hingga skala lingkungan perkotaan.

Skala Daerah Aliran Sungai (DAS):

- a. Reboisasi dan Agroforestri di Hulu: Menanam kembali vegetasi di area hulu DAS. Tajuk pohon dan sistem perakarannya berfungsi seperti spons raksasa yang menyerap air hujan, mengurangi erosi, dan melepaskan air secara perlahan.
- b. Restorasi Sungai dan Dataran Banjir (*Floodplain*): Mengembalikan kondisi alami sungai yang berkelok (tidak diluruskan) dan mengembalikan fungsi dataran banjir sebagai "kantong air" alami saat debit sungai meluap.
- c. Pembangunan Lahan Basah (*Wetlands*): Menciptakan atau merestorasi rawa, danau, atau area basah lainnya yang dapat menampung volume air banjir dalam jumlah besar.

Skala Perkotaan (*Urban NBS*):

- a. Taman Hujan (*Rain Garden*): Cekungan dangkal yang ditanami vegetasi untuk menampung dan meresapkan limpasan air hujan dari atap atau jalan.
- b. Atap Hijau (*Green Roof*): Menanam vegetasi di atap bangunan untuk menyerap air hujan, mengurangi beban sistem drainase, dan mendinginkan suhu bangunan.
- c. Biopori dan Sumur Resapan: Lubang vertikal yang dibuat di tanah untuk mempercepat peresapan air hujan ke dalam tanah.
- d. Kolam Retensi/Detensi Bervegetasi: Kolam yang dirancang untuk menampung air hujan sementara dan di sekelilingnya ditanami tanaman air yang membantu menyaring polutan dan menyediakan habitat.
- e. Permeable Pavement: Menggunakan material perkerasan (seperti *paving block* berpori) yang memungkinkan air meresap melaluinya, bukan menggenang di atasnya.

4. Pengelolaan Air Hujan Konvensional vs Pengelolaan Air Hujan Dengan Konsep NBS.

Secara tradisional, kebanyakan tutupan lahan kedap air di perkotaan memiliki hubungan langsung dengan sistem drainase. Misalnya, curah hujan yang jatuh di atap bangunan langsung dialirkan melalui pipa ke sistem drainase, terkadang melalui jalan. Dalam kasus ini, limpasan air hujan tidak sempat diolah, disimpan, diserap, atau diperlambat sebelum memasuki sistem drainase, menyebabkan terjadinya genangan atau bahkan banjir setempat dengan aliran air bervolume tinggi saat curah hujan tinggi.

Di wilayah perkotaan, strategi utama penerapan NBS adalah menyediakan waktu dan ruang bagi air hujan untuk melewati daerah resapan air sebelum disalurkan ke drainase utama. Dalam contoh berikutnya, hal ini dapat dilakukan melalui “diskoneksi” daerah resapan air berskala kecil dari sistem drainase, penyimpanan air, pengendalian aliran, renaturalisasi (atau disebut juga “naturalisasi”) aliran air, infiltrasi, atau kombinasi beberapa proses tersebut.

Diskoneksi.

Dalam koneksi sederhana, diberlakukan pemutusan sambungan antara tutupan lahan kedap air dengan jaringan drainase, sehingga air hujan mengalir ke permukaan yang dapat menyerap air, misalnya area tanaman dengan tanah atau media tanam yang dapat menyerap air. Diskoneksi dapat pula dilakukan dengan cara lain seperti mengalihkan aliran air dari permukaan kedap air ke infrastruktur berbasis alam seperti area bioretensi untuk penyimpanan sederhana dan filtrasi. NBS cenderung menyaring air menggunakan tanah, dalam kasus bioretensi, atau menggunakan kombinasi batu dan tanah, dalam kasus trotoar berpori. Praktik-praktik tersebut dapat dirancang dan direkayasa untuk menangkap limpasan air hujan dengan curah beberapa sentimeter, sembari melengkapi dan memperbaiki lanskap saat ini.

Detensi.

Di wilayah dengan volume air hujan yang tinggi, fasilitas penyimpanan (misalnya penyimpanan sementara/”detensi” atau penyimpanan yang lebih permanen/”retensi”) dapat digunakan untuk menyimpan limpasan air untuk dialirkan sedikit demi sedikit setelah hujan, mengurangi puncak aliran di hilir. Kolam/area detensi dapat menghilangkan partikel polutan melalui proses sedimentasi, sementara kolam retensi dapat meningkatkan kualitas limpasan melalui proses penyerapan polutan

biologis. Praktik tersebut merupakan pilihan yang tepat untuk integrasi rancangan lanskap guna meningkatkan kualitas ruang perkotaan untuk perancangan ruang multifungsi.

Pengaliran

Praktik lain, seperti renaturalisasi aliran air, dirancang untuk mengurangi kecepatan air dalam suatu aliran sembari menyaring polutan melalui media tanaman/vegetasi. Praktik tersebut dapat dirancang dan direkayasa untuk menyediakan area dataran banjir saat curah hujan ekstrem, sembari meningkatkan fungsi lanskap yang ada.

Infiltrasi.

Upaya-upaya infiltrasi limpasan air ke tanah, seperti area bioretensi, dapat membantu mengembalikan kondisi hidrologi daerah resapan air pasca-pembangunan ke kondisi sebelum pembangunan. Infiltrasi dapat menjadi cara yang efektif untuk mengisi air tanah kembali dalam kondisi/jenis tanah tertentu. Kualitas limpasan (yang bergantung kepada tata ruang dan keberadaan sistem pra-pengolahan) akan menentukan kemampuan infiltrasi. Sistem infiltrasi memiliki risiko penyumbatan apabila tidak ada upaya untuk mengurangi masuknya sedimen ke dalam sistem infiltrasi. Karena tingginya intensitas dan frekuensi hujan di beberapa area di Indonesia, kapasitas infiltrasi tanah mungkin terbatas. Jika demikian, harus ada penyimpanan yang memadai atau upaya lain (misalnya, penggunaan sengkedan bervegetasi untuk memperlambat aliran).

Perbedaan pokok dengan pengendalian banjir secara konvensional dan NBS dapat diuraikan sebagai berikut:

Tabel 2-2. Perbedaan sistem pengendalian banjir konvensional dengan NBS

	Konvensional	NBS
Aspek	Pendekatan Konvensional (Infrastruktur Abu-abu)	Solusi Berbasis Alam (Infrastruktur Hijau)
Fokus Utama	Mengontrol dan mengalirkan air dengan cepat	Mengelola dan menahan air dengan meniru alam
Manfaat	Fokus tunggal pada pengendalian banjir	Manfaat ganda (banjir, iklim, sosial, keanekaragaman hayati)
Contoh	Tembok laut, tanggul beton, kanalisasi sungai	Hutan mangrove, restorasi dataran banjir, taman hujan, Kolam retensi/ detensi

5. Pertimbangan Perencanaan NBS Perkotaan

Ada beberapa pertimbangan dalam pemilihan dan perencanaan implementasi NBS perkotaan. Pertama, perlunya mempertimbangkan karakteristik dan kemampuan penerapan berbagai tipe NBS. Daftar tipe NBS yang komprehensif beserta karakteristik, aplikabilitas, fungsi, manfaat, dan lainnya dapat dilihat di World Bank *Catalogue of Nature-based Solutions for Urban Resilience*.

Kedua, perlu pemahaman yang jelas mengenai masalah yang terjadi. Misalnya, wilayah perkotaan mana yang memerlukan pengurangan limpasan air guna menghindari banjir pluvial di hilir, atau di bagian aliran air mana risiko banjir lebih besar agar opsi penyimpanan di hulu dapat dicari atau untuk menilai apakah upaya pengurangan limpasan di daerah tangkapan air dibutuhkan. Selain itu, karena sifat NBS yang multifungsi dan dapat memberikan berbagai manfaat, penting untuk memahami permasalahan lain di tingkat kota, seperti daerah dengan

suhu yang tinggi atau daerah dengan ketersediaan lahan terbuka hijau yang rendah.

Persetujuan dari dan kolaborasi dengan pemangku kepentingan pun harus dipertimbangkan dalam pemilihan NBS. Hal ini termasuk identifikasi kolaborator potensial yang terdapat di suatu area, yakni tenaga ahli, pemerintah kabupaten/kota, peneliti akademis, organisasi lingkungan hidup, dan masyarakat.

Setelah area prioritas untuk penerapan NBS dan tipe NBS yang akan diterapkan telah diidentifikasi, analisis kecocokan perlu dilakukan untuk mengidentifikasi di mana NBS dapat diterapkan. Pemahaman karakteristik fisik daerah setempat sangat diperlukan, mencakup tipe tanah, lereng, tata ruang, dll. Dalam tahap ini, baik peluang penciptaan dan perlindungan NBS harus diidentifikasi. Misalnya, apabila terdapat ruang alami yang diidentifikasi di sepanjang aliran air, maka lokasi tersebut harus dianggap sebagai area dataran banjir yang harus dilindungi dari urbanisasi di masa depan.

Akhirnya, manfaat lain harus dimaksimalkan ketika NBS dipilih dan dirancang. Ketika terdapat lebih dari satu NBS yang diidentifikasi cocok untuk diterapkan di suatu ruang, opsi pemaksimalan manfaat lain selain mitigasi banjir harus dipilih. Selain itu, pertimbangan rancangan harus mencakup manfaat sekunder dan pengembangan ruang perkotaan multifungsi.

6. Perhitungan Biaya dan Manfaat dalam Pendekatan NBS

Penting untuk mengukur dampak dari upaya struktural yang diusulkan terhadap tujuan proyek, termasuk melalui analisis biaya-manfaat. Analisis ini membandingkan biaya konstruksi dan pemeliharaan dengan kinerja upaya struktural tersebut dalam mencapai target pengurangan risiko, serta berbagai manfaat tambahan yang dapat diberikannya. Hasilnya akan membantu mengidentifikasi opsi kegiatan yang paling hemat biaya. Langkah-langkah perhitungan biaya dan manfaat dalam upaya struktural NBS dijelaskan berikut:

- a. Langkah pertama dalam proses ini adalah menggabungkan solusi hijau dan hibrida yang layak yang telah diidentifikasi ke dalam model risiko banjir. Model ini harus dapat menilai bahaya banjir, paparan, dan risiko keseluruhan dalam kondisi saat ini dan proyeksi iklim serta skenario sosial ekonomi. Ada beberapa metodologi dan model untuk mengukur efektivitas langkah-langkah hijau dalam mengurangi intensitas bahaya.
- b. Untuk setiap solusi potensial, hitung biaya investasi dan pemeliharaan per unit dan total. Perkirakan manfaat pengurangan risiko utama dengan membandingkan kerusakan yang dimodelkan berdasarkan skenario dasar (tanpa intervensi) dengan kerusakan berdasarkan setiap skenario intervensi—baik dalam proyeksi saat ini maupun di masa mendatang. Perhitungan ini harus memperhitungkan waktu yang diperlukan untuk implementasi dan efektivitas, dengan menyadari bahwa NBS mungkin memerlukan waktu beberapa tahun untuk memberikan hasil pengurangan risiko penuh.
- c. Selain itu, melakukan kajian dampak sosial dan lingkungan dari langkah-langkah yang diusulkan. Identifikasi apakah ada intervensi yang memerlukan mitigasi atau tindakan perbaikan berdasarkan hukum nasional, perjanjian internasional, atau standar perlindungan. Misalnya, suatu langkah dapat melibatkan pemukiman kembali masyarakat secara tidak sukarela atau perubahan signifikan pada ekosistem yang ada. Pastikan bahwa semua biaya mitigasi diperhitungkan dalam anggaran proyek secara

keseluruhan.

- d. Identifikasi dan evaluasi berbagai manfaat yang diberikan oleh setiap intervensi, termasuk yang terkait dengan hasil sosial dan lingkungan. Baik manfaat yang dapat “diuangkan” maupun yang tidak “diuangkan” harus disajikan dengan jelas untuk mendukung pengambilan keputusan. NBS dapat menghasilkan banyak manfaat tambahan di luar pengurangan risiko banjir, termasuk konservasi keanekaragaman hayati, penciptaan lapangan kerja (misalnya, di bidang pertanian atau perikanan), rekreasi, pariwisata, dan peningkatan kesehatan masyarakat. Manfaat-manfaat ini harus dijelaskan secara rinci—idealnya dalam istilah ekonomi—sambil juga mengidentifikasi dan mengukur dampak negatif potensial apa pun. Penting juga untuk memperkirakan bagaimana aliran manfaat dapat bervariasi dari waktu ke waktu dan untuk mengukur ketidakpastian dalam penilaian manfaat. Manfaat yang tidak dapat diuangkan harus didokumentasikan melalui deskripsi kualitatif yang didukung dengan baik.
- e. Lakukan analisis biaya-manfaat kuantitatif yang lengkap dari setiap solusi yang memungkinkan. Untuk membuat perbandingan yang adil antara biaya dan manfaat, nilai moneter harus didiskontokan dan dikonversi menjadi *net present value*. Biaya yang dibayarkan pada tahun-tahun awal proyek sementara manfaat direalisasikan tahun demi tahun selama beberapa dekade. Jelaskan distribusi biaya dan setiap aliran manfaat.

C. Rancang Bangun Prasarana Pengendali Banjir

Sub-bab berikut ini menguraikan rancang bangun prasarana pengendalian banjir berbasis alam atau *Nature-based Solutions* (NBS) skala kecil dan menengah terhadap pengelolaan air hujan. Sub-bab ini juga memaparkan karakteristik teknis dari setiap tipe NBS melalui satu contoh spesifik, yang mencakup tujuan, persyaratan kesesuaian, dan aspek perancangan, lengkap dengan contoh visual rancangannya.

Panduan ini ditujukan bagi CPIU Supan, NPIU Bintek-OP, Balai Wilayah Sungai sebagai Unit Implementasi Proyek (PIU) NUFReP, Pemerintah Daerah, dan Masyarakat Umum. Harapannya, panduan ini dapat menjadi acuan dalam perencanaan, perancangan, dan penyelenggaraan subproyek pengendalian banjir.

1. Parameter Yang Dipertimbangkan Dalam Penerapan NBS

Pertimbangan Rancangan Secara Umum:

- a. Kondisi hidrologi alami dan drainase air permukaan/di bawah permukaan: kondisi hidrologi saat ini dan koneksi/kondisi drainase harus dipertimbangkan sebelum perancangan. Hal ini juga mencakup kondisi topografi seperti kemiringan dan ketinggian lahan yang dapat mempengaruhi aliran air, kondisi tanah seperti jenis tanah dan kemampuannya untuk menyerap (infiltrasi) dan menahan air (retensi/detensi), serta pemanfaatan lahan saat ini dan masa mendatang termasuk arah pembangunan kota.
- b. Tujuan pengendalian banjir: untuk penggunaan lahan yang efektif di area perkotaan (penggunaan lahan minimal), fitur NBS yang akan digunakan di wilayah perkotaan dapat dirancang untuk mengatasi hujan yang sering terjadi. Sistem pintasan dan limpasan fitur NBS yang memadai harus disediakan dan dihubungkan dengan sistem drainase utama agar daerah sekitarnya tidak terkena banjir. Drainase air hujan di hilir harus memiliki kapasitas hidraulik yang memadai untuk mengatasi aliran puncak dari daerah tangkapan air yang dilayani NBS. Persyaratan teknis minimum untuk penyelenggaraan sistem drainase perkotaan menurut peraturan yang berlaku harus

- ditaati.
- c. Tujuan kualitas air hujan: perancang dan pemilik proyek harus menyepakati tujuan pemanfaatan kualitas air hujan yang diraih dengan fitur NBS yang digunakan. Apabila tidak ada panduan lokal untuk Indonesia, panduan di tingkat regional dapat dipertimbangkan. Misalnya, di Singapura, menurut penilaian awal dan pemantauan proyek uji coba (*pilot project*), tujuan pengolahan untuk padatan tersuspensi, nitrogen, dan fosfor dapat ditemukan dalam panduan nasionalnya.
 - d. Upaya pengelolaan banjir di hulu (sumber) atau hilir (penerima): keterkaitan penerapan fitur NBS di hulu dan di hilir sebagai upaya manajemen banjir yang terintegrasi harus dipertimbangkan.
 - e. Kesehatan dan keamanan (K2): penilaian keamanan risiko harus dilakukan untuk mengidentifikasi bahaya keamanan yang dapat terjadi selama implementasi NBS (contoh risiko K2 di area perkotaan – keamanan: bahaya jatuh, visibilitas rendah; kesehatan – perkembangbiakan vektor (nyamuk), penggenangan air)
 - f. Pemilihan tanaman: tanaman yang digunakan secara bersamaan dengan fitur NBS harus dipilih dengan hati-hati berdasarkan fungsinya (misalnya kebutuhan nutrisi untuk pemeliharaan, kekuatan akar untuk stabilitas kemiringan, dll.), adaptabilitas dengan iklim setempat, dan kesesuaian dengan keanekaragaman hayati setempat. Apabila tidak ada panduan lokal untuk Indonesia, panduan tingkat regional di Asia Tenggara (Singapura dan Malaysia) dan Asia Selatan (Bangladesh, India, Nepal) dapat dipertimbangkan.
 - g. Operasional dan Pemeliharaan (OP): Fitur NBS dengan kebutuhan operasional dan pemeliharaan yang rendah harus diprioritaskan. Karena NBS merupakan struktur yang direkayasa, umur layannya harus dipertimbangkan sejak tahap perencanaan. Dengan masih terbatasnya penerapan NBS di Indonesia, perancang NBS harus mengadopsi pendekatan yang lebih konservatif dalam perencanaan kebutuhan OP fitur NBS dan melakukan monitoring dan pengumpulan data sebagai informasi untuk perancangan di masa depan.
 - h. Nilai tambah dan biaya minimum: dalam perancangan, tujuan yang harus dipertimbangkan adalah bagaimana memberikan nilai tambah (membangun lanskap multifungsi yang dapat meningkatkan pariwisata dan menciptakan lapangan kerja) sembari meminimalkan biaya pembangunan. Hal ini memerlukan pekerjaan yang efisien secara multidisipliner (perancangan lanskap, tata kota, rekayasa, dll.) dan memanfaatkan aset yang telah tersedia di lapangan. Hal ini memerlukan kolaborasi dan kerjasama dengan pemerintah daerah untuk menentukan kebutuhan dasar yang diperlukan sehingga dapat memaksimalkan nilai tambah yang diberikan serta meningkatkan peran serta masyarakat.
 - i. Faktor sosial ekonomi: pengembangan NBS perlu melibatkan peran masyarakat setempat dari tahap perencanaan, implementasi, hingga pemeliharaan. Selain itu, kearifan lokal perlu dipertimbangkan ke dalam desain NBS. Hal ini dapat meningkatkan rasa kepemilikan (*ownership*) dan membantu pemeliharaan infrastruktur NBS.
 - j. Penggunaan infrastruktur hijau dan abu-abu: dalam beberapa kasus, penerapan NBS saja tidak cukup untuk mengatasi seluruh permasalahan terkait air. Biasanya, kombinasi infrastruktur hijau dan abu-abu (infrastruktur beton yang dibangun secara tradisional) akan direkomendasikan. Pendekatan campuran ini memungkinkan strategi antara tipe solusi yang berbeda guna mendukung pencapaian

tujuan pengelolaan air secara berkelanjutan.

- k. Biaya investasi: pembangunan infrastruktur NBS perlu memperhatikan biaya awal seperti desain, konstruksi, dan pembebasan lahan (jika diperlukan) serta menghitungnya di dalam studi kelayakan melalui analisis biaya manfaat (*cost benefit analysis*). Selain itu perlu mempertimbangkan anggaran biaya operasional dan pemeliharaan infrastruktur NBS serta penunjukkan unit pengelola (instansi/lembaga/pemerintah/ masyarakat setempat) yang dilegalkan untuk kegiatan operasionalisasi dan pemeliharannya.

Pertimbangan Kondisi Lokal:

- a. Iklim tropis memiliki keunggulan dan tantangan dalam mengadopsi infrastruktur hijau. Suhu yang lebih tinggi, curah hujan, dan kelembaban mendorong produktivitas tumbuhan yang lebih tinggi sepanjang tahun. Namun, volume dan intensitas curah hujan yang tinggi memerlukan penentuan ukuran sistem pengelolaan air hujan yang tepat.
- b. Sistem dengan kapasitas penyimpanan yang tinggi yang dapat mengelola aliran puncak harus diutamakan.
- c. Intensitas curah hujan yang tinggi menyebabkan kecepatan aliran tinggi sehingga dapat meningkatkan risiko atau erosi, dengan laju sedimentasi yang lebih tinggi. Buruknya pengelolaan limbah padat/sampah dapat meningkatkan risiko penyumbatan sistem sehingga harus dipertimbangkan saat merancang sistem pra-pengolahan dan rencana pemeliharaan.
- d. Iklim tropis juga mendorong perkembangbiakan nyamuk sehingga perlu dipertimbangkan saat memilih tipe NBS. Sistem dengan adanya air permukaan harus diminimalkan, aliran yang mengalir melalui lahan basah harus dipastikan, dan kolam dengan air yang menggenang harus dihindari. Spesies tanaman yang dapat menahan air di daun dan bunganya pun harus dihindari.
- e. Perancangan sistem yang melindungi NBS, seperti area bioretensi, dari aliran yang tinggi dan aliran berkecepatan tinggi sangat penting dilakukan dalam iklim setempat (misalnya menambahkan rute aliran yang tinggi untuk melewati sistem).
- f. Dengan permasalahan pengelolaan limbah padat di kota-kota di Indonesia, perlindungan sistem dari sedimentasi dan padatan kasar sangat penting agar sistem dapat berfungsi dalam jangka panjang dan mengurangi pemeliharaan. Struktur pra-pengolahan seperti saringan polutan kasar, penampungan sedimen, dan kolam sedimen harus dipasang sebelum infrastruktur hijau.
- g. Pengelolaan limbah padat sama pentingnya untuk memastikan kinerja infrastruktur hijau yang baik selama masa layannya. Edukasi masyarakat dan kampanye aktif terkait pembuangan sampah penting untuk dilakukan dalam jangka panjang.
- h. Perkembangan proyek uji coba untuk mendemonstrasikan NBS dapat membantu memberikan informasi awal beserta bukti konsep agar NBS diadopsi secara lebih luas, menggambarkan manfaatnya, dan memberikan pembelajaran untuk memandu perancangan (penentuan ukuran sistem, tingkat muatan, spesies tanaman yang optimal, dan media filter) dan menyusun panduan teknis lokal terkait praktik-praktik perancangan, pembangunan, dan pemeliharaan.
- i. Intensitas curah hujan yang tinggi di iklim tropis diperkirakan akan menyebabkan area bioretensi yang lebih besar dibandingkan sistem serupa di luar negeri dengan iklim berbeda.

2. Rancang Bangun Infrastruktur NBS

a. Area Bioretensi/Taman Hujan

Area bioretensi adalah cekungan bervegetasi atau area lanskap yang memanfaatkan kolam, tanah yang dapat menyerap air hujan/bersifat permeabel (tanah yang direkayasa atau tanah asli yang menyerap air dengan baik), vegetasi, dan media penyimpanan permukaan untuk memitigasi limpasan air hujan melalui evapotranspirasi, infiltrasi, dan/atau penyimpanan sementara. Upaya ini memerlukan lahan yang tidak terlalu besar, dapat diadaptasi dalam berbagai situasi, dan sering digunakan untuk mengelola/mengurangi limpasan dekat sumber aliran. Apabila memungkinkan, pemanfaatan fungsi sistem infiltrasi perlu dioptimalkan guna mengurangi volume air hujan yang memasuki drainase dan dapat mengembalikan air tanah. Jika infiltrasi tidak memungkinkan atau terbatas, upaya ini dapat dirancang sebagai fasilitas detensi untuk memitigasi tingkat limpasan puncak.

Area bioretensi pun disebut sebagai taman hujan (*rain gardens*) dan kedua istilah ini memiliki definisi yang sama. Namun, di beberapa tempat, kedua istilah ini dibedakan dengan mendefinisikan area bioretensi sebagai struktur besar yang mencakup sistem drainase bawah tanah dan menyediakan kapasitas detensi yang lebih baik sementara taman hujan didefinisikan sebagai upaya yang lebih kecil dengan infiltrasi sebagai proses utamanya.

1) Kelayakan/Kecocokan

Bioretensi cocok diterapkan di area perkotaan dengan ketersediaan lahan yang terbatas. Karena area bioretensi dapat digabungkan ke dalam area lanskap, penggunaan bioretensi sangat fleksibel dan dapat ditempatkan di sepanjang jalan atau di area pembangunan, pemugaran, atau yang sedang direvitalisasi. Area bioretensi tidak direkomendasikan untuk lokasi dengan kemiringan lereng yang curam, muka air tanah yang tinggi, aliran yang terus-menerus, atau berisiko terpapar limpasan beracun.

Area bioretensi dapat diterapkan di skala lokasi (permukiman atau komersial), jalanan, masyarakat, maupun kota. Di suatu lahan, bioretensi dapat diterapkan sebagai taman hujan di pekarangan rumah atau spot bioretensi kecil di area komersial, industrial, dan area multi-unit. Di jalanan, bioretensi dapat diintegrasikan dengan ruang milik jalan di sepanjang sisi jalan. Bioretensi dapat menambah ruang terbuka hijau, melibatkan masyarakat dengan siklus air, memanfaatkan kembali air hujan, dan dapat diletakkan dalam infrastruktur detensi banjir.

Area bioretensi dapat dirancang untuk mengelola jumlah air dan meningkatkan kualitas air. Area bioretensi dapat mengendalikan jumlah air, terutama untuk volume limpasan yang rendah seperti limpasan yang berasal dari hujan dengan frekuensi yang relatif tinggi (ARI hingga 2 tahun). Upaya ini harus dirancang dan dipelihara agar memungkinkan lintasan aliran yang lebih tinggi dengan aman. Sama seperti praktik berbasis alam lainnya, area bioretensi akan lebih efektif dengan tingkat infiltrasi tanah yang lebih tinggi.

Manfaat:

- a) Dapat diterapkan di area drainase kecil.
- b) Menghilangkan polutan secara efektif.
- c) Dapat mengurangi volume air hujan dan tingkat limpasan puncak.
- d) Cocok untuk area dengan tutupan lahan kedap air tinggi, seperti di sisi jalan atau tempat parkir.

- e) Tata letak yang fleksibel/dapat disesuaikan dan mudah diintegrasikan dengan lanskap perkotaan.
- f) Dapat dilakukan pada pembangunan yang berlangsung untuk peningkatan fungsi area hijau eksisting.
- g) Dapat menambah nilai estetika dan meningkatkan keanekaragaman hayati.

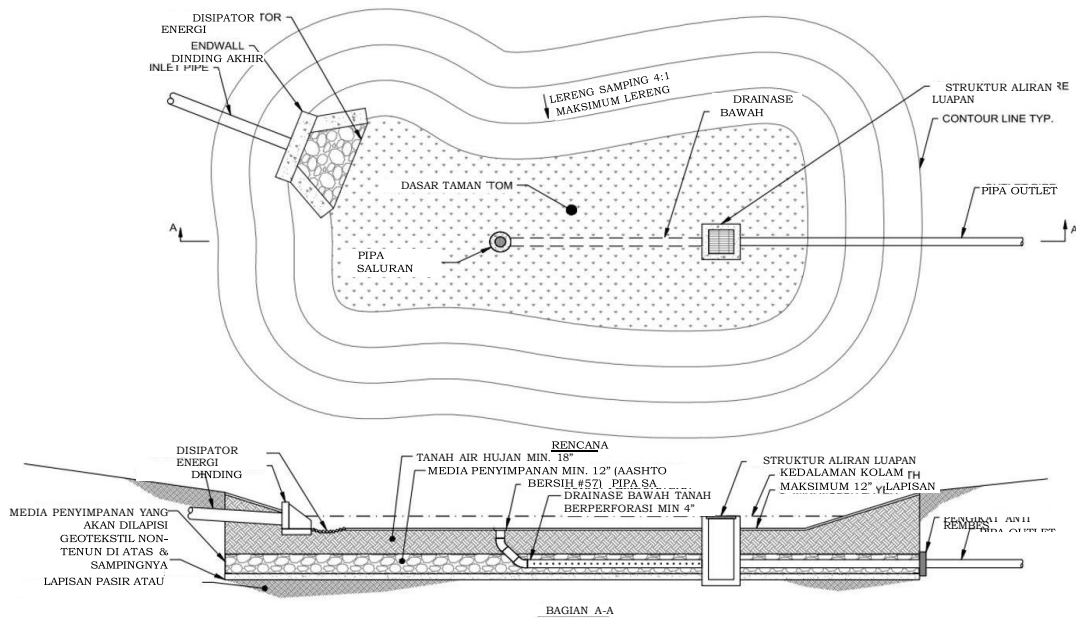
Batasan:

- a) Kombinasi dengan upaya lain mungkin diperlukan untuk mencapai tujuan pengelolaan air hujan,
- b) Biaya awal menengah hingga tinggi,
- c) Biaya pemeliharaan menengah,
- d) Tanah dapat tersumbat seiring waktu (mungkin memerlukan pembersihan atau penggantian).

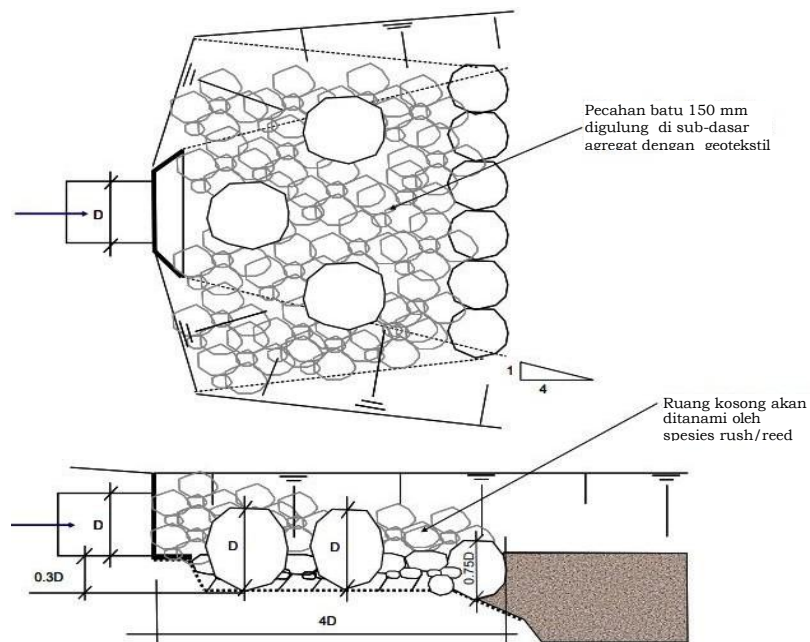
Komponen:

Area bioretensi umumnya terdiri atas komponen berikut:

- a) Struktur pencegah erosi (fungsi disipator energi) dan/atau distribusi aliran di *inlet* menuju struktur, dirancang untuk mengurangi kecepatan dan energi air hujan yang memasuki bioretensi (Gambar 3-2).
- b) Area pra-pengolahan dapat ditempatkan di hilir disipator energi, umumnya terdiri atas garis filter rumput di antara area drainase yang menjadi sumber dan area penampungan atau reservoir guna mempermudah pemeliharaan lapisan tanah.
- c) Area penampungan yang memiliki vegetasi dengan media tanam yang direkayasa.
- d) Jika diperlukan, tergantung tipe vegetasi yang digunakan, iklim, dan kondisi setempat lainnya, lapisan organik/mulsa dapat digunakan untuk melindungi media tanam. Kebutuhan komponen ini bergantung kepada tipe vegetasi yang digunakan dan kondisi musim kemarau.
- e) Lapisan tanah yang dapat menyerap air hujan untuk penyaringan infiltrasi limpasan air.
- f) Media penyimpanan untuk memberikan kapasitas detensi (saat merancang penyimpanan).
- g) Pipa berperforasi untuk saluran air bawah tanah (jika pengaliran air tidak hanya berbasis infiltrasi).
- h) Struktur tumpahan, diversifikasi, atau struktur pintasan untuk mengalirkan air hujan yang lebih banyak dengan cara yang aman melalui atau mengitari area bioretensi.



Gambar 3-1: Contoh skematik area bioretensi



Gambar 3-2: Contoh skematik struktur pencegahan erosi, disebut juga disipator energi

2) Langkah-langkah perancangan dan pertimbangan

Langkah 1: Menentukan lokasi

- a) Area bioretensi umumnya diterapkan di daerah tangkapan air yang kecil (misalnya, rekomendasi daerah tangkapan air maksimum adalah 0,8 hingga 2 hektar). Jika areanya lebih luas, pertimbangan dan pengukuran khusus harus dilakukan guna menghindari penyumbatan dan erosi.
- b) Persentase area permukaan sistem bioretensi harus relatif kecil dibandingkan area drainase menyeluruh guna mencegah penyumbatan permukaan bioretensi (misalnya, 2 hingga 6%).
- c) Area bioretensi paling baik ditempatkan di lereng yang relatif kecil dengan mempertimbangkan faktor struktur dan biaya (misalnya, 5%, dan maksimum 20%).
- d) Terdapat jarak yang direkomendasikan antara dasar area bioretensi dan elevasi muka air tinggi musiman (misalnya, setidaknya 60 cm hingga 1 m).

- e) Sistem tidak boleh terletak dekat bangunan (kecuali bioretensi dirancang kedap air). Jarak minimum dari struktur beragam, bergantung kepada tipe tanah dan apakah infiltrasi memungkinkan (misalnya rekomendasi skor 3 - 5 meter).
- f) Sistem bioretensi dirancang untuk aliran sementara dan harus memungkinkan penyaluran dan aerasi ulang antara hujan.
- g) Lokasi area bioretensi harus terintegrasi dengan proses perencanaan dan estetika lapangan, pertimbangan pemeliharaan harus dipertimbangkan dalam penentuan lokasi dan perancangan.

Langkah 2: Memperkirakan rancangan arus

- a) Perhitungan interval kejadian tahunan (*annual recurrence interval* atau ARI) untuk hujan rencana bergantung kepada pola curah hujan lokal dan harus mematuhi ketentuan atau peraturan setempat. Namun, dua aliran umumnya direkomendasikan untuk rancangan tumpahan dan verifikasi erosi. Hujan yang relatif baru terjadi (dengan ARI beragam antara 5 hingga 10 tahun) direkomendasikan untuk menentukan ukuran tumpahan dan kejadian badai ekstrem (ARI 100 tahun) direkomendasikan untuk diverifikasi di dalam sistem agar erosi tidak terjadi (kecepatan kurang dari 2m/s).
- b) Agar pembuangan polutan dilakukan dengan baik, kejadian badai yang terjadi sebanyak rata-rata satu kali per tahun direkomendasikan. Namun, karena volume limpasan di iklim tropis diperkirakan lebih tinggi dibandingkan dengan iklim sedang, volume kualitas air atau *water quality volumes* (WQV), yang merupakan jumlah limpasan yang harus ditampung guna meraih tingkat pembuangan polutan yang diinginkan, mungkin merupakan parameter rancangan yang lebih baik dibandingkan dengan ARI (misalnya WQV antara 10 hingga 30mm).

Langkah 3: Merancang struktur *inlet*

- a) Disipasi energi harus dipertimbangkan di lokasi *inlet* guna mengurangi kecepatan *inlet* setempat dan meminimalkan erosi. Hal ini bertujuan untuk mencapai aliran bebas erosi berkecepatan rendah (misalnya di bawah 0,5m/s). *Rock beaching* atau riprap adalah contoh metode untuk mendisipasi energi *inlet* yang terkonsentrasi. Bebatuan dapat menjadi bagian rancangan lanskap komponen bioretensi.
- b) Sistem pra-pengolahan direkomendasikan untuk mencegah penyumbatan drainase bawah tanah atau tanah asli, terutama untuk kasus dengan limpasan sedimen yang tinggi, opsinya mencakup sengkedan bervegetasi, strip filter, dan perangkat polutan kasar untuk menyaring limbah padat.
- c) Sedimen kasar dapat terkumpul dekat cekungan *inlet* apabila limpasan air hujan dialirkan tanpa pra-pengolahan (melalui sengkedan bervegetasi atau pengolahan penyangga). Untuk memitigasi dampak tersebut, tampungan sedimen kasar direkomendasikan untuk digabungkan dengan rancangan cekungan bioretensi.

Langkah 4: Memilih tipe bioretensi

- a) Pemilihan tipe bioretensi bergantung kepada permeabilitas tanah asli, kedalaman muka air tanah dan lapisan kedap air, serta luas drainase yang dilayani.
- b) Apabila tanah asli memiliki tingkat infiltrasi yang rendah, alternatif yang dapat dilakukan adalah penggantian tanah asli dan pemasangan kerikil (untuk media penyimpanan) dan

sistem drainase bawah tanah dengan pipa berperforasi untuk mengumpulkan limpasan yang telah disaring melalui lapisan tanah bioretensi.

- c) Apabila tanah asli memiliki tingkat infiltrasi yang tinggi dan kapasitas yang tinggi untuk menyimpan air, cekungan bioretensi sebagai *soakaway* (yang tidak terhubung dengan drainase dan memungkinkan air untuk meresap ke tanah dan akuifer di sekitarnya) dapat digunakan sebagai alternatif.
- d) Opsi lain yang dapat diterapkan apabila kapasitas infiltrasi terbatas adalah menggunakan drainase bawah tanah yang lebih tinggi yang memungkinkan infiltrasi dan penyimpanan air.
- e) Sistem yang memungkinkan infiltrasi harus dihindari apabila terdapat risiko pencemaran air tanah.
- f) Prosedur perancangan mendasar untuk berbagai tipe bioretensi relatif serupa.

Langkah 5: Media penyaringan, drainase bawah tanah, dan lapisan kedap air

- a) Media penyaringan atau tanah air hujan: tanah asli apabila saturasi konduktivitas hidraulik di atas 100 mm/jam, dan tidak melebihi 500 mm/jam agar pertumbuhan vegetasi tetap memungkinkan. Jika hal tersebut tidak dapat dipenuhi, diperlukan media rekayasa termasuk pasir kasar, lumpur, tanah liat, dan bahan organik lainnya (kedalaman media yang direkomendasi beragam, mulai dari 45 cm hingga 120 cm).
- b) Lapisan drainase (dapat digunakan juga sebagai media penyimpanan) diperlukan untuk menyalurkan air yang telah diolah dari dasar media penyaringan ke drainase bawah tanah berperforasi (kecuali apabila rancangan didesain untuk memungkinkan air yang telah disaring agar dapat menginfiltrasi tanah secara sepenuhnya). Lapisan drainase mengelilingi drainase bawah tanah berperforasi dan umumnya terdiri atas kerikil halus (misalnya, ukuran partikel 2-5 mm), dengan porositas yang direkomendasikan sebesar setidaknya 30%.
- c) Lapisan media penyaringan direkomendasikan untuk dipisahkan dengan lapisan drainase dengan lapisan transisi yang terdiri atas pasir yang bersih. Hal ini bertujuan untuk mencegah perpindahan media penyaringan di dasar ke lapisan drainase. Hal ini pun dapat dilakukan dengan menaruh geotekstil yang dapat menyerap air antara lapisan kerikil dan media penanaman.
- d) Untuk pertimbangan struktural, keamanan, dan perlindungan tanaman, dan bergantung pada karakter tanah dan vegetasi, kedalaman kolam, dan waktu drainase sistem bioretensi harus dibatasi (misalnya: waktu drainase maksimal selama 24 jam, kedalaman kolam maksimal adalah 30 cm).
- e) Sistem drainase bawah tanah harus relatif dekat di bawah dasar area tanam guna mengurangi saturasi di zona perakaran (misalnya 30-45 cm). Pipa drainase bawah tanah harus memiliki kapasitas yang cukup untuk menyalurkan aliran yang dirancang (tingkat filtrasi maksimum dikali luas permukaannya). Material lapisan drainase tidak boleh terbawa ke pipa berperforasi.
- f) Dalam sistem yang dirancang untuk mencegah ex-filtrasi ke tanah in-situ, lapisan kedap air mungkin diperlukan di dasar dan/atau sisi sistem bioretensi. Apabila saturasi

konduktivitas hidraulik media penyaringan lebih dari 10 kali lebih besar daripada saturasi konduktivitas hidraulik tanah in-situ di sekitarnya, lapisan kedap air tidak diperlukan.

Langkah 6: Merancang struktur *outlet*

- a) Aliran berlebih dari area kolam suatu sistem bioretensi diteruskan ke sistem drainase hilir melalui lubang keluaran/saluran *outlet*.
- b) *Outlet* luapan dirancang untuk luapan yang lebih besar dibandingkan luas bioretensi (misalnya, untuk aliran ARI 10 tahun).
- c) Tampungan bioretensi umumnya memiliki *outlet* luapan dengan kisi-kisi atau lubang masuk samping konvensional.
- d) *Outlet* luapan dapat diletakkan dekat *inlet* untuk meminimalkan panjang jalur aliran untuk aliran rancangan di atas.
- e) Tingkat keamanan harus dibangun dalam rancangan *outlet* luapan, misalnya dengan menempatkan puncak *outlet* setidaknya 100 mm di bawah invert parit jalan.

Langkah 7: Vegetasi

- a) Tanaman merupakan komponen sistem bioretensi yang penting karena dapat menyerap polutan dan menstabilkan tanah.
 - b) Jenis dan spesies tanaman harus dipilih agar dapat mengatasi kondisi lingkungan ekstrim seperti periode genangan yang sering terjadi saat hujan dan periode kekeringan, serta beban polutan limpasan.
 - c) Direkomendasikan untuk menggunakan vegetasi asli.
 - d) Direkomendasikan untuk menanam keseluruhan permukaan area bioretensi dengan vegetasi dan memilih vegetasi yang cocok untuk kondisi tertentu suatu lokasi (misalnya kondisi tanah, hidrologi).
 - e) Pertimbangkan fungsi keteduhan dan cahaya matahari serta kondisi ornamental di sepanjang tahun.
 - f) Minimalkan kebutuhan herbisida, pupuk, dan pestisida, serta kebutuhan untuk pemangkasan dan pembabatan.
 - g) Direkomendasikan untuk mendapatkan masukan dari arsitek lanskap saat pemilihan vegetasi guna memastikan rancangan lanskap yang layak dan sesuai untuk suatu area.
 - h) Penting untuk mengidentifikasi tanggung jawab pemeliharaan sejak fase perancangan dan hal ini harus dipertimbangkan dalam menentukan daftar tanaman yang cocok untuk sistem bioretensi.
- 3) Pemodelan
- Untuk menilai dampak NBS terhadap banjir pluvial, beberapa model hidrologi-hidraulik dapat menyimulasikan infrastruktur air hujan berbasis alam yang berbeda, mempertimbangkan proses evaporasi, infiltrasi, retensi limpasan, dan pengolahan. Model-model tersebut pun dapat menyimulasikan pendekatan abu-abu dan hibrida (hijau-abu) bagi upaya pengendalian air hujan. Ada berbagai model yang dapat melakukannya dan yang paling sering digunakan adalah EPA *Storm Water Management Model* (SWMM).

b. Cekungan/Kolam Retensi dan Kolam Detensi

Kolam retensi dan kolam detensi merupakan salah satu infrastruktur pengendalian banjir yang memiliki tujuan berbeda dalam mengelola limpasan air hujan. Secara umum kolam retensi bertujuan menyimpan air hujan secara permanen dan dapat menyediakan air

baku untuk berbagai keperluan. Sementara kolam detensi bertujuan menyimpan sementara limpasan air hujan dan mengurangi laju aliran puncak yang dapat membanjiri saluran hilir. Perbedaan utama antara kolam retensi dan kolam detensi dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 3-1. Perbedaan Kolam Retensi dan Kolam Detensi

Item	Kolam Retensi	Kolam Detensi
Kolam tampungan	Permanen	Sementara
Fungsi utama	Pengendalian banjir dan peningkatan kualitas air	Pengurangan aliran puncak banjir
Elevasi muka air	Mempertahankan genangan air permanen	Biasanya kering di antara hujan
Pengendalian air keluar	Selain untuk mengeluarkan air sesuai debit kebutuhan, mempunyai fungsi tambahan untuk menghilangkan polutan	Dirancang untuk melepaskan air secara bertahap

Kolam Detensi

Kolam detensi dirancang untuk pengendalian kuantitas air dan pengolahan kualitas air melalui penyimpanan sementara air hujan. Meskipun struktur ini umumnya digunakan untuk penyimpanan dan pengendalian air hujan atau limpasan dalam jumlah besar, penggunaannya dapat berkontribusi terhadap permeabilitas, multifungsionalitas/pemanfaatan berbagai fungsi, dan estetika area secara menyeluruh. Kolam detensi dapat berupa lahan basah bervegetasi atau struktur lanskap yang dapat difungsikan untuk area penyimpanan air. Kolam detensi pada area terbuka yang kering dapat digunakan untuk berbagai fungsi, seperti ruang publik dan/atau rekreasi. Selain itu, kolam detensi kering dapat melakukan disipasi energi limpasan air hujan yang diterima dan memungkinkan sedimentasi beberapa padatan tersuspensi.

1) Kelayakan/Kecocokan

Secara tradisional, kolam detensi kering adalah salah satu jenis NBS penampung air hujan yang paling banyak digunakan. Cekungan detensi kering dapat dirancang dengan mudah untuk pengendalian banjir yang disebabkan oleh badai ekstrem (yang menghasilkan aliran yang melebihi kapasitas sistem drainase) dan hal ini merupakan fungsi utama kebanyakan kolam detensi saat ini. Kolam detensi kering dapat digunakan di seluruh jenis tanah dan kondisi geologis, dengan penyesuaian rancangan yang minim untuk daerah tertentu dan tanah yang mudah terbawa seperti pasir. Di area ini, kolam detensi harus dirancang dengan lapisan kedap air guna menghindari kontaminasi air tanah atau keretakan/ambles pada tanah asli. Kolam detensi harus direncanakan di dataran rendah terbuka alami dalam suatu daerah tangkapan air. Sistem ini harus diintegrasikan dengan perencanaan permukiman atau kompleks pembangunan untuk kenyamanan masyarakat.

Manfaat:

- a) Tingkat penyerapan polutan yang moderat
- b) Penerimaan oleh masyarakat yang tinggi
- c) Bermanfaat untuk pengendalian banjir dalam periode kala ulang yang tinggi
- d) Kolam detensi kering dapat memiliki beberapa fungsi di perkotaan. Misalnya, sebagai ruang publik saat tidak banjir (lapangan bermain, dll.).

- e) Jika diintegrasikan dengan baik dengan lanskap kota, kolam detensi dapat menjadi destinasi rekreasi dan membantu meningkatkan kesadaran lingkungan.

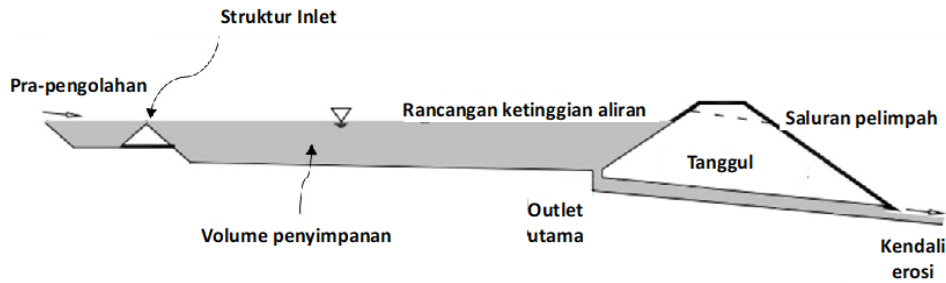
Batasan:

- a) Memerlukan area yang relatif luas.
- b) Memerlukan biaya yang relatif tinggi untuk konstruksi, bergantung pada rancangannya.
- c) Upaya pengamanan keselamatan harus diterapkan guna mencegah kecelakaan.

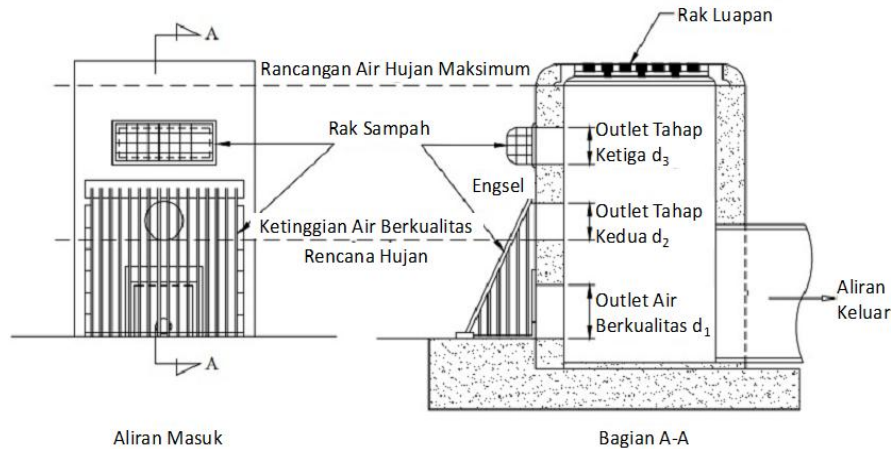
Komponen

- a) Sistem pra-pengolahan: perangkat polutan kasar dapat digunakan untuk menyaring sampah, puing, atau sedimen kasar dari limpasan. Selain itu, kolam sedimen pun direkomendasikan untuk menghilangkan partikulat padat yang lebih halus (Gambar 3-3). Apabila kolam pengelolaan kualitas air atau lahan basah ditambahkan, partikulat dan polutan terlarut dapat dipisahkan.
- b) Struktur *inlet*: struktur *inlet* dapat berupa pipa, saluran, atau bendung; struktur *inlet* dapat terpusat di suatu titik atau tersebar. Struktur *inlet* harus memberikan perlindungan terhadap erosi.
- c) Volume penyimpanan: kolam detensi kering dapat berupa komponen on-line tempat air permukaan dari kejadian rutin dialirkan melalui kolam, dan ketika aliran meningkat saat terjadi badai, kolam akan terisi dan menjadi penyimpanan bagi limpasan air dan atenuasi aliran. Kolam detensi kering pun dapat berupa komponen *off-line* yang menerima limpasan yang diarahkan ke dalamnya dari saluran beraliran rendah hanya ketika aliran dalam sistem drainase mencapai batas tertentu. Kolam detensi *off-line* cocok untuk pemanfaatan fungsi lainnya, misalnya sebagai fasilitas publik atau rekreasi, atau sebagai bagian dari lanskap perkotaan.
- d) Tanggul: karena kolam detensi kering hanya menahan air untuk sementara, tidak ada risiko tinggi permasalahan struktur pada tanggul, kecuali apabila terdapat permasalahan kondisi tanah (pondasi) yang buruk atau khusus. Namun, diperlukan upaya untuk menghindari luapan, erosi, dan pemipaan.
- e) *Outlet* utama: *outlet* utama dirancang untuk melepaskan air secara terkendali dari kolam detensi. Hal ini dapat berupa struktur *outlet* bertahap tunggal (*single stage*) atau kendali *outlet* bertahap banyak (*multi-stage*) (lihat Gambar 3-4). *Outlet* bertahap banyak (*multi-stage*) diperlukan ketika, misalnya, kolam detensi dirancang untuk mengendalikan aliran puncak dari hujan rencana minimum dan maksimum.
- f) Aliran darurat: aliran darurat bertujuan untuk mengontrol luapan aliran yang melebihi aliran hujan rencana maksimum untuk fasilitas penyimpanan. Aliran ini mencegah tinggi muka air di dalam kolam melebihi tanggul dan menyebabkan kerusakan struktur.
- g) Saringan sampah: karena tingginya risiko *inlet* dan *outlet* tersumbat oleh puing dan sampah (yang harus dipertimbangkan saat komponen tersebut dirancang) dan bergantung pada karakteristik *inflow*, keberadaan struktur saringan sampah mungkin diperlukan (lihat Gambar 3-4).

- h) Perlindungan erosi: riprap, kolam terjun atau pads, atau disipator energi lainnya harus ditempatkan di akhir *inlet* dan *outlet* untuk mencegah penggerusan dan erosi.



Gambar 3- 3 : Komponen kolam detensi



Gambar 3-4: Contoh *outlet* utama bertahap (*multi-stage*) banyak dengan saringan/rak sampah

2) Langkah-langkah perancangan dan pertimbangan

Langkah 1: Mengevaluasi lokasi

- Bergantung pada kondisi setempat dan tujuan, kolam detensi kering tidak digunakan di lokasi dengan area drainase kecil (misalnya lebih kecil dari 3 atau 4 ha) karena hal ini dapat menyebabkan diameter *outlet* yang kecil yang memiliki risiko penyumbatan yang tinggi. Apabila area drainasenya kecil, perancangan area *outlet* dan pengendalian puing/sampah harus diperhatikan secara khusus.
- Bergantung pada kondisi setempat dan tujuan, ruang yang diperlukan untuk kolam detensi secara umum lebih rendah dibandingkan dengan area drainase (misalnya 2-3% dari daerah tangkapan air).
- Untuk mencegah tanggul yang tinggi, kolam detensi kering tidak untuk digunakan di lokasi dengan kemiringan tinggi (misalnya hingga sekitar 15%).
- Elevasi dasar kolam detensi tidak dapat beririsan dengan muka air tanah. Jika hal ini terjadi, kapasitas penyimpanan harus diverifikasi tidak akan terganggu saat air tanah tinggi. Jika volumenya digunakan untuk kegunaan lain, muka air tanah yang tinggi dapat mengganggu kecuali apabila fasilitas tersebut dirancang sebagai lahan basah.
- Aspek pemeliharaan merupakan pertimbangan yang penting bagi lokasi dan tata letak. Penting untuk mempertimbangkan bagaimana area detensi yang lebih dalam seperti reservoir dan *outlet* akan diakses dan peralatan apa yang akan digunakan.

Langkah 2: Hujan rencana, hidrograf banjir *inflow*, dan batas *outflow*

- a) Bergantung pada kondisi setempat dan regulasi, suatu hujan rencana atau lebih (minimum dan maksimum) mungkin dipilih untuk merancang kolam detensi. Selain itu, rencana hujan yang lebih tinggi harus dipilih untuk merancang luapan darurat.
- b) Untuk setiap hujan rencana, batas *outflow* maksimum harus diatur (misalnya, kondisi aliran sebelum pembangunan).
- c) Curah hujan tertentu yang mewakili skenario terburuk untuk kolam detensi harus ditentukan melalui uji coba perilaku pemodelan penyimpanan yang menerapkan badai dengan durasi dan ARI yang berbeda.
- d) Untuk setiap rencana hujan yang dipertimbangkan, hidrograf banjir inflow untuk serangkaian durasi badai dapat dialirkan melalui kolam untuk menentukan durasi badai kritis yang menghasilkan volume penyimpanan dan ketinggian air tertinggi di kolam detensi.

Langkah 3: Pra-pengolahan dan *inlet*

- a) Pra-pengolahan untuk kolam detensi kering umumnya dilakukan di reservoir sedimen atau menggunakan strip penyaring bervegetasi, saluran rumput, atau lahan basah.
- b) Bergantung kepada kondisi lokal dan aliran, kolam kualitas air atau lahan basah dapat memerlukan volume sebesar 30% dari volume kolam detensi, reservoir sedimen dapat memerlukan volume sebesar 10% dari volume kolam detensi.
- c) Ukuran *inlet* harus sesuai agar kapasitasnya sama dengan atau lebih tinggi daripada kapasitas saluran pendekatan. Tingkat invert cekungan di titik *inlet* harus sama dengan atau kurang dari tingkat *invert* saluran masuk.
- d) Kerentanan *inlet*, seperti lubang, terhadap penyumbatan yang disebabkan oleh puing atau sampah harus dipertimbangkan saat menghitung kapasitas hidrauliknya.

Langkah 4: Volume penyimpanan

- a) Volume penyimpanan yang dibutuhkan untuk pengurangan aliran puncak harus diperkirakan sejak awal sebagai nilai awal. Nilai ini dapat dihitung dengan membuat hidrograf banjir *inflow* dan *outflow*, dengan penyimpanan yang diperlukan merupakan volume representatif kedua kurva. Hidrograf banjir *outflow* dapat diperkirakan sebagai garis lurus dengan nilai yang sama dengan tingkat *outflow* maksimum yang memungkinkan. Perkiraan yang layak dapat mengurangi jumlah uji coba yang dilakukan dalam prosedur pengukuran
- b) Alirkan hidrograf banjir *outflow* melalui cekungan dengan model komputer atau perhitungan hidraulik yang diperlukan, untuk menentukan ketinggian air dan *outflow* maksimum. Apabila kedua nilai tersebut tidak dapat diterima, ganti geometri cekungan atau konfigurasi *outlet*.
- c) Untuk keselamatan, kedalaman air dalam kolam detensi harus terbatas sesuai dengan kondisi lokal dan kegiatan di sekitarnya (misalnya, tidak melebihi 2-3 m).
- d) Kemiringan dasar kolam detensi kering harus dibuat mengarah menuju *outlet* guna mencegah genangan air (misalnya kemiringan 1%).
- e) Saluran beraliran rendah di dasar fasilitas dari *inlet* ke *outlet* direkomendasikan untuk mengalirkan aliran rendah dan mencegah genangan di fasilitas *on-line*.

Langkah 5: Tanggul

- a) Ketinggian dan kemiringan tanggul harus dibatasi mempertimbangkan alasan pemeliharaan, struktural, dan keamanan (misalnya ketinggian kurang dari 6 m dan kemiringan sisinya tidak lebih dari 3H:1V). Analisis stabilitas kemiringan geoteknik direkomendasikan untuk tanggul yang lebih tinggi dari 3 m.
- b) Dalam hal kolam detensi bervegetasi, sisi tanggul yang miring harus tertutupi oleh vegetasi seluruhnya untuk meminimalkan erosi.
- c) Ketinggian rencana untuk tanggul harus ditingkatkan untuk mempertimbangkan penurunan tanah (misalnya sebesar 5 %).
- d) Material pengisi tanggul harus dipadatkan dengan baik guna meminimalkan penurunan tanah (misalnya, setidaknya 95% dari kepadatan maksimum).
- e) Tinggi jagaan (*freeboard*) aman harus disediakan (misalnya, minimum 30 cm), yang diukur dari puncak elevasi permukaan air saat banjir ekstrem hingga titik terendah tanggul.

Langkah 6: Mengukur *outlet* utama dan saringan/rak sampah

- a) *Outlet* utama dirancang untuk mengontrol pelepasan air dari kolam detensi. *Outlet* utama dapat berupa struktur *outlet* bertahap tunggal (*single stage*) atau beberapa struktur *outlet* yang digabungkan sebagai pengendali *outlet* bertahap banyak (*multi-stage*). Fasilitas *outlet* bertahap tunggal (*single stage*) umumnya dirancang untuk gorong-gorong sederhana, sementara untuk sistem bertahap banyak (*multi-stage*), struktur yang dirancang mempertimbangkan serangkaian rencana aliran.
- b) Waktu pengeringan cekungan dikendalikan oleh ukuran *outlet*. Waktu maksimumnya harus ditentukan (misalnya, 12 jam³¹) tergantung kondisi setempat, misalnya untuk memungkinkan penggunaan sekunder lahan atau karena risiko penyakit menular.
- c) Perhatian khusus harus diberikan kepada pipa *outlet* hilir atau gorong-gorong guna menghindari kegagalan tanggul karena perpipaan (*piping*). Dinding pembatas atau cincin rembesan dapat disediakan.
- d) Saringan/rak sampah harus memiliki luas 10 kali lebih tinggi dibandingkan bukaan *outlet*, struktur miring direkomendasikan sebagai saringan sampah.
- e) Invert struktur *outlet* harus ditekan ke bawah tanah untuk meminimalkan penyumbatan karena sedimentasi.
- f) Bergantung pada kecepatan buangan air, kolam terjun (*riprap*), *pad*, atau disipator energi lainnya mungkin diperlukan pada akhir *outlet* untuk mencegah erosi, yang dapat menyebabkan kegagalan tanggul.

Langkah 7: Mengukur *outlet* darurat

- a) Kondisi kolam detensi dalam kondisi ekstrem harus diperiksa, kondisi tersebut dapat berupa hujan yang lebih besar dibandingkan hujan rencana atau kondisi yang menyebabkan penyumbatan *outlet* utama baik secara penuh maupun sebagian.
- b) Perhatian khusus harus diberikan kepada pengukuran dan pengoperasian saluran limbah yang memadai guna menghindari kegagalan yang dapat mengakibatkan kerusakan di hilir, terutama apabila area hilir bersifat rentan.

- c) Struktur aliran limbah tersebut harus terletak sedekat mungkin dengan *inlet* guna meminimalkan panjang jalur aliran untuk aliran kapasitas tersebut dan mengurangi risiko erosi.
- d) Permukaan saluran limbah harus terlindung dari erosi apabila terpapar aliran kecepatan tinggi.

Langkah 8: Keamanan dan estetika

- a) Keamanan publik harus dipertimbangkan baik ketika fasilitas sedang beroperasi dan selama musim kemarau.
 - b) Rambu-rambu dengan indikasi yang jelas mengenai tujuan dan potensi bahaya selama hujan harus disediakan.
 - c) Saringan sampah dapat digunakan pula untuk mencegah struktur *outlet* utama dimasuki.
 - d) Bergantung kepada penggunaan area di sekitarnya, pagar pembatas mungkin diperlukan apabila tanggul tinggi atau curam.
 - e) Geometri dan tata letak fasilitas penyimpanan sebaiknya dikonsultasikan dengan pakar tata ruang dan arsitek lanskap.
 - f) Apabila memungkinkan, penggunaan kolam detensi untuk berbagai fungsi harus dipertimbangkan, misalnya pembentukan vegetasi lahan basah, habitat liar, jalan setapak, atau fasilitas rekreasi pasif maupun aktif.
 - g) Jika memungkinkan, rancangan harus menggabungkan kolam yang terbentuk secara alami dengan lanskap tepi sungai, jalan setapak, dan vegetasi terpilih (menghindari pohon dan semak di tanggul) guna meningkatkan estetika dan memudahkan penerimaan masyarakat.
- 3) Pemodelan

Pemodelan fungsi kolam detensi dapat dilakukan dengan EPA *Storm Water Management Model* (SWMM). SWMM membuat simulasi kolam detensi sebagai unit penyimpanan yang dalam model ini merupakan node sistem drainase yang menyediakan volume penyimpanan. Secara fisik, hal ini dapat merepresentasikan fasilitas penyimpanan kecil seperti cekungan tangkapan air maupun yang besar seperti danau. Properti volumetrik unit penyimpanan ditambahkan oleh pengguna, dideskripsikan oleh suatu fungsi atau tabel luas permukaan dan tinggi. Selain menerima inflow dan mengeluarkan *outflow* ke node lain dalam jaringan drainase, node penyimpanan dapat pula melepaskan airnya melalui evaporasi permukaan dan perembesan ke dalam tanah. SWMM memungkinkan penambahan elemen-elemen tersebut ke dalam suatu model sistem drainase secara menyeluruh dan memungkinkan penilaian dampak kolam detensi saat aliran puncak dan banjir.

3. Renaturalisasi Sungai, Aliran dan Dataran Banjir

Tujuan

Restorasi aliran adalah proses untuk membantu pembentukan proses hidrologi, geomorfis, dan ekologis yang lebih baik di sebuah sistem daerah aliran sungai yang buruk dan mengganti elemen-elemen sistem alam yang hilang, rusak, atau terganggu, membentuk kembali proses dan fungsi ekologis serta hubungan biotik/abiotik, yang menghasilkan ekosistem yang kukuh dan tangguh yang terintegrasi dengan lanskapnya.

Tujuan utama renaturalisasi sungai dan aliran atau restorasi terkait pengelolaan air hujan adalah untuk memperlambat aliran dan mengurangi potensi erosi, melalui retensi dan penyimpanan air,

penggunaan bagian aliran dan vegetasi yang tidak biasa, dan memulihkan dataran banjir. Retensi dan penyimpanan air dapat mengurangi aliran puncak saat banjir dan mempertahankan aliran dasar saat kering; menciptakan habitat; menjadi penyangga dan menyaring nutrisi dari aliran dan air tanah; dan mengembalikan akuifer. Pemulihan dataran banjir memberikan lebih banyak ruang bagi air saat terjadi kejadian ekstrem, memungkinkan pengendalian pengaliran air ketika banjir, dan mengurangi dampak di hilir secara signifikan. Penggunaan bagian dan vegetasi yang tidak biasa membantu pencegahan erosi tepi aliran, meningkatkan keanekaragaman hayati, dan memperbaiki kualitas air. Selain itu, proyek-proyek ini pun merehabilitasi kualitas lingkungan hidup dengan merancang dan membuat restorasi aliran yang terlihat alami, berfungsi alami, menghubungkan saluran ke dataran banjir, dan menyediakan habitat riparian yang diinginkan.

Kondisi geologi daerah tangkapan air yang rentan, dataran banjir yang terdesak oleh urbanisasi, serta aliran dan sedimen yang sangat dinamis menjadi tantangan untuk restorasi sungai. Restorasi di area perkotaan memiliki risiko, tantangan, serta hambatan ekologis dan sosio-ekonomis yang signifikan. Namun, restorasi aliran di perkotaan dapat meningkatkan kualitas hidup manusia (misalnya melalui nilai rekreasi) dan menyediakan paparan dan apresiasi publik mengenai pentingnya restorasi. Penduduk kota semakin menginginkan kondisi lingkungan yang layak; maka, keberhasilan integrasi aspek-aspek ekologi, ekonomi, dan sosial dapat memberikan kerangka bagi berbagai proyek restorasi di perkotaan.

Kelayakan/Kecocokan

Tantangan untuk memulihkan fungsi dan nilai fisik dan biologis di sungai perkotaan berfokus pada karakteristik hidrologi yang tidak lagi sesuai dengan sungai alami, serta batasan secara fisik maupun hukum. Kompleksitas lanskap sosial dan biofisik harus dipahami guna meraih tujuan dan risiko restorasi aliran di daerah aliran sungai perkotaan. Tujuan serta sasaran pemangku kepentingan pun harus ditentukan dengan jelas sembari memprioritaskan kepentingan masyarakat.

Isu dan kepentingan pemilik tanah di daerah aliran sungai perkotaan sering kali mencakup kehilangan properti, habitat ikan dan satwa liar, rekreasi, risiko banjir, dan estetika. Tujuan yang akan dicapai adalah perancangan dan implementasi rencana restorasi sungai yang layak secara teknis serta memenuhi kebutuhan ekosistem dan selaras dengan tujuan masyarakat dan pemerintah daerah masing-masing.

Kendala utama di ruang perkotaan adalah pembangunan dataran banjir atau tata kota yang membatasi alur sungai. Kendala ekonomi sering kali menjadi kendala utama dalam penyelesaian masalah ini. Berbagai kasus menunjukkan bahwa biaya pemulihan lahan dataran banjir sering kali melebihi nilai sumber daya yang akan dilindungi, sehingga analisis biaya/manfaat yang menguntungkan tidak akan tercapai kecuali faktor-faktor lain, seperti peningkatan kualitas air, estetika, dan peningkatan habitat, dipertimbangkan sehingga proyek menjadi lebih baik. Meskipun demikian, pemerintah kemungkinan tidak menganggap manfaat sampingan tersebut sebagai faktor yang cukup agar proyek menarik secara ekonomi.

Upaya renaturalisasi/restorasi

Terdapat berbagai upaya yang berbeda untuk melakukan restorasi dan modifikasi di berbagai bagian sungai (misalnya dasar sungai, tepian sungai, atau dataran banjir). Hal ini mencakup Upaya skala kecil maupun skala besar. Ringkasan dari berbagai upaya restorasi akan disajikan di bawah ini.

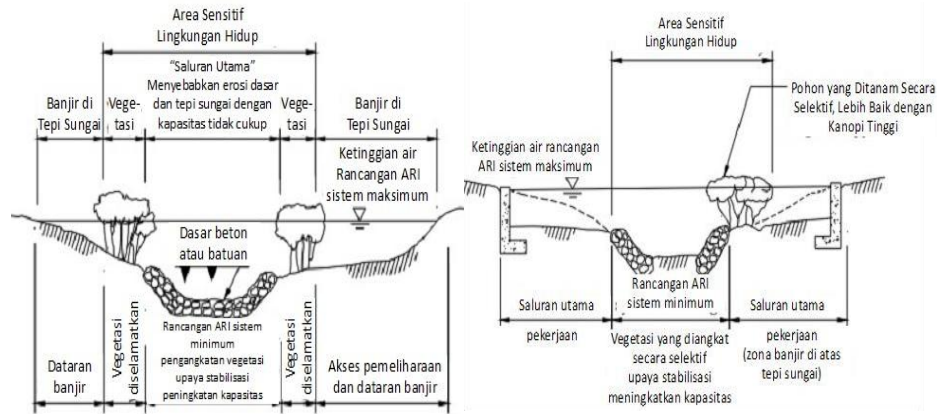
Beberapa upaya renaturalisasi/restorasi sungai dan aliran yang diterapkan untuk mengurangi risiko banjir antara lain:

a. Pembukaan arus

- 1) Terdiri atas pembukaan aliran air tertutup. Umumnya, aliran air perkotaan dialirkan melalui gorong-gorong karena kebutuhan ruang untuk bangunan, jalan, dll. Beberapa dampak negatif yang ditimbulkan gorong-gorong adalah degradasi habitat, polusi, dan risiko banjir. Pembukaan arus menyediakan lebih banyak ruang untuk air serta meningkatkan kapasitas penyimpanan saluran yang membantu mengurangi risiko banjir. Apabila pembukaan aliran air disertai dengan restorasi alami, yang mencakup pengembangan alami dasar sungai dan zona riparian, hal ini menghasilkan manfaat tambahan seperti nilai kenyamanan/rekreasi dan peningkatan kualitas habitat.
- 2) Apabila pembukaan aliran air memungkinkan perkembangan alami saluran air, hal ini dapat memperbaiki berbagai hal, seperti habitat satwa liar dan kehidupan air dan tumbuhan; pengaturan limpasan air hujan dengan memungkinkan air mengalir ke tepi sungai; perkembangan vegetasi alami yang turut memperlambat kecepatan air.
- 3) Berbagai rancangan yang berbeda mungkin diterapkan, bergantung pada tujuan proyek. Beberapa opsi yang dapat dilakukan termasuk menghilangkan seluruh struktur gorong-gorong, menghilangkan bagian tertentu (lapisan atas), atau membuat celah. Pemulihan alami tidak hanya dilakukan dengan menghilangkan lapisan atas gorong-gorong dan memerlukan upaya yang lebih besar; hal ini memungkinkan zona riparian untuk memiliki bentuk alami berkat tanaman, bebatuan dan pengembangan saluran air yang dinamis yang dibentuk oleh alam. Namun, kemungkinan pelaksanaan hal ini relatif terbatas di kawasan padat penduduk karena kurangnya ruang yang cukup untuk membelokkan aliran air dan tingginya biaya pemindahan infrastruktur untuk mendapatkan ruang.

b. Stabilisasi tepi saluran

- 1) Gambar 3-5 memberikan contoh saluran alami yang sedikit lebih baik. Contoh upaya stabilisasi adalah struktur cek, riprap, pelandaian, dan dinding penahan. Peningkatan kapasitas saluran dapat dicapai dengan melakukan penggalian di luar kawasan yang bersifat sensitif secara lingkungan, dinding penahan tanah dapat dipasang jika diperlukan. Dengan demikian, kapasitas untuk menyalurkan rencana aliran utama dengan aman dapat dicapai.
- 2) Akses untuk pemeliharaan saluran harus tersedia.
- 3) Vegetasi harus dipertahankan sebanyak mungkin guna meningkatkan stabilitas.
- 4) Pemanfaatan daerah genangan banjir dengan berbagai cara harus dilakukan, terutama apabila kapasitas saluran utama mencukupi dan luapan sungai jarang terjadi
- 5) Perlindungan tepi sungai untuk tepian saluran beraliran rendah atau tepian luar mungkin diperlukan di titik-titik kritis seperti di bagian luar belokan. Langkah-langkah perlindungan tepi sungai mencakup beberapa opsi seperti: upaya-upaya vegetasi; upaya-upaya terkait bioteknologi yang menggabungkan vegetasi dengan perkuatan lain seperti selimut sabut, pohon willow yang ditanam menurut berbagai konfigurasi, tikar penguat turf, atau riprap berongga atau yang berisi tanah; atau tindakan struktural seperti riprap dan batu besar.

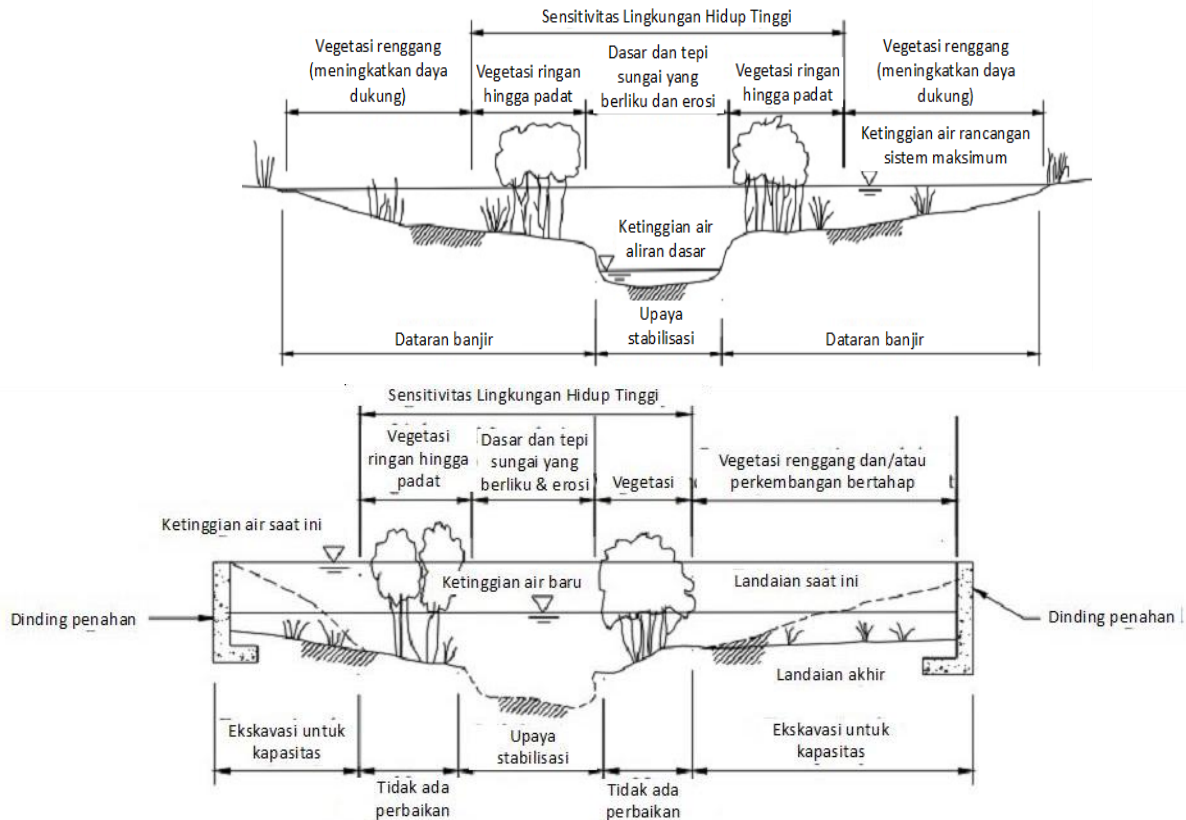


Gambar 3-5: Contoh saluran dengan upaya stabilisasi

c. Restorasi dataran banjir

- 1) Saluran dengan teras dataran banjir menciptakan kondisi yang menguntungkan di aliran dasar, memberikan kedalaman yang lebih dalam dan kondisi habitat perairan/akuatik yang lebih baik (Gambar 3-6). Saat air banjir menyebar ke teras dataran banjir, energi hilang, vegetasi riparian menerima air, dan sedimen dapat disalurkan melalui sistem.
- 2) Urbanisasi sering kali menyebabkan rumah, jalan raya, dan infrastruktur yang terletak di dekat sungai dan dataran banjirnya, menimbulkan risiko kerusakan akibat erosi dasar dan tepian sungai, serta genangan air limpasan serta lumpur dan puing-puing selama terjadi banjir. Perambahan pembangunan pada koridor sungai dapat meningkatkan kecepatan dan daya erosi aliran banjir.
- 3) Lebar koridor yang cukup diperlukan untuk memungkinkan aliran tinggi agar mengalir ke dataran banjir. Kekasaran relatif meningkat sementara kecepatan aliran serta gaya erosi berkurang seiring dengan bertambahnya lebar saluran untuk debit banjir tertentu. Apabila ruang horizontal yang tersedia terbatas, perbaikan saluran dan stabilisasi akan lebih menantang dan memerlukan biaya yang tinggi.
- 4) Saluran harus cukup dangkal untuk menjaga sambungan ke dataran banjir dan terkadang menyebabkan banjir bagi vegetasi riparian. Keberadaan teras dataran banjir yang berdekatan dengan saluran membantu menyalurkan dan menghilangkan energi pada saat aliran tinggi. Teras dataran banjir dapat terletak di salah satu atau kedua sisi saluran.
- 5) Teras dataran banjir yang diletakkan berdekatan dengan saluran lebih baik dibuat relatif lebar, datar, bervegetasi baik, dan tidak terlalu curam dalam hal kemiringan longitudinal. Teras dengan karakteristik tersebut membantu mengurangi kecepatan aliran dan menyediakan kapasitas yang memadai untuk kejadian badai yang lebih besar. Semakin lebar teras dataran banjir, semakin rendah kedalaman aliran untuk kejadian periode ulang tertentu, semakin besar kekasaran relatif, dan semakin rendah kecepatan aliran.

- 6) Beberapa teknik/cara untuk membuat restorasi dataran banjir yaitu dengan pembangunan area penyimpanan off-line linear, mengeliminasi hambatan dari dataran banjir, mengeliminasi spesies invasif di dataran banjir, pemulihan dataran banjir ke kondisi yang lebih alami, penurunan daerah dataran banjir, pembuatan lahan basah dan restorasi di daerah dataran banjir.

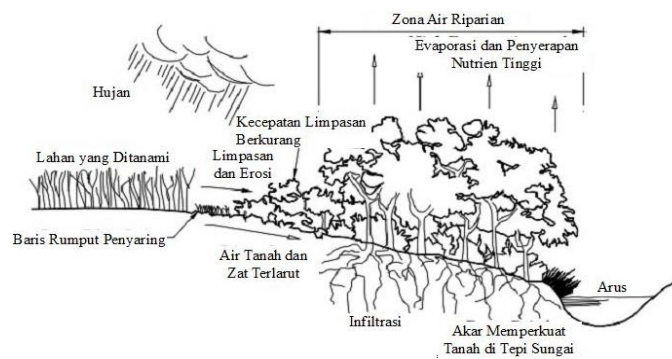


Gambar 3-6: Contoh ruas saluran dengan daerah dataran banjir

d. Vegetasi riparian

- 1) Zona riparian adalah area yang berdekatan dengan aliran air, yang termasuk dataran banjir (Gambar 3-7). Vegetasi riparian penting untuk mempertahankan morfologi aliran air yang stabil serta melestarikan nilai-nilai ekologis. Karenanya, pelestarian dan pemulihan zona riparian sepanjang aliran air perlu menjadi bagian dari rencana pengelolaan air hujan.
- 2) Pendekatan utamanya dilakukan dengan menjaga zona riparian di kedua sisi saluran. Di zona ini, vegetasi harus dipertahankan apabila masih ada atau ditanami kembali dengan vegetasi asli yang sesuai apabila telah rusak. Lebar zona riparian bergantung pada beberapa faktor, seperti lebar saluran, pembangunan setempat yang ada, keanekaragaman hayati lokal, dan kebutuhan koridor untuk satwa liar.
- 3) Jika memungkinkan, vegetasi untuk merestorasi zona riparian harus berupa vegetasi asli, non- invasif, dengan kebutuhan perawatan yang rendah. Keragaman spesies direkomendasikan untuk mereplikasi kondisi sebelum pembangunan dan mendorong peningkatan keanekaragaman hayati.
- 4) Vegetasi mempengaruhi proses fluvial melalui dua mekanisme utama, yakni meningkatkan kekasaran permukaan sehingga tahan terhadap aliran, dan memperkuat tepi aliran air melalui pengikatan tanah dengan sistem perakaran. Gangguan terhadap vegetasi di tepi sungai dapat menyebabkan ketidakstabilan tepi sungai, pemadatan tanah, dan kecepatan aliran tepi sungai yang lebih tinggi.

- 5) Cagar riparian dapat memiliki beberapa fungsi terkait habitat, seperti koridor satwa liar, sumber makanan, dan habitat perairan. Selain itu, kawasan riparian dapat menjadi tempat rekreasi, relaksasi, dan menyatu dengan alam.
- 6) Zona riparian menyediakan jalur penyangga antara kota dan aliran air. Penyangga tersebut dapat berfungsi sebagai penyaring sedimen, nutrisi, dan polutan lainnya. Efektivitas penyaringan zona riparian bergantung pada lebar zona penyangga, jenis limpasan dan beban polutan, jenis tanah dan vegetasi, kerapatan vegetasi dan kemiringan tanah.
- 7) Lebar dan karakteristik penyangga riparian yang diperlukan umumnya bergantung pada tujuan utama. Untuk melindungi kualitas air, direkomendasikan menerapkan penyangga datar bervegetasi, dengan lebar lebih tinggi untuk vegetasi yang kurang rapat (misalnya, lebar 5 hingga 30 m, setidaknya 10 m untuk kemiringan sedang antara 10-20%). Untuk mengurangi erosi tepi sungai, dataran penyangga harus memastikan bahwa vegetasi riparian dapat meningkatkan stabilitas tepi sungai (misalnya, lebar 10 hingga 20 m, atau yang lebih tinggi ketika terdapat erosi aktif). Kemiringan lokasi dan erodibilitas tanah merupakan faktor kunci dalam penentuan lebar penyangga riparian untuk pengendalian sedimen. Untuk memitigasi banjir di hilir, penyangga riparian harus mendukung penyimpanan dataran banjir guna mengurangi puncak aliran (misalnya lebar 20 hingga 150 m).



Gambar 3-7: Contoh zona penyangga riparian

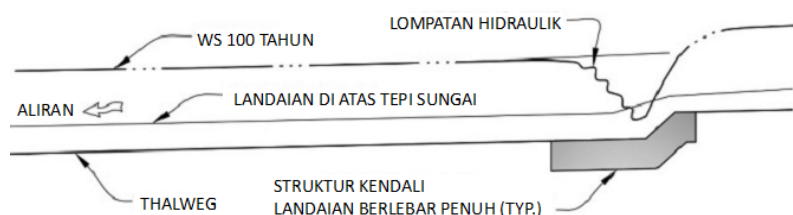
Pertimbangan Rancangan

Perancangan harus dilakukan oleh tenaga ahli dari berbagai disiplin ilmu, termasuk pakar hidrologi (permukaan dan bawah permukaan), pakar hidraulika, pakar geomorfologi, pakar ekologi tanaman, pakar biologi, pakar lingkungan hidup, pakar lanskap, dan pakar geoteknik.

Pertimbangan rancangan umum:

- a. Sebelum memulai pekerjaan perancangan terkait sungai, sangat penting untuk memahami kondisi yang ada terkait dengan sungai dan daerah tangkapannya, termasuk jangkauan hulu dan hilir dan anak sungai utama, pembangunan yang sedang dan akan dilakukan di daerah tangkapan air, informasi yang tersedia tentang regulasi laju aliran, kondisi dataran banjir, dll.
- b. Peningkatan aliran secara relatif dari kondisi saat perencanaan hingga masa operasi dan pemeliharaan harus dievaluasi sebagai bagian dari pemahaman kondisi aliran dan daerah tangkapan yang ada.
- c. Sebagai langkah awal, setiap upaya harus dilakukan untuk menerapkan metode pengurangan limpasan di daerah aliran sungai bagian hulu. Semakin banyak pengurangan limpasan di

- hulu, semakin rendah kisaran laju aliran, kecepatan, dan tegangan geser, semakin sedikit perbaikan struktur aliran yang diperlukan.
- d. Geomorfologi dan keseimbangan sedimen pada saluran dan daerah tangkapannya penting untuk dipahami. Meskipun sedimentasi mungkin tidak menjadi pertimbangan rancangan utama untuk saluran yang mengalirkan area kecil, pergerakan sedimen dan karakteristik saluran disarankan untuk dipertimbangkan. Misalnya, daerah drainase/tangkapan di hulu yang relatif kecil dengan muatan sedimen yang rendah dapat menjaga vegetasi lebih baik di sepanjang dasar saluran. Jenis saluran ini dapat menahan degradasi lapisan dasar saluran lebih baik daripada saluran yang tidak bervegetasi dan oleh karena itu mampu mempertahankan kemiringan longitudinal yang lebih curam, tidak terlalu terpengaruh pengendalian erosi, dan dapat meningkatkan fungsi hidraulik saluran rencana hujan.
 - e. Salah satu prinsip yang paling mendasar dalam restorasi sungai adalah merencanakan bentuk penampang yang efektif. Drainase dirancang agar dapat melestarikan atau membangun penampang melintang dataran banjir yang dapat mempertahankan fungsi alami dataran banjir, serta merancang bagian saluran dengan ukuran yang tepat guna memungkinkan aliran banjir mengalir ke dataran banjir bervegetasi untuk pengaliran yang stabil, penyaringan vegetatif, infiltrasi, dan disipasi energi.
 - f. Bergantung pada tujuan dan peraturan yang berlaku, ukuran saluran dapat disesuaikan dengan beberapa pendekatan, antara lain berdasarkan jangkauan aliran, berdasarkan periode ulang badai (misalnya, 2 ARI), atau berdasarkan debit efektif (debit yang mengangkut persentase sedimen terbesar selama bertahun-tahun).
 - g. Terkadang, penyempitan koridor sungai menyebabkan kecepatan aliran menjadi lebih tinggi. Penyempitan tersebut mungkin merupakan bagian dari bentuk lahan/kondisi alami atau diakibatkan oleh perubahan dataran banjir sebelumnya. Peluang untuk memundurkan batas tepi sungai dan memperbesar area yang menyempit dengan penggalian harus dilakukan. Jika tidak memungkinkan, upaya untuk menghindari erosi harus dilakukan.
 - h. Terkadang, pengembangan strategi pengendalian kelandaian/kemiringan dasar saluran diperlukan untuk mengelola lereng longitudinal. Respons aliran yang tipikal terhadap peningkatan limpasan di area perkotaan memiliki kecenderungan dengan mengalirkan air menuju lereng longitudinal yang lebih datar, yang dapat menyebabkan degradasi dan pemotongan saluran. Pendekatan pengelolaan utamanya adalah dengan pemasangan struktur pengendalian kelandaian/kemiringan di sepanjang sungai (Gambar 3-8).
 - i. Apabila memungkinkan, saluran harus ditanami dengan spesies tanaman yang sesuai dengan kondisi hidrologi setempat di berbagai zona yang berdekatan dengan tepi saluran.

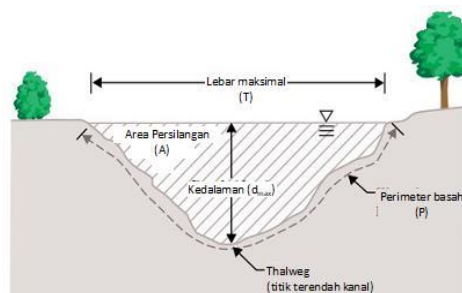


Gambar 3-8 : Tampilan skematik struktur pengendalian kelandaian dengan lebar penuh

Pertimbangan hidrologi dan hidraulik:

Pembangunan perkotaan menghasilkan area permukaan, drainase di bawah permukaan, pelandaian tanah, dan sistem pengangkutan air hujan yang lebih kedap air. Dampak yang ditimbulkan dari peningkatan permeabilitas dan terputusnya infiltrasi air dan kapasitas penyimpanan air di daerah aliran sungai dan air tanah menghasilkan pergeseran kondisi hidrograf aliran sungai, dengan aliran puncak lebih awal dan lebih tinggi.

- a. Upaya pengelolaan harus bertujuan untuk memperbaiki masalah air di daerah tangkapan, hal ini akan membantu memperbaiki penyebab masalah terlebih dahulu. Pengelolaan kecepatan dan kedalaman aliran akan meningkatkan viabilitas vegetasi riparian. Secara umum, vegetasi alami disesuaikan dengan siklus limpasan air alami, perubahan kondisi hidrologi menyebabkan kerusakan vegetasi riparian, erosi, dan penurunan stabilitas tepi sungai.
- b. Tujuan perancangan restorasi aliran tidak dapat dipenuhi secara memadai apabila perancangan saluran hanya dihitung untuk satu debit. Perencanaan restorasi aliran biasanya memiliki beberapa rancangan aliran yang dipilih untuk memenuhi berbagai tujuan. Misalnya:
 - 1) Kondisi aliran di masa depan, dengan mempertimbangkan skenario urbanisasi atau perubahan iklim di masa depan, diperlukan untuk menilai kinerja saluran secara tepat dalam jangka panjang.
 - 2) Perkiraan aliran rendah seperti aliran rendah 7 hari sering menentukan kondisi habitat yang kritis.
 - 3) Perkiraan debit pembentuk saluran digunakan untuk memperkirakan dimensi saluran yang stabil.
 - 4) Aliran pada kondisi banjir digunakan untuk menilai stabilitas struktur dan persyaratan dataran banjir, serta untuk memprediksi kedalaman gerusan.
- c. Evaluasi hidraulik aliran pada berbagai rentang aliran penting untuk dilakukan melalui pemodelan hidraulik terperinci, penerapan estimasi kekasaran rendah untuk pertimbangan kecepatan dan geser, dan estimasi kekasaran tinggi untuk menentukan permukaan air, digunakan untuk memverifikasi kondisi banjir yang dihindari. Konfirmasikan bahwa kecepatan atau tegangan geser kurang dari nilai maksimum yang direkomendasikan tergantung pada tanah/vegetasi dan untuk rancangan kejadian terkait (misalnya, kecepatan periode ulang maksimum 5 tahun sebesar 1,7m/s). Nilai rancangan akan bergantung pada jenis aliran, material saluran, karakteristik air, dll.
- d. Berbagai parameter penampang saluran digunakan dalam analisis hidrolik drainase dan sungai (Gambar 3-9). Apabila lebar penampang menyertakan dataran banjir, karakteristik yang berbeda dari penampang yang berbeda harus dipertimbangkan, seperti koefisien kekasaran yang berbeda (koefisien Manning komposit).

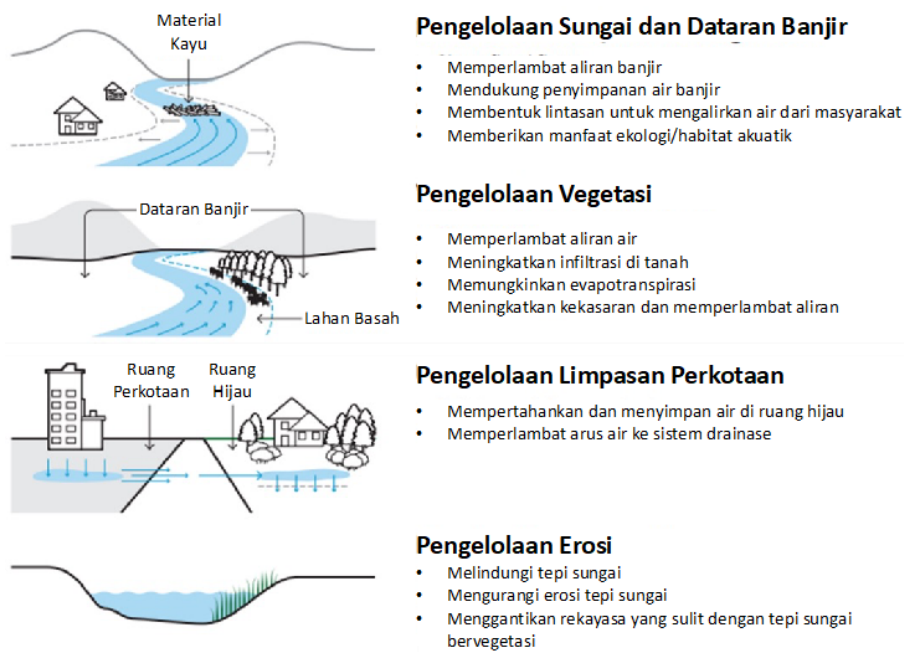


Gambar 3-9: Parameter penampang saluran

Pertimbangan rancangan lainnya: Terdapat beberapa prinsip pengurangan risiko banjir fluvial berbasis alam:

- a. Hindari mengalihkan risiko ke hilir, hulu, atau area yang berdekatan.
- b. Lestarikan sebanyak mungkin kondisi dan proses alami di sepanjang daerah aliran sungai yang dapat mengendalikan aliran yang berpotensi banjir.
- c. Ciptakan keseimbangan sedimen di daerah aliran sungai.
- d. Minimalkan limpasan air hujan dan maksimalkan tangkapan air dan penggunaan kembali air hujan.
- e. Targetkan pemanfaatan fungsi lain yang dapat dibangun bersama dengan fungsi pengendalian banjir.
- f. Pertimbangkan adaptasi terhadap perubahan iklim.
- g. Berikan perhatian khusus terhadap pengelolaan perubahan tata kota.

Gambar 3-10 menunjukkan berbagai tujuan pengelolaan yang berbeda dalam penerapan sistem fluvial berbasis alam.



Gambar 3- 10: Tujuan pengelolaan yang berbeda ketika menerapkan pendekatan berbasis alam di sistem fluvial

Pemodelan

Pendekatan untuk memperkirakan aliran puncak akan bergantung pada ukuran daerah tangkapan air dan terdapat beberapa opsi untuk melakukan perhitungannya. Untuk daerah drainase hingga 0,8 km², metode rasional (rumus rasional) adalah salah satu model yang paling mudah diterapkan untuk simulasi proses hidrologi. Metode NRCS TR-55 (USDA *Soil Conservation Service* (SCS) 1986) merupakan metode lain untuk menghitung debit puncak cekungan drainase, untuk penerapannya waktu konsentrasi harus diatur antara 0,1 hingga 10 jam. Model HEC-1/HEC-HMS adalah model curah hujan-limpasan yang dikembangkan USACE *Hydrologic Engineering Center* pada tahun 1981, model tersebut dapat digunakan dengan cekungan dengan hampir semua ukuran dan kompleksitas. Penggunaan model matematis umum dilakukan untuk mengetahui kapasitas saluran hidraulik. Namun, kualitas dan kapabilitas setiap model sangat berbeda-beda. Beberapa tipe dasar model matematis antara lain:

- a. Model kondisi tetap (*steady state*) mensimulasikan kondisi yang terjadi untuk serangkaian kondisi dengan batas tertentu. Misalnya, model aliran dapat menghitung elevasi permukaan air, apabila terdapat geometri saluran yang tetap dan aliran yang konstan.

- b. Model tidak tetap (*unsteady*) mensimulasikan variasi yang terjadi dari waktu ke waktu misalnya selama berlalunya hidrograf hujan ekstrim/badai dengan membagi peristiwa tersebut menjadi serangkaian tahapan waktu dengan keadaan yang tetap. Model tidak tetap yang kompleks memiliki umpan balik (*looping*) yang memungkinkan batasan saluran atau variabel kunci lainnya mensimulasikan masukan dan perubahan antara tahapan waktu.

Menurut perspektif spasial, model dapat berupa satu dimensi atau dua dimensi:

- a. Model satu dimensi hanya mempertimbangkan gaya yang terjadi dalam satu arah (biasanya searah dengan aliran). Kecepatan dan sifat aliran lainnya bervariasi di hulu dan hilir, tetapi tidak bervariasi dari tepian ke tepian dan tidak bervariasi dari dasar saluran ke permukaan air.
- b. Model dua dimensi umumnya memiliki rata-rata kedalaman. Model ini membuat simulasi variasi di bidang horizontal tetapi mengasumsikan tidak ada variasi di bidang vertikal.

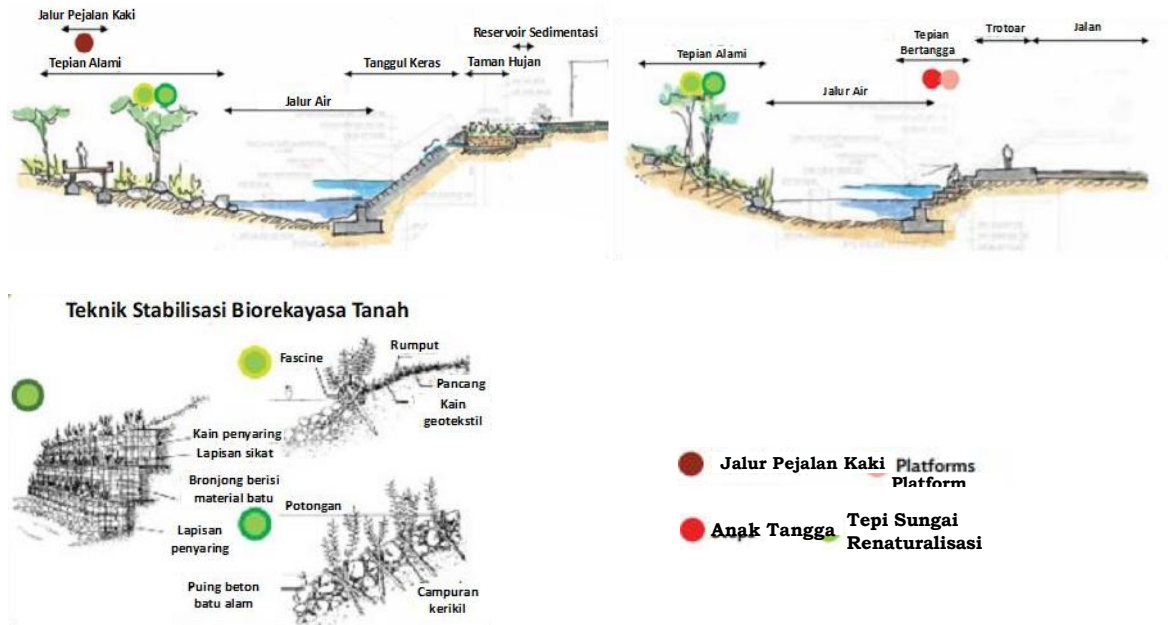
HEC-RAS adalah program komputer (*open source*) yang digunakan untuk melakukan perhitungan hidraulik menurut aliran *steady state* dan *unsteady*, bervariasi (menurut jarak), satu dan dua dimensi, dalam saluran terbuka. HEC-RAS mencakup modul gorong-gorong dan algoritme hidraulik jembatan. HEC-RAS menerapkan kekekalan momentum serta energi dan masa dalam analisis hidrauliknya. HEC-RAS mencakup beberapa metode kemiringan gesekan, kondisi aliran campuran, kalibrasi nilai n otomatis, distribusi kecepatan quasi 2-D, dan super-elevasi di sekitar belokan/lengkungan.

Pengoperasian dan pemeliharaan

Beberapa kegiatan pemeliharaan mendasar antara lain:

- a. Upaya-upaya hibrida, menggunakan vegetasi yang dikombinasikan dengan geogrid, geotekstil, dan blok seluler, memerlukan pemeliharaan komponen struktural apabila terjadi kerusakan material geotekstil serta penggantian atau penanaman kembali vegetasi.
- b. Setelah konstruksi, pemantauan harus cukup sering dilakukan untuk mengevaluasi perkembangan pembentukan vegetasi. Kebanyakan upaya yang bergantung pada bioteknologi tanah mengharuskan vegetasi tertanam dengan baik sebelum diterpa aliran yang signifikan. Apabila suatu kejadian terjadi sebelum vegetasi tertanam dengan baik, penanaman kembali mungkin diperlukan.
- c. Apabila diperlukan penanaman kembali, upaya perlindungan, atau irigasi diperlukan setelah konstruksi, upaya tersebut dilakukan untuk memastikan bahwa vegetasi telah tertanam dengan baik dan jumlah serta distribusinya mencukupi.
- d. Setelah vegetasi terbentuk, kegiatan pengoperasian memerlukan pemeliharaan vegetasi dalam jumlah dan lokasi yang ditentukan untuk mempertahankan kinerja aliran air, tetapi tidak terlalu berlebihan sehingga menghambat pergerakan air, sedimen, atau satwa liar.
- e. Pemeliharaan memerlukan serangkaian kegiatan dari pemotongan rumput hingga pembersihan potongan kayu, bergantung kepada komponen vegetatifnya.

Contoh visual beberapa penampang aliran dan sungai multifungsi



Gambar 3-11: Contoh berbagai penampang aliran air multi-fungsi



Gambar 3-12: Sungai Lap, Kota Hue, Viet Nam

Hamparan besar tepian hijau alami dilestarikan untuk pepohonan yang telah ada dan nilai-nilai ekologis. Selain itu, riprap dan bronjong digunakan ketika penguatan lereng sungai diperlukan.

Pertimbangan Pemilihan Tanaman

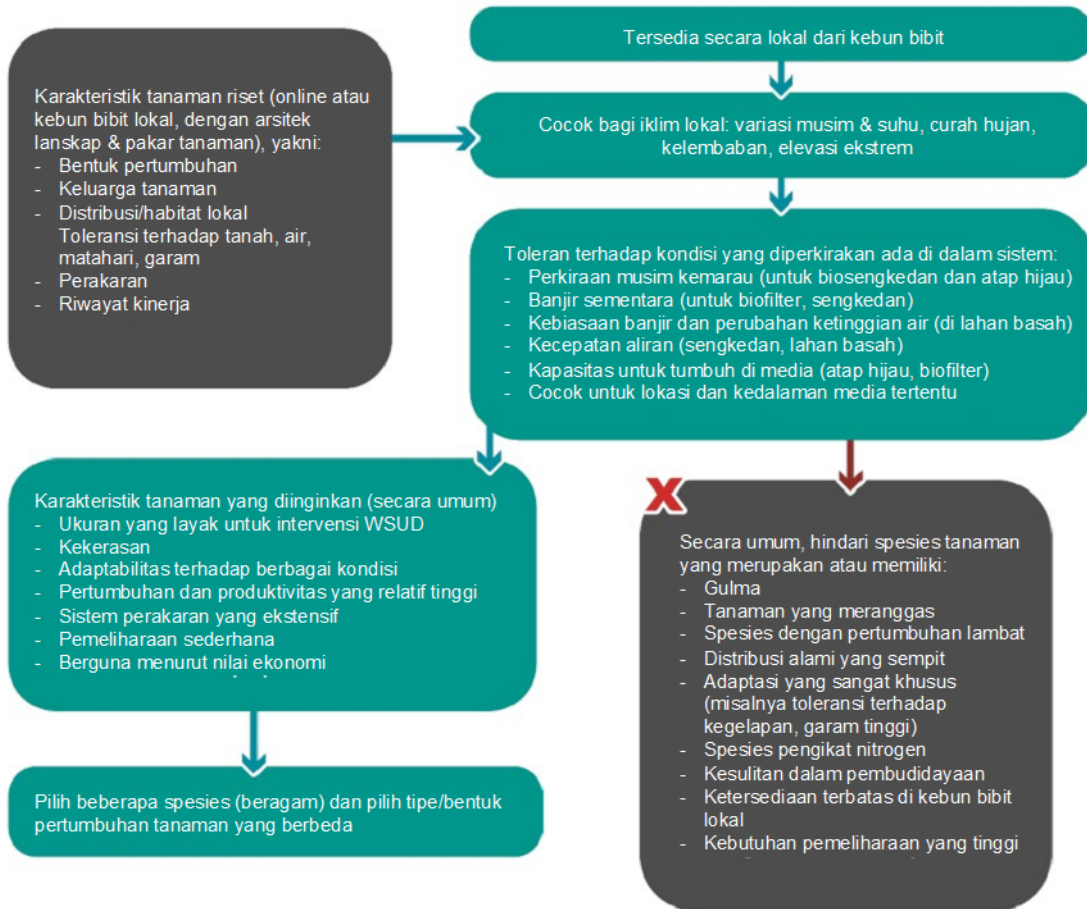
Tanaman yang sehat dalam jumlah banyak merupakan kunci utama bagi infrastruktur hijau karena tanaman memiliki beberapa fungsi yang bermanfaat dari infrastruktur hijau, seperti manfaat terkait atenuasi aliran, ketersediaan air tanah, kenyamanan, keanekaragaman hayati, pendinginan kota, dan kesehatan dan kesejahteraan masyarakat. Setiap spesies tanaman memiliki kemampuan yang berbeda untuk hidup, tumbuh, dan memberikan fungsi yang diharapkan (lihat Tabel 3-2.), dan hal ini dipengaruhi oleh kondisi yang berbeda-beda, misalnya inflow

sementara dan periode kering dalam sistem biofiltrasi. Idealnya, pemilihan tanaman yang digunakan untuk sistem ini tidak hanya mempertimbangkan ketersediaan dan adaptabilitasnya, tetapi juga potensinya untuk berkontribusi terhadap karakter dan kenyamanan lanskap di sekitarnya. Prinsip umum pemilihan tanaman disajikan dalam Gambar 3-13.

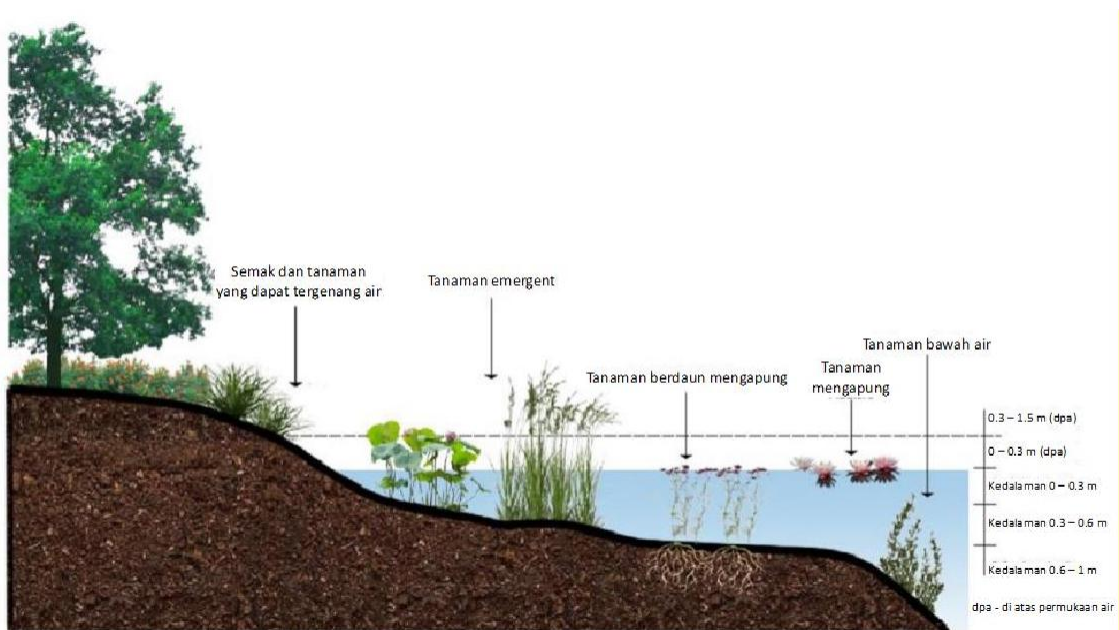
Tabel 3-2. Efektifitas dan manfaat spesifik dari setiap tipe vegetasi yang berbeda

Manfaat	Vegetasi		
	Rumput	Semak	Pohon
Menstabilkan erosi tepi sungai	Rendah - Menengah	Tinggi	Rendah - Menengah
Mengumpulkan sedimen	Tinggi	Rendah - Menengah	Rendah
Menyaring nutrien, pestisida, mikroba - Ikatan sedimen - Zat terlarut	Tinggi Menengah	Rendah Rendah	Rendah Menengah
Menyediakan habitat air	Rendah	Menengah	Tinggi
Menyediakan habitat liar - Habitat pergunungan/padang rumput - Habitat hutan	Tinggi Rendah	Menengah Menengah	Rendah Tinggi
Menyediakan produk ekonomi	Menengah	Rendah	
Memberikan keanekaragaman visual	Rendah - Menengah	Menengah	Tinggi
Mencegah kerusakan tepi sungai	Rendah	Menengah	Tinggi
Mengalirkan air banjir	Tinggi	Rendah	Rendah

Prinsip utama yang dianut untuk memastikan bahwa pilihan tanaman cocok dengan strategi yang dipilih adalah memilih tanaman yang telah beradaptasi secara alami dengan kondisi hidraulik setempat. Kondisi ini berkaitan dengan kelembaban tanah, tingkat air permukaan dan di bawah permukaan untuk NBS yang berada pada lingkungan basah (kondisi kering dan basah yang silih berganti untuk sistem bioretensi, kolam detensi, dan zona riparian). Maka, penting untuk memahami tipe tanaman berdasarkan gradien kelembaban yang sesuai antara lingkungan tanah hingga lingkungan akuatik (Gambar 3-14). Menggunakan tanaman yang cocok secara alami dengan tinggi muka air yang diperkirakan dapat meningkatkan ketahanannya secara signifikan. Ada berbagai spesies tanaman yang dapat digabungkan dengan strategi NBS di iklim tropis. Ukuran tanaman, habitat, karakteristik akar, tingkat pertumbuhan, serta kebutuhan sinar matahari dan kebutuhan air adalah beberapa pertimbangan umum untuk memilih suatu tanaman. Misalnya, tanaman yang dipilih untuk kolam detensi akan lebih sering terekspos kondisi kering, sementara tanaman yang dipilih untuk area bioretensi akan lebih sering terekspos kondisi kering dan basah. Sementara itu, tanaman yang digunakan untuk dataran banjir memerlukan sistem perakaran yang kuat agar tahan menghadapi aliran berkecepatan tinggi saat kejadian hujan ekstrim/badai. Dalam setiap kondisi, kecocokan antara jenis tanaman dan kondisi lingkungan harus ditinjau oleh pakar tanaman setempat dan melalui pengujian ketahanan dan kinerjanya dalam infrastruktur hijau secara lokal.



Gambar 3-13: Prinsip umum pemilihan tanaman



Gambar 3-14: Zonasi skematik Semak/vegetasi yang dapat tergenang air, tanaman emergent, tanaman berdaun mengapung, tanaman mengapung, dan tanaman bawah air

D. Kriteria Evaluasi Sub-Proyek NBS

Terdapat tiga kategori untuk mendefinisikan subproyek NBS. Kategori A dan B dapat dianggap sebagai NBS dalam NUFReP, sementara kategori C tidak dianggap sebagai NBS tetapi dapat dipertimbangkan karena akan menambah manfaat tambahan bagi subproyek.

Kriteria 1 – Memberikan manfaat langsung untuk pengurangan bahaya banjir (fluvial dan pluvial)

Penerapan NBS secara langsung dapat mengurangi bahaya banjir, baik yang disebabkan oleh banjir fluvial (berkaitan dengan sungai) maupun banjir pluvial (berkaitan dengan curah hujan). Bila dikombinasikan dengan infrastruktur abu-abu dalam pendekatan hibrida, NBS meningkatkan kinerja mitigasi banjir secara keseluruhan, melampaui apa yang dapat dicapai oleh infrastruktur abu-abu saja.

Contoh umum dari NBS ini meliputi kolam retensi dan detensi, restorasi dataran banjir, dan reboisasi daerah tangkapan air. Solusi ini berkontribusi pada pengurangan banjir melalui mekanisme berikut:

1. Meningkatkan kapasitas penyimpanan/tampung, yang membantu mengurangi arus puncak.
2. Meningkatkan infiltrasi pada skala daerah tangkapan air, terutama di daerah hulu, sehingga mengurangi limpasan permukaan dan aliran hilir.
3. Meningkatkan kekasaran permukaan, yang memperlambat pergerakan air dan mengurangi kecepatan aliran.
4. Dengan menggunakan proses-proses ini, NBS dapat mendukung dan meringankan beban infrastruktur abu-abu di hilir. Misalnya, infrastruktur hijau di hulu dapat mengurangi volume air yang mencapai stasiun pompa atau jaringan drainase, sehingga meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan.

Pendekatan strategis dapat dilakukan terutama di daerah perkotaan yang padat dengan menerapkan NBS di daerah hulu kota yang belum berkembang. Penerapan langkah tersebut di tingkat daerah tangkapan air atau di zona hulu yang belum terbangun dapat secara signifikan mengurangi aliran menuju hilir dan mengurangi tekanan pada infrastruktur perkotaan, sehingga mengurangi kebutuhan untuk relokasi.

Setelah desain konsep ditetapkan, manfaat mitigasi banjir dari NBS dapat dinilai selama studi kelayakan menggunakan pemodelan hidrodinamika, sama seperti infrastruktur abu-abu tradisional. Evaluasi ini harus mengintegrasikan NBS ke dalam model yang sama yang digunakan untuk menilai sistem abu-abu, yang memungkinkan analisis komprehensif atas kinerja gabungannya. Misalnya, NBS dapat terbukti mengurangi aliran limpasan puncak, sehingga meningkatkan kapasitas dan fungsionalitas infrastruktur abu-abu hilir. Selain itu, penggabungan NBS dapat dirancang untuk memberikan kemampuan beradaptasi terhadap kondisi perubahan iklim di masa mendatang: infrastruktur abu-abu dapat dioptimalkan untuk skenario saat ini, sementara infrastruktur hijau dapat menambah ketahanan dan kapasitas ekstra untuk mengatasi kondisi ekstrem di masa mendatang.

Kriteria 2 – Memberikan dampak pengurangan risiko banjir (saat ini atau masa mendatang) dengan mengurangi paparan terhadap banjir atau mengendalikan urbanisasi

NBS berkontribusi pada pengurangan risiko banjir dengan meminimalkan paparan di area rawan banjir dan membantu mengendalikan urbanisasi untuk menghindari peningkatan volume limpasan atau aliran puncak di masa mendatang. Strategi utama yaitu membatasi pembangunan di area berisiko tinggi banjir (seperti dataran banjir) dengan melestarikan/menjaga area ini sebagai ruang hijau atau ruang publik. Contohnya termasuk

pembuatan taman riparian dan area publik multifungsi lainnya disepanjang tepi sungai dan dataran banjir, yang berfungsi sebagai penyangga dan mencegah (pemukiman kembali) di zona berisiko tinggi. Dengan menetapkan area ini untuk penggunaan publik, NBS dapat mengurangi paparan sekaligus meningkatkan kelayakan hidup perkotaan.

Pendekatan penting lainnya adalah dengan melestarikan atau mengembangkan ruang terbuka hijau di daerah hulu atau pinggiran kota (seperti taman dan lahan publik terbuka) untuk mengendalikan dampak perluasan kota (alih fungsi lahan). Urbanisasi yang tidak terkendali di zona hulu sering kali menyebabkan peningkatan limpasan, yang memperburuk risiko banjir di hilir. NBS dapat mengurangi dampak ini dengan: menyediakan area retensi air tambahan (misalnya, melalui area penahanan), atau mengarahkan pembangunan kota (misalnya, melalui penunjukan taman kota) untuk melestarikan fungsi hidrologi alami.

Meskipun dampak pengurangan risiko banjir dari langkah-langkah tersebut dapat diukur dengan model, perencanaan strategis juga dapat mendorong implementasi yang efektif. Hal ini dapat dilakukan dengan mengidentifikasi:

1. Daerah prioritas yang berisiko tinggi terhadap banjir, serta daerah hulu yang secara signifikan mempengaruhi bahaya banjir di hilir.
2. Daerah perkotaan yang sedang mengalami pembangunan atau yang diproyeksikan akan terbangun, di mana intervensi proaktif akan memberikan dampak paling besar.
3. Peluang untuk melindungi, meningkatkan, atau memulihkan ruang hijau dan ruang publik perkotaan.

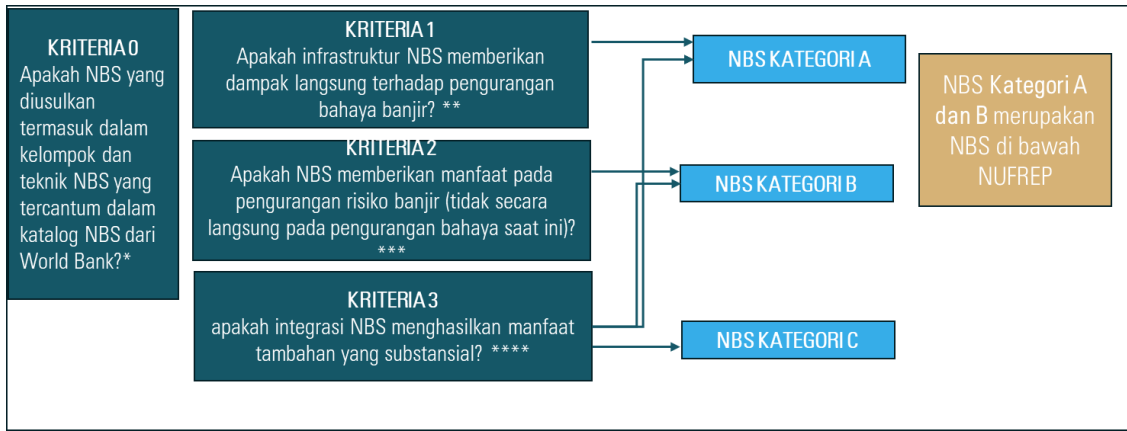
Dengan mengintegrasikan hal di atas, kota dapat mengembangkan strategi jangka panjang untuk mengelola penggunaan lahan dan mengurangi risiko banjir saat ini dan di masa mendatang. Strategi tersebut mengurangi paparan banjir sekaligus mengurangi kontribusi limpasan dari area hulu yang kritis. Pada akhirnya, penerapan NBS ke dalam perencanaan perkotaan (melalui penciptaan taman, ruang terbuka, dan dataran banjir yang dilestarikan) dapat menegakkan peraturan penggunaan lahan, mencegah pembangunan yang tidak tepat di zona risiko banjir, dan membangun ketahanan di ruang perkotaan dari waktu ke waktu.

Kriteria 3 – Memberikan manfaat bersama yang berdampak secara jelas dengan mengintegrasikan konsep NBS ke dalam proyek

Pada kriteria ini, dampak pengurangan banjir dari penerapan sub-proyek dalam kasus ini kecil, tetapi penambahan NBS dapat memberikan manfaat tambahan yang relevan yang secara substansial dengan membantu meningkatkan ruang perkotaan.

Contohnya adalah menambahkan tanaman hijau atau taman, yang tidak dirancang untuk menambah kapasitas penahanan atau tidak berlokasi di area berisiko tinggi. Namun, hal ini dapat memberikan manfaat besar dengan menghubungkan masyarakat dengan air, menyediakan ruang rekreasi yang berharga dengan vegetasi/naungan untuk mengurangi tekanan panas (*heat stress*) dan meningkatkan keanekaragaman hayati.

Sub-proyek yang memenuhi kriteria 1 dan 3 dianggap sebagai kategori A, sedangkan sub-proyek yang memenuhi kriteria 2 dan 3 dianggap sebagai kategori B (lihat Gambar 17). 2 kategori ini termasuk sub-proyek NBS di bawah NUFReP. Sementara sub-proyek yang memenuhi kriteria 3 tetapi tidak memenuhi kriteria 1 atau 2 tidak dianggap sebagai NBS di bawah NUFReP. Namun, pendekatan ini tetap akan meningkatkan manfaat proyek dengan biaya lanskap sebesar 5-10% dari biaya sub-proyek dapat diterima.



Gambar 4-1: Kriteria Untuk Menentukan Kategori Subproyek NBS

***) Pengurangan risiko banjir dapat dilakukan dengan mengurangi jumlah limpasan atau aliran puncak dengan meningkatkan kapasitas infiltrasi atau menyediakan penyimpanan/penahanan air sementara.

****) Hal ini dapat dilakukan dengan, misalnya, mengurangi terhadap banjir (menghindari (kembali) pemukiman di daerah berisiko tinggi) atau mengurangi dampak urbanisasi di masa depan dengan mengatur penggunaan lahan

*****) Ini mencakup desain multifungsi NBS yang berorientasi untuk mengurangi banjir dan menambah manfaat tambahan atau penambahan ke desain infrastruktur abu-abu untuk menambah manfaat tambahan.

Tabel 4-1. Matrik tipologi NBS berdasarkan kriteria dan manfaat pengurangan banjir

Type Prasarana Pengendalian Banjir (NBS)	Kriteria 1: Pengurangan bahaya banjir (flood hazard)	Kriteria 2: Pengurangan risiko (paparan) banjir atau mengendalikan urbanisasi	Kriteria 3: Memberikan manfaat tambahan	Keterangan <i>(Tingkat manfaat yang didapat bergantung pada desain NBS, lokasi, dll.)</i>
<i>Urban forest</i>	++	+++	+++	Mengurangi bahaya banjir untuk skala besar/tingkat daerah tangkapan air.
<i>Terraces and slopes</i>	++	+	++	Dapat mengurangi bahaya banjir dengan mengatasi permasalahan sedimentasi pada sistem drainase.
<i>Streams renaturation</i>	+	++	+++	Dapat mengendalikan urbanisasi (mencegah bangunan liar) di daerah sempadan sungai.
<i>Green buildings</i>	++	+	++	Berpotensi mengurangi bahaya banjir untuk skala kecil/local.
<i>Open green spaces</i>	+++	+++	+++	Memberikan dampak pengurangan bahaya banjir yang signifikan apabila diintegrasikan dengan kolam detensi/retensi.
<i>Green corridors</i>	++	+	+++	Mengurangi bahaya banjir untuk skala menengah dan mencegah bangunan liar di sepanjang aliran sungai.
<i>Urban farming</i>	+	++	+++	Taman umum dapat membantu mengendalikan urbanisasi (mencegah bangunan liar) di area hijau.
<i>Bioretention areas</i>	+++	+	++	Dapat mengurangi bahaya banjir dengan menyediakan tampungan air (kolam retensi) atau infiltrasi untuk skala kecil dan menengah.
<i>Natural wetlands</i>	++	+++	+++	Perlindungan dan revitalisasi terhadap area lahan basah/konservasi dapat mengurangi risiko banjir.
<i>Constructed wetlands</i>	+++	++	+++	Dapat menyediakan tampungan air dan melindungi kawasan hijau dari pembangunan fisik.

Tipe Prasarana Pengendalian Banjir (NBS)	Kriteria 1: Pengurangan bahaya banjir (flood hazard)	Kriteria 2: Pengurangan risiko (paparan) banjir atau mengendalikan urbanisasi	Kriteria 3: Memberikan manfaat tambahan	Keterangan <i>(Tingkat manfaat yang didapat bergantung pada desain NBS, lokasi, dll.)</i>
<i>River floodplains</i>	++	+++	++	Perlindungan dan penataan area sempadan sungai/dataran banjir dapat menyediakan tampungan air dan mengendalikan urbanisasi di area berisiko tinggi.
<i>Mangroves</i>	+++	++	+++	Mengurangi risiko banjir rob dan erosi.
<i>Salt marshes</i>	+++	++	+++	Mengurangi risiko banjir rob dan erosi.
<i>Sandy shores</i>	+++	++	+++	Mengurangi risiko banjir rob dan erosi.

E. Permodelan Untuk Penerapan NBS

1. Pemodelan Hidrologi dan Hidrolika Dalam Perencanaan NBS

Pemodelan hidrologi dan hidrolika merupakan tahapan penting yang digunakan dalam perencanaan, desain, dan implementasi NBS. Pemodelan ini digunakan untuk menentukan seberapa besar sistem bioretensi dapat meningkatkan infiltrasi, dan seberapa besar area tampungan dapat mengurangi debit aliran banjir yang masuk ke sungai.

Bagian ini memberikan panduan tentang pemilihan model hidrologi dan hidrolika yang tepat untuk memenuhi kebutuhan pengguna, bagaimana model ini dapat menunjukkan kinerja NBS, dan bagaimana hasil model dapat diintegrasikan ke dalam desain dan implementasi NBS.

Secara sederhana, model hidrologi berupaya menggambarkan siklus air dan interaksi antara curah hujan, aliran permukaan, infiltrasi dan reduksi debit aliran yang melalui kolam tampungan. Model hidrologi mensimulasikan proses yang mencakup infiltrasi dari permukaan ke bawah permukaan, pembentukan limpasan, dan penguapan dari permukaan kembali menjadi hujan atmosfer. Umumnya, model hidrologi menggambarkan wilayah geografis tertentu seperti daerah tangkapan air atau sub- daerah tangkapan air. Dalam bidang manajemen risiko banjir, model hidrologi umumnya membahas volume limpasan yang dihasilkan dari hujan lebat dan bagaimana laju aliran sungai berubah seiring waktu.

Dalam hal renaturasi sungai, Model hidrolika (atau sering disebut model hidrodinamika) mensimulasikan perilaku air dalam debit yang direncanakan mengalir dalam saluran drainase dan sungai. Dalam manajemen risiko banjir, model hidrolika umumnya berfokus evaluasi kapasitas sungai seperti tinggi muka air terhadap tanggul dan kecepatan aliran sungai.

Dalam pedoman ini, kedua jenis pemodelan tersebut dianggap sebagai representasi matematis dari perilaku air yang biasanya disimulasikan di dalam perangkat lunak. Perlu dicatat bahwa semakin sesuai perangkat lunak yang menyertakan kemampuan pemodelan hidrologi dan hidrolika (misalnya HEC-RAS dan SWMM), semakin besar keyakinan bahwa permodelan itu benar.

Terdapat berbagai macam model hidrologi dan hidrolika, mulai dari model yang sederhana hingga model yang kompleks, yang memengaruhi kemampuan model tersebut untuk merepresentasikan kinerja pada NBS.

2. Jenis Model Hidrologi

Dalam hal pengelolaan risiko banjir, model hidrologi terutama difokuskan pada hubungan antara curah hujan dan limpasan. Model hidrologi dapat dikelompokkan secara luas menjadi tiga kelas, yang masing-masing memiliki tingkat pemahaman yang berbeda tentang proses curah hujan-limpasan: (a) model empiris (b) model konseptual dan (c) model berbasis fisik. Dalam praktiknya, perangkat lunak pemodelan hidrologi tertentu dapat menggabungkan pendekatan yang berbeda untuk memodelkan aspek-aspek berbeda dari siklus hidrologi

(seperti evapotranspirasi, intersepsi, infiltrasi, pembentukan limpasan, aliran permukaan, dan perutean saluran).

Model empiris adalah model yang paling sederhana, dan menggambarkan hubungan antara masukan (misalnya curah hujan) dan keluaran (misalnya limpasan) berdasarkan pengalaman masa lalu. Karena model ini tidak secara eksplisit memperhitungkan proses internal, model ini terkadang disebut sebagai "model kotak hitam". Contoh model empiris yang banyak digunakan adalah metode rasional.

$$Q = 0.278 CIA$$

Dimana Q adalah laju aliran puncak (dalam m^3/s), C adalah koefisien limpasan langsung, I adalah intensitas curah hujan (mm/jam), dan A adalah daerah tangkapan air (Km^2). Koefisien limpasan biasanya dikaitkan dengan karakteristik permukaan.

Tabel 5-1. Koefisien Limpasan Rasional Berdasarkan Penggunaan Lahan (ASCE 1975, Viessman, et al. 1996, dan Malcom 1999)

Permukaan	Koefisien Limpasan Rasional, C
Area tidak diperbaiki (<i>Unimproved areas</i>)	0.35
Aspal (<i>Asphalt</i>)	0.95
Beton (<i>concrete</i>)	0.95
Bata (<i>Brick</i>)	0.85
Atap, miring (<i>Roofs, inclined</i>)	1.00
Atap, datar (<i>Roofs, flat</i>)	0.90
Rumput, tanah berpasir, datar <2% (<i>Lawns, sandy soil, flat <2%</i>)	0.10

Sedangkan berdasarkan SNI-2415-2016 tentang Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana, nilai C dan *Curve Number* (CN) untuk berbagai kondisi lahan sebagai berikut ini

Tabel 5-2. Koefisien *runoff* dan Persentase kedap air

Tata Guna Lahan	Karakteristik	C	Im (%)	Keterangan
Pusat perbelanjaan dan perkantoran		0,90	100	
Kawasan Industri	Bangunan penuh	0,80	80	Berkurang untuk bangunan tidak penuh
Pemukiman (kepadatan menengah - tinggi)	20 rumah/ha	0,48	30	Bandingkan daerah kedap air dengan daerah lain
	30 rumah/ha	0,55	40	
	40 rumah/ha	0,65	60	
	60 rumah/ha	0,75	75	
Pemukiman (kepadatan rendah)		0,40	< 20	CN = 85
Taman	Daerah Datar	0,30	0	

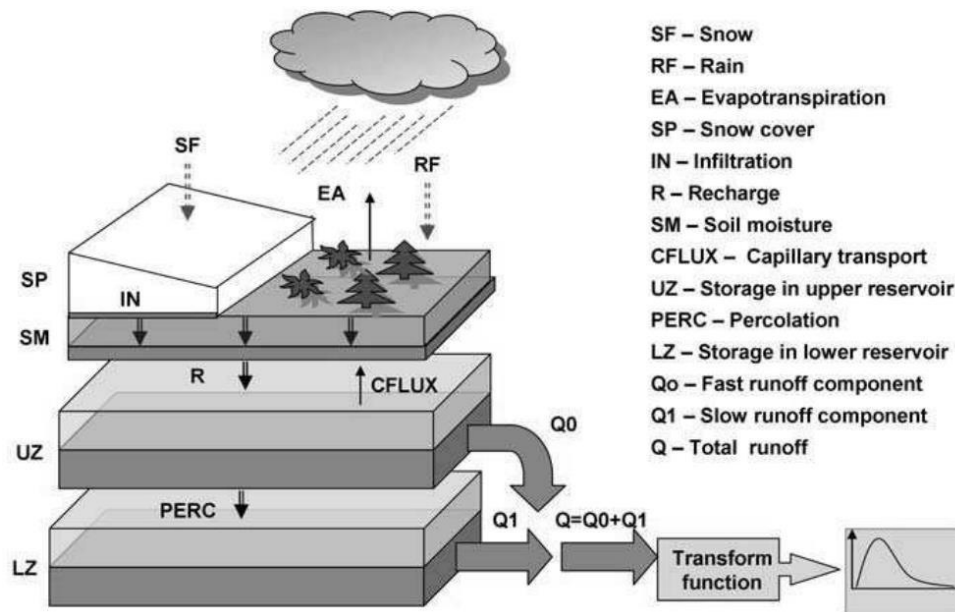
Tata Guna Lahan	Karakteristik	C	Im (%)	Keterangan
Pedesaan	Tanah berpasir	0,20	0	CN = 60
	Tanah Berat (Heavy Soil)	0,35	0	CN = 75
	Daerah Irigasi	0,50	0	CN = 85

Dengan merubah areal dengan permukaan beton misalnya, menjadi areal rerumputan/hutan kota maka akan menurunkan koefisien limpasan dari 0.95 menjadi 0.30 sehingga debit aliran permukaan akan turun dari $Q = 0,278 \cdot 0.95 \cdot IA$ menjadi $Q = 0,278 \cdot 0.30 \cdot IA$.

Pendekatan empiris lainnya adalah pendekatan *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN)*, yang menghubungkan limpasan dengan tutupan lahan dan jenis tanah, yang mana tabel referensi dapat diterapkan.

Dengan munculnya *machine-learning*, berbagai jenis model baru tengah dikembangkan yang bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam. Secara khusus, model hibrida tengah dikembangkan yang berupaya menggabungkan keunggulan pendekatan berbasis fisik dan berbasis data. Model-model ini berada di luar lingkup pedoman ini.

Model konseptual berusaha untuk merepresentasikan proses hidrologi yang sebenarnya, tetapi dalam bentuk yang disederhanakan. Model ini biasanya menggunakan parameter yang tidak dapat diukur tetapi harus dikalibrasi terhadap pengamatan. Misalnya, beberapa model konseptual menggunakan "*bucket*" untuk merepresentasikan elemen dalam siklus hidrologi, seperti lapisan permukaan dan air tanah, dengan persamaan sederhana yang merepresentasikan aliran di antara lapisan-lapisan ini. Karena representasi parsial dari proses fisik, model ini terkadang disebut sebagai "model kotak abu-abu". Model konseptual memiliki struktur yang bervariasi, tetapi parameter tipikal mencakup kedalaman/volume lapisan yang berbeda (intersepsi, penyimpanan permukaan, kelembapan tanah, air tanah) dan tingkat air awal, laju aliran antar elemen, dan parameter yang mengendalikan waktu tunda. Contoh model konseptual mencakup Model Akuntansi Kelembapan Tanah Sacramento (SAC- SMA) dan model Hidrologiska Byråns Vattenbalansavdelning (HBV).

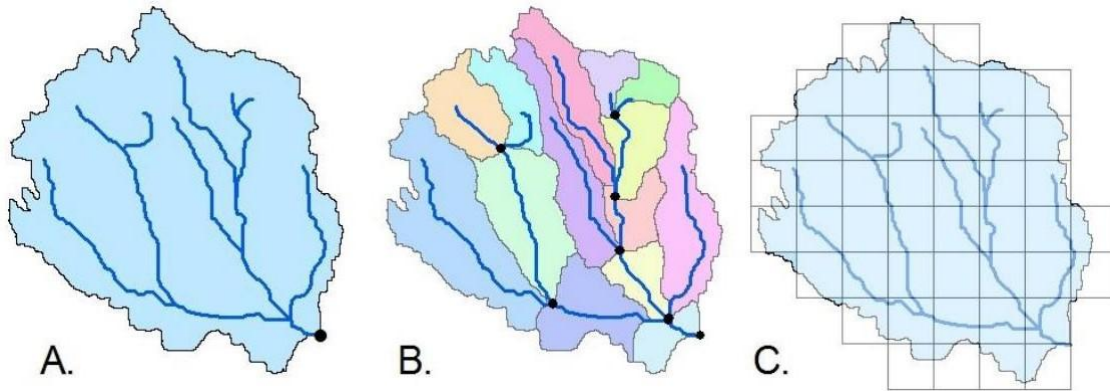


Gambar 5-1: Representasi model hidrologi konseptual

Model berbasis fisik bertujuan untuk merepresentasikan hukum fisika yang menentukan pergerakan air, menggunakan parameter yang setidaknya secara teoritis dapat diukur. Model ini terkadang disebut sebagai "model kotak putih". Model ini mungkin berisi elemen yang sama seperti model konseptual yang disajikan di atas seperti lapisan yang berbeda (zona jenuh dan tak jenuh), dan lapisan permukaan, beserta representasi topografi dan saluran. Meskipun strukturnya bervariasi, model berbasis fisik berisi parameter seperti konduktivitas hidrolis tanah, konduktivitas hidrolis akuifer, porositas, dan hambatan aliran permukaan. Beberapa jenis model hidrologi berbasis fisik meliputi MIKE SHE dan model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*).

Selain perbedaan model hidrologi ini, model-model tersebut dapat diklasifikasikan lebih lanjut menjadi model tergabung, semi-terdistribusi, atau terdistribusi penuh. Hal ini menggambarkan tingkat di mana daerah tangkapan air dipecah menjadi unit-unit yang lebih kecil. Model tergabung memperlakukan daerah aliran sungai sebagai satu unit, dan model terdistribusi memiliki representasi grid. Model semi-terdistribusi sering menggunakan sub-daerah tangkapan air atau "unit respons hidrologi". Biasanya, model fisik cenderung terdistribusi semi atau penuh, dengan model konseptual lebih cenderung tergabung atau terdistribusi semi.

Model hidrologi yang umum digunakan adalah HEC-HMS, yang dalam praktiknya menggabungkan elemen konseptual dan berbasis fisik. Model ini akan dijelaskan lebih mendalam di bawah ini. HEC-HMS dapat dioperasikan dengan pendekatan semi-terdistribusi atau *gridded* (terdistribusi penuh). Model lain yang akan dijelaskan secara rinci adalah *Storm Water Management Model* (SWMM).



Gambar 5-2: Representasi suatu daerah aliran sungai melalui model (A) terdistribusi merata, (B) terdistribusi semi merata dan (C) terdistribusi penuh

Beberapa perangkat lunak permodelan hidrologi sebagai berikut:

Tabel 5-3. Perangkat Lunak Permodelan Hidrologi

Intervensi NbS	Jenis Model yang Digunakan	Contoh
Aforestasi	Model hidrologi skala DAS	WaTEM/SEDEM; SWAT; Hype; INCA; Fieldmouse; MIKE SHE
Pengelolaan/perbaikan tanah & lahan	Model hidrologi skala DAS/kota	WaTEM/SEDEM; SWAT; Hype; INCA; Fieldmouse
Retensi dan detensi	Model hidrologi DAS, Model hidraulika, Model hidrologi- hidraulik, Model pond network	HEC-RAS; Flood Modeller; Overflow; Topmodel; Topcat; 1D Flood Modeller; Tuflow; SCIMAP; CRUM4
Pengelolaan Jalur Runoff	1D dan 2D Model hidraulika, Model Hidrologi	Flood Modeller; Tuflow; TopModel; Jflow (JBA)
Restorasi sungai	1D dan 2D Model hidraulika	Flood Modeller; Tuflow; JFlow; 1D Flood Modeller
Area tampungan (storage area)	1D dan 2D Model hidraulika, Model Hidrologi	Flood Modeller; Tuflow
Hutan pada dataran banjir	1D dan 2D Model hidraulika	HEC-RAS; River2D; Overflow
Restorasi dataran banjir	Model hidrologi- hidraulik, Model hujan- limpasan teragregasi (lumped rainfall-runoff)	MIKE SHE; MIKE 11

Contoh penggunaan perangkat lunak untuk mensimulasikan efisiensi NBS dalam pengendalian banjir dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5-4. Contoh penggunaan perangkat lunak untuk mensimulasikan efisiensi NBS dalam pengendalian banjir

Purpose	Type of NBS (place)	Models to simulate NBS efficiency	Input hydroclimatic parameters	References
To study the potentials of wetlands using the SWAT module of a GIS platform.	Wetlands (Bojiang Haizi River, Erdos <i>Larus relictus</i>)	SWAT	Daily rainfall, wind speed, RH, solar energy and air temperature	Li et al. (2019a)
To study the effects of vegetation on flood wave attenuation on the basis of a combination of field observation and numerical modelling.	Salt marshes and coastal wetlands (Western Scheldt estuary, the Netherlands)	SWAN numerical wave model	Field measurement, bathymetry, ocean current, ocean water level, bottom fraction, and wind speed.	Vuik et al. (2016)
To assess the functions of estuarial and tidal wetlands in reducing storm surge and flood damages.	Estuarine wetlands (mudflats and channels) (USA)	ArcGIS, ADCIRC numerical model	Wind velocity and atmospheric pressure	Highfield et al. (2018)
To simulate the role of wetland and vegetation roughness in reducing storm surge effects.	Wetland and vegetation roughness (Southeast Louisiana)	ADCIRC simulation/regression analysis	Wind velocity, atmospheric pressure, topo bathymetric, manning coefficient	Barbier et al. (2013)
To develop methods to delineate wetland inundation extent at basins.	Wetlands (Prairie Pothole, central North Dakota)	LiDAR, ArcGIS	Multi-temporal NAIP imagery, national wetlands inventory dataset, NDVI	Wu et al. (2019)
To study the effects of wetland regions their depth and positioning on river flows and peak flow control at basin scale.	Wetlands/ponds (Shiawassee River watershed, Saginaw Bay)	SWAT	Land use, soils, wetland field data, precipitation, RH, potential evapotranspiration	Martinez-Martinez et al. (2014)
To simulate hydrological processes with and without geographically isolated wetlands.	Contracted wetland (Greensboro Watershed, Mid- Atlantic Region of USA)	SWAT-WET	DEM, wetland drainage zones, daily precipitation temperature, and streamflow.	Yeo et al. (2019)
To analyse the role of weir and dredging of the channel in reducing upstream flood risks.	Wetland conservation, pond, lake (upper Lunan basin Scotland)	HEC-RAS	Maximum elevation, river water levels, discharge, lake water levels, precipitation	Vinten et al. (2019)
To simulate the potential of wetlands in attenuating peak water levels during storm tides.	Hybrid (Western Scheldt estuary, the Netherlands)	2D hydrodynamic model (TELEMAC 2D)	DEM, hourly averaged wind speeds, water level.	Stark et al. (2016)
To apply a novel framework of hydrodynamic and geospatial modelling to simulate the optimal flood risk reduction measures by wetland.	Wetland (Lower Tisza River, Hungary)	1D HEC-RAS model, ArcGIS, HEC-GeoRAS	DEM, daily discharge, maximum annual discharges, levees height	Guida et al. (2015)
To present a method that can describe the failure likelihood of a hybrid flood water protection system by integrating numerical models with stochastic models.	Hybrid flood (Netherlands)	1D wave energy balance	Mean wave period, water level, significant wave height, and wind speed	Vuik et al. (2018)

Using the hybrid (blue-green) approach to retain and purify stormwater runoff from the street.	Hybrid (blue green) (Łódź, Poland)	Field survey	Precipitation, discharge	Jurczak et al. (2018)
Effectiveness of several NBS in the reduction of runoff.	Bio-retention, grass swale, and porous pavement	Storm Water Management Model (SWMM)	Precipitation, Temperature, Evaporation, Wind speed, Basin	Niu et al. (2016)
To estimate overall benefits of flood storage capacity which was implemented as part of the restoration of wetlands in this area.	Wetland and ponds (Cambridgeshire, UK).	TESSA toolkit		Peh et al. (2013)
To estimate the impact of shore area wetlands in the northeastern USA against hurricane induced flood risk.	Coastal wetland cover (Atlantic coast USA),	MIKE-21 flood model	The model was simulated by the wind which was based on observed data Bathymetry data was part of the MIKE model C-MAP.	Narayan et al. (2017)
To offer a worldwide study of the socio-economic value of mangroves for flood risk management.	Mangrove forests, global analysis.	Delft3D	Historical cyclones and normal waves and sea level astronomical, storm surge, tide and mean sea level to generate the regression model	Menendez et al. (2020)
To present a methodology for the choice and placing of NBS to accomplish urban flood risk management.	Green wall/roofs, bio-retentions, rain gardens and previous pavements, Sukhumvit area, Bangkok, Thailand	A macro scale approach for urban flood modelling, using the Mike Urban hydrodynamic model.	Rainfall return periods (1-in-2 year, and 1-in-20 year)	Majidi et al. (2019)
Effect of applying NBS on several hydrological variables related to floods.	Tree woodland (River Cary, UK)	HEC-RAS and 2-dimensional River2D hydraulic model	Precipitation, River channel, river cross section	Thomas and Nisbet (2007)
Simulating changes in flow of water along channels and across surfaces due to application of NBS.	Storage pond (Tarland Burn catchment, UK; Spercheios River Basin, Greece)	TUFLOW	Precipitation, Basin boundary, Initial water level, Land use, Soil infiltration, Elevation	Ghimire et al. (2014) Spyrou et al. (2021)
Potential of green infrastructure in regulating surface runoff under climate change scenarios.	Trees and green roofs (Munich, Germany)	MIKE-SHE	Precipitation, Basin boundary, Manning's number, Wind speed, Evaporation, Temperature	Zölch et al. (2017)
Reduction of flood damages during coastal flooding	Coastal wetlands (New Jersey, USA)	MIKE-21	Precipitation, Basin boundary, Manning's number, Wind speed,	Narayan et al. (2017)

3. Contoh Pemodelan Hidrologi Pada NBS

Pemodelan hidrologi dapat memodelkan NBS dalam sejumlah cara. Untuk menjelaskan lebih lanjut, dibuat perbedaan antara berbagai jenis NBS, dengan fokus pada (a) skala daerah tangkapan air yang mengubah penggunaan lahan (b) skala kota atau blok. Hal ini dapat dibagi lebih lanjut menjadi tindakan yang (a) meningkatkan infiltrasi (b) meningkatkan penyimpanan/tampungan, dan (c) mengubah bentuk dan geometri saluran sungai.

Tabel 5-5. Jenis-jenis NBS

Kelas	Jenis NBS
Meningkatkan infiltrasi	Bioretensi, taman hujan, penghijauan
Meningkatkan penyimpanan/tampungan	Kolam retensi, kolam detensi
Mengubah bentuk dan geometri saluran sungai	Naturalisasi sungai, restorasi dataran banjir sungai

a. Pemodelan skala daerah tangkapan air atau sub-daerah tangkapan air

Pada skala daerah tangkapan air, sejumlah pendekatan dapat diterapkan untuk memodelkan perubahan penggunaan lahan skala besar, dan dapat diterapkan menggunakan perangkat lunak pemodelan HEC-HMS.

Dalam hal NBS, HEC-HMS mampu mewakili:

1. Intersepsi (penangkapan curah hujan oleh vegetasi)
2. Infiltrasi
3. limpasan permukaan
4. Perutean Saluran
5. Aliran dasar
6. Evapotranspirasi
7. Waduk dan unit penyimpanan

Untuk pengelolaan risiko banjir, hal yang paling krusial adalah (i) infiltrasi, (ii) limpasan permukaan, (iii) perutean saluran, (iv) aliran dasar, dan (v) keberadaan waduk dan unit penyimpanan.

Pendekatan pertama adalah menyesuaikan parameter tertentu dengan infiltrasi, untuk memodelkan potensi limpasan. HEC-HMS dapat menggunakan pendekatan sederhana untuk memodelkan infiltrasi, disebut sebagai "awal dan konstan", yang mengasumsikan laju infiltrasi konstan setelah kehilangan awal. Pendekatan ini mengasumsikan satu lapisan tanah, yang nilainya dapat disesuaikan berdasarkan jenis penggunaan lahan. Metode lain, yang disebutkan di atas, adalah *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN)* yang mendefinisikan infiltrasi dan dengan demikian limpasan sebagai angka, yang didasarkan pada tutupan lahan dan jenis tanah. Daerah perkotaan cenderung memiliki koefisien yang lebih tinggi yang mencerminkan keterbatasan dalam infiltrasi. Pendekatan lebih lanjut yang dapat digunakan adalah pendekatan *Soil Moisture Accounting (SMA)*. Pendekatan ini

memodelkan penyimpanan air di permukaan, di tanah, dan di air tanah, dan parameter yang dapat mengatur volume penyimpanan dan laju aliran di antara mereka (seperti infiltrasi, penyimpanan tanah, penyimpanan permukaan) dapat memodelkan NBS dalam skala besar.

Demikian pula, perubahan skala besar pada penggunaan lahan, seperti penghijauan, dapat memengaruhi pemodelan limpasan permukaan. HEC-HMS dapat menggunakan pendekatan yang disebut pendekatan Transformasi Gelombang Kinematik yang memodelkan aliran permukaan sebagai fungsi panjang lereng, kemiringan, dan koefisien kekasaran. Demikian pula, perubahan penggunaan lahan dapat tercermin dalam parameter pendekatan pemodelan limpasan lainnya termasuk mengubah bentuk hidrograf satuan, yang dapat dipengaruhi oleh salah satu faktor, limpasan permukaan .

Tabel 5-6. Karakteristik kekasaran untuk memodelkan aliran permukaan

Surface description	<i>N</i>
Smooth surfaces (concrete, asphalt, gravel, or bare soil)	0.011
Fallow (no residue)	0.05
Cultivated soils:	
Residue cover ≤ 20%	0.06
Residue cover > 20%	0.17
Grass:	
Short grass prairie	0.15
Dense grasses, including species such as weeping love grass, bluegrass, buffalo grass, blue grass, and native grass mixtures	0.24
Bermudagrass	0.41
Range	0.13
Woods ¹	
Light underbrush	0.40
Dense underbrush	0.80

Rumus Kecepatan Aliran (Persamaan Manning):

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

Di mana:

- *V* = Kecepatan rata-rata aliran (m/detik)
- *n* = Koefisien kekasaran Manning (tanpa dimensi)
- *R* = Jari-jari hidrolis (m), atau kalau dalam suatu areal merupakan lebar areal
- *S* = Kemiringan dasar saluran atau kemiringan lahan (tanpa dimensi, m/m)

Rumus Debit Aliran (*Q*) dari Persamaan Manning:

Debit aliran (*Q*) adalah hasil perkalian antara luas penampang basah (*A*) dan kecepatan rata-rata aliran (*V*).

$$Q = A \cdot V$$

Dengan mensubstitusikan rumus *V* dari persamaan Manning, kita mendapatkan rumus debit aliran: $V = A \cdot 1/n R^{2/3} S^{1/2}$

Di mana:

- Q = Debit aliran ($m^3/detik$)
- A = Luas penampang basah (m^2)
- R = Jari-jari hidrolik (m)
- S = Kemiringan dasar saluran atau kemiringan lahan (tanpa dimensi, m/m)
- n = Koefisien kekasaran Manning (tanpa dimensi)

Peningkatan nilai koefisien kekasaran manning akan mengakibatkan penurunan debit aliran, n beton = 0,011 sehingga $1/n = 90,91$, berubah menjadi n *cultivated soil* = 0,06, $1/n = 16,67$. Sehingga : Q beton = $A \cdot 90,91 \cdot R^{2/3} S^{1/2}$ berubah menjadi Q Cult = $A \cdot 16,67 \cdot R^{2/3} S^{1/2}$

Unit penyimpanan seperti kolam retensi atau penampungan dapat dimodelkan ke dalam model hidrologi. Dalam HEC-HMS, hal ini dapat dicapai dengan memasukkan unit, dan menentukan volume penyimpanan potensial, hubungan antara penyimpanan dan elevasi, kondisi awal, kondisi terkontrol, dan parameter yang menggambarkan bagaimana aliran dari struktur disalurkan melalui model.

Pengalihan **aliran saluran** juga dapat menggambarkan dampak NBS. HEC-HMS memiliki beberapa pilihan untuk pengalihan, dan perubahan pada parameter utama dapat menggambarkan **naturalisasi sungai** dan **pemulihan dataran banjir**. Dalam beberapa pendekatan, (seperti pengalihan Gelombang Kinematik, atau pengalihan Muskingham-Cunge), perubahan pada koefisien kekasaran Manning (n Manning) dapat digunakan untuk menggambarkan perubahan ke saluran yang lebih kasar dan bervegetasi. Dimungkinkan juga untuk menyesuaikan "kecepatan gelombang" untuk memperhitungkan penyimpanan daerah aliran sungai.

Beberapa teknik ini kini dapat diimplementasikan dalam HEC-HMS dan model hidrologi lainnya pada skala grid. **HEC- GeoHMS** adalah alat praproses geospasial yang dapat membantu pengguna HEC-HMS mengembangkan model hidrologi yang terdistribusi secara spasial, dan misalnya, dapat merepresentasikan tutupan lahan yang bervariasi secara spasial dengan lebih akurat.

Salah satu kesulitan dengan pendekatan ini adalah menghitung dampak NBS pada skala kota. Sebaliknya, metode ini dapat diterapkan pada skala daerah tangkapan air, dan dampak beberapa NBS "dihaluskan" di seluruh daerah tangkapan air. Sebagai upaya untuk meningkatkan hal ini, beberapa metode seperti SCS-CN dan penghitungan kelembapan tanah dapat diterapkan pada skala petak.



b. Permodelan Pada Skala Kota/Blok

Metode rasional untuk menghitung hubungan antara curah hujan dan limpasan dirancang untuk diterapkan pada skala kecil. Metode ini menyediakan cara sederhana untuk memasukkan infiltrasi, yaitu dengan menyesuaikan koefisien limpasan untuk memperhitungkan area hijau. Bergantung pada representasi spasial daerah tangkapan, penyertaan area infiltrasi dapat "diberi

bobot". Namun, sifat hubungan empiris dapat menyulitkan untuk secara akurat merepresentasikan kinerja NBS.

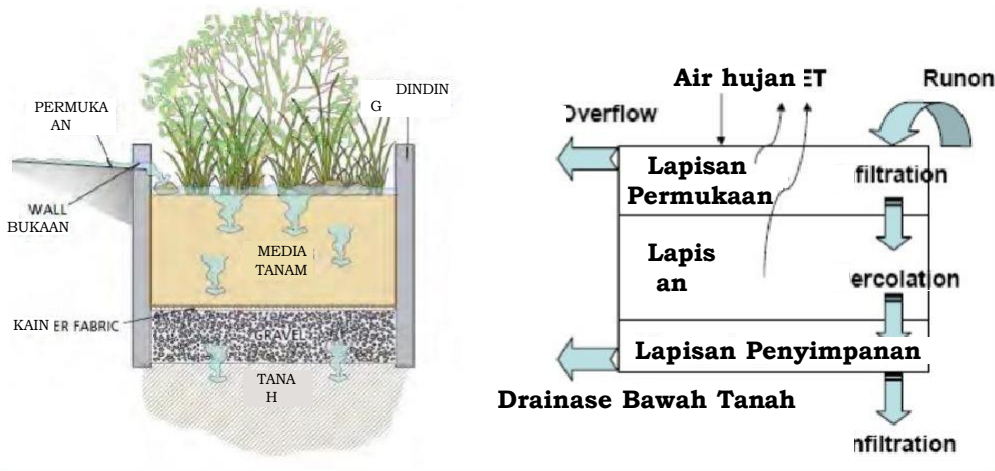
Storm Water Management Model (SWMM) telah dikembangkan secara khusus untuk memodelkan hidrologi perkotaan, dan khususnya pada skala yang lebih kecil, dibandingkan dengan HEC-HMS. SWMM mengandung komponen pemodelan hidrologi dan hidrolika. Beberapa pendekatan untuk pemodelan hidrologi serupa dengan yang digunakan oleh HEC-HMS. Misalnya, ia dapat menggunakan banyak pendekatan untuk infiltrasi (seperti model infiltrasi SCS-CN).

SWMM memiliki modul khusus untuk simulasi praktik Pembangunan Berdampak Rendah (*Low Impact Development/LID*), atau infrastruktur air hujan berbasis alam. Modul ini merupakan bagian dari penilaian hidrologi karena penerapan LID dapat mengubah kondisi permeabilitas dan infiltrasi suatu daerah tangkapan air. Dalam SWMM, upaya ini dapat dimasukkan sebagai persentase dari daerah tangkapan air atau seluruh daerah tangkapan air. Dengan demikian, model ini memungkinkan penilaian dampak penerapan LID secara lokal dan pada tingkat daerah tangkapan air. SWMM dapat mensimulasikan delapan jenis struktur LID yang berbeda: unit bioretensi, taman hujan, atap hijau, parit infiltrasi, perkerasan permeabel kontinu, pemanenan air hujan (atau tangki), pemutusan atap (*rooftop disconnection*), dan swale vegetatif. Secara khusus, SWMM dapat secara eksplisit memodelkan praktik berikut:

<p>Sel Bioretensi adalah cekungan yang memiliki vegetasi yang tumbuh dalam campuran tanah rekayasa yang ditempatkan di atas hamparan penyimpanan dari kerikil. Sel ini menyediakan tempat untuk penyimpanan, infiltrasi, dan evaporasi air hujan yang ditangkap secara langsung dan limpasan dari daerah sekitar. Tanaman di pinggir jalan dan bio-sengkedon adalah contoh sel bioretensi yang umum diterapkan.</p>	
<p>Taman Hujan adalah salah satu jenis sel bioretensi yang hanya terdiri atas lapisan tanah rekayasa tanpa hamparan kerikil di atasnya.</p>	

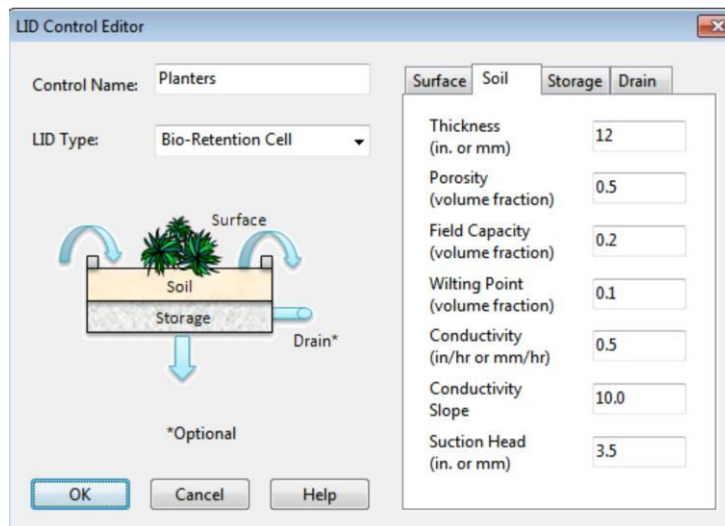
Misalnya, SWMM menggambarkan area bioretensi sebagai lapisan horizontal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.3. Lapisan permukaannya menerima air hujan secara langsung dan limpasan yang dikumpulkan dari area lain. Air tersebut masuk ke lapisan tanah di bawahnya (terinfiltrasi), melalui evapotranspirasi air permukaan yang tergenang, dan melalui limpasan permukaan jika memungkinkan. Lapisan tanah terdiri dari campuran tanah rekayasa yang dapat mendukung pertumbuhan vegetasi. Infiltrasi diperoleh dari lapisan permukaan dan air dilepaskan melalui evapotranspirasi dan infiltrasi ke lapisan penyimpanan di atasnya. Lapisan penyimpanan terdiri dari batu atau kerikil yang pecah kasar. Rembesan berasal dari zona tanah di atasnya dan air

terinfiltrasi ke tanah alami di bawahnya dan melalui penyaluran dengan sistem drainase bawah tanah dengan pipa berlubang jika tersedia.



Gambar 5-3: Gambaran Area Bioretensi Menurut SWMM

Parameter pemodelan dapat divariasikan sebagai berikut:

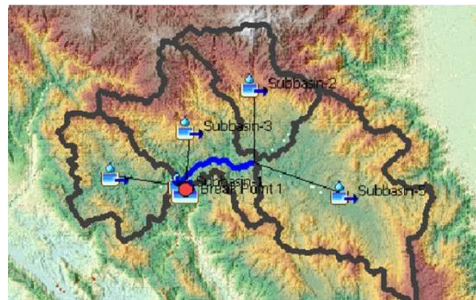


Gambar 5-4: Parameter untuk merepresentasikan unit bioretensi dalam SWMM

Pengaturan serupa dapat dilakukan untuk memperhitungkan NBS lain yang diterapkan pada skala kota atau blok seperti swale. SWMM, mirip dengan HEC-HMS dapat mensimulasikan kolam penampungan sebagai unit penyimpanan, yang dalam model tersebut merupakan simpul dalam sistem drainase yang menyediakan area penyimpanan. Secara fisik, hal ini dapat memodelkan fasilitas penyimpanan kecil seperti cekungan tangkapan air atau yang besar seperti danau. Properti volumetrik unit penyimpanan ditambahkan oleh pengguna, dijelaskan oleh fungsi atau tabel luas permukaan dan tinggi. Selain menerima aliran masuk

dan membuang aliran keluar ke simpul lain dalam jaringan drainase, simpul penyimpanan juga dapat melepaskan airnya melalui penguapan permukaan dan infiltrasi ke dalam tanah. SWMM memungkinkan elemen-elemen ini ditambahkan ke model sistem drainase yang komprehensif dan memungkinkan penilaian dampak kolam penampungan selama aliran puncak dan banjir.

Parameterisasi model (*model parameterization*) adalah proses menerjemahkan kondisi tertentu ke parameter yang bisa dimasukkan ke model



Canopy Interception	
Initial Storage Method	Depth
*Initial Storage (MM)	
Crop Coefficient:	1.0
*Max Storage (MM)	

Loss	
Initial Abstraction (MM)	
*Curve Number:	
*Impervious (%)	0.0

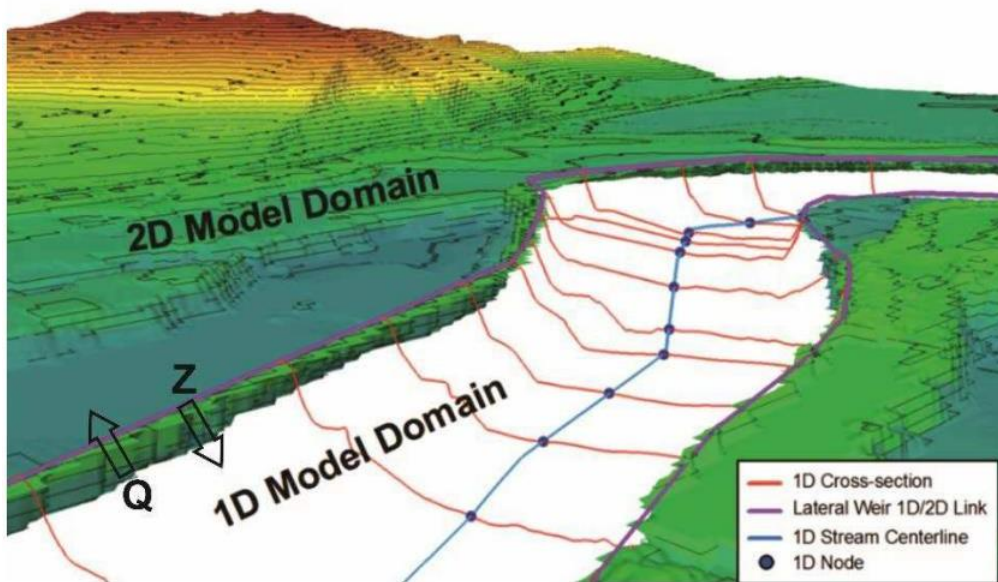
Contoh kasus dalam wilayah padat penduduk yang tidak ada fungsi intersepsi dirubah menjadi menjadi wilayah hutan yang memiliki fungsi penyimpanan, maka fitur *canopy interception* harus diaktifkan untuk memberikan gambaran perilaku kawasan hutan, maka *Curve Number* (CN) yang besar, contoh dengan angka 80 yang dimana identik dengan wilayah padat penduduk, menjadi 55 yang identik dengan kapasitas infiltrasi dan daerah resapan yang baik. Contoh perubahan parameter model yang diterapkan untuk mereduksi debit aliran permukaan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5-7. Perubahan Parameter Model Yang Diterapkan Untuk Mereduksi Debit Aliran Permukaan

	1D Physics-Based cross-Section Analysis	1D Routing Model with Limited Survey	1D Hydrodynamic Model with Limited Survey	1D Model and Survey	2D Model	2D Model with Sub-grid Hydraulic Properties	1D-2D Linked Model	Lumped Parameter Catchment Model	Semi-Distributed Hydrological Model	Fully Distributed Model
Landscape retention and detention features		Increase attenuation parameter	Increased Manning's <i>n</i> or reduce inflows	Increased Manning's <i>n</i> roughness	Increase Manning's <i>n</i> , or in-line storage			Change time constants in linear cascade	Adjust wave speed and treat as time constant storage	
Bioretention systems	Adjust frictional losses per cross-section									
Landcover		Reduce wave speed in routing model	Increase overbank Manning's <i>n</i> roughness		Increase distributed Manning's <i>n</i> roughness and hydrological losses		Represent Manning's <i>n</i> roughness in more detail in 2d areas and hydrological losses	Change maximum soil moisture, storage, C _{max} , and quick flow time constants	Change transmissivity, canopy storage, evaporation, overland flow speed, and antecedent wetness.	
Soil management			Reduce inflow boundary		Modify losses: reduce rainfall inputs, increase infiltration, and surface roughness.			Changes to C _{max}	Increase transmissivity	Vary soil parameters
River naturalisation	not applicable									
Natural wetlands		Reduce inflow boundaries	Reduce inflow boundaries, represent increased friction		Modify DTM to increase storage			Change time constants in linear cascade	Increase root-zone or other storage	
Constructed wetlands										
River floodplain and estuary management	Different shear stresses	Increase attenuation parameter in Muskingum unit	Increase storage area capacity	Modify lateral weirs and roughness overbank	Modify DTM to add storage / roughness	Modify DTM to add storage / roughness. Add / remove break-lines			Increase complexity of floodplain representation	Link with detailed hydraulic model

4. Jenis Model Hidrolika

Tiga jenis model hidrolika umumnya digunakan dalam pemodelan banjir: satu dimensi (1D), dua dimensi (2D) atau 1D-2D yang digabungkan. Perbedaannya menggambarkan arah aliran air dalam model. Misalnya, model 1D umumnya diterapkan untuk memodelkan saluran sungai sederhana, sedangkan model 2D dapat diterapkan untuk memodelkan perilaku penyebaran air banjir di dataran banjir atau di seluruh wilayah perkotaan. Model 1D-2D dapat digunakan untuk menghubungkan saluran sungai sederhana ke dataran banjir. Apa pun jenis modelnya, semua model memerlukan data geometri saluran dan struktur apa pun, aturan pengoperasian untuk struktur seperti pintu air, dan parameter yang mengatur kekasaran saluran atau permukaan. Model yang umum diterapkan meliputi HEC-RAS, yang dapat memungkinkan pengaturan model 1D, 2D, dan 1D-2D.



Gambar 5-5: Skema pendekatan pemodelan 1D/2D

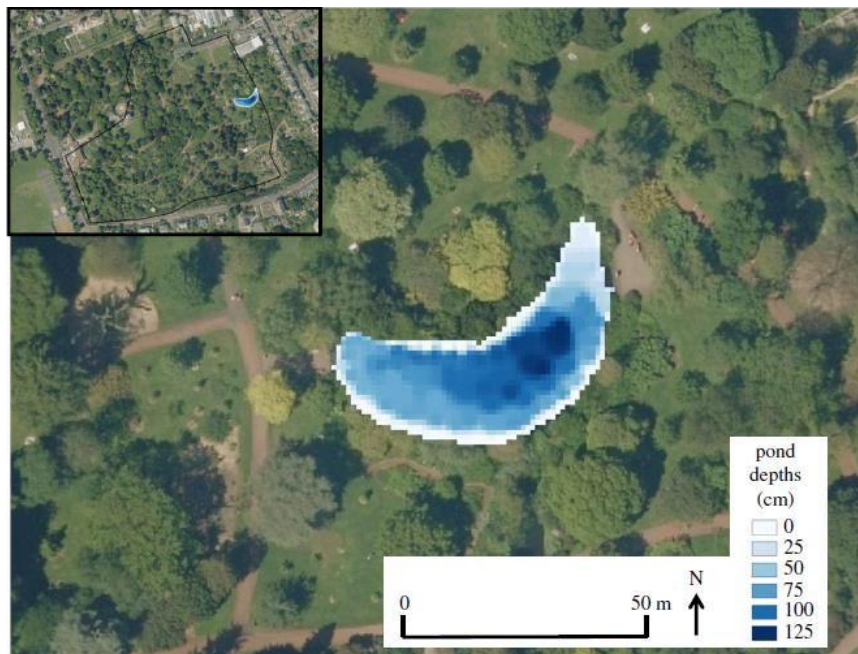
5. Contoh Penggunaan Pemodelan Hidrolika pada NBS

Model hidrolika dapat memodelkan aspek NBS dalam beberapa cara, dalam model 1D dan 2D. Seperti disebutkan di atas, model hidrolika berfokus pada perilaku air di saluran drainase dan dalam kasus banjir, bagaimana air mengalir di permukaan di daerah perkotaan. Selain SWMM, paket pemodelan hidrolisik yang umum digunakan adalah HEC-RAS. HEC-RAS memiliki kemampuan pemodelan 1D, 2D, dan gabungan 1D/2D. SWMM adalah paket pemodelan 1D, tetapi dapat diperluas ke 2D dalam paket perangkat lunak seperti PCSWMM.

Model hidrolika, baik 1D maupun 2D dapat memberikan representasi modifikasi saluran yang lebih rinci, yang merepresentasikan perubahan geometri dan material (melalui perubahan kekasaran). Misalnya, model hidrolika dapat memodelkan saluran sungai yang dinaturalisasi atau restorasi dataran banjir. Sementara model hidrologi dapat menghitung rute gelombang banjir menggunakan metode yang relatif sederhana, model hidrolika dapat menggunakan persamaan pemodelan hidrodinamik yang lebih rumit. Model saluran 1D lebih cocok untuk

kasus geometri yang lebih sederhana, sedangkan model 2D dapat merepresentasikan geometri kompleks seperti lahan basah dengan lebih baik. Model hidrolik dapat merepresentasikan struktur dalam saluran seperti bendungan atau 'bendungan bocor'. Model hidrolika juga dapat merepresentasikan efek vegetasi pada air permukaan dengan menyesuaikan parameter seperti kekasaran Manning.

Model hidrolika dapat memodelkan elemen penyimpanan/tampungan, seperti kolam penampungan dan retensi. Perbedaan utamanya adalah pada model 1D, unit penyimpanan harus ditambahkan sebagai objek terpisah, dan dihubungkan ke saluran 1D, sedangkan pada model 2D, geometri elemen ini dapat dimasukkan langsung ke dalam data topografi model (lihat Gambar 5).



Gambar 5-6: Area penyimpanan yang direpresentasikan dalam model hidrolik 2D.

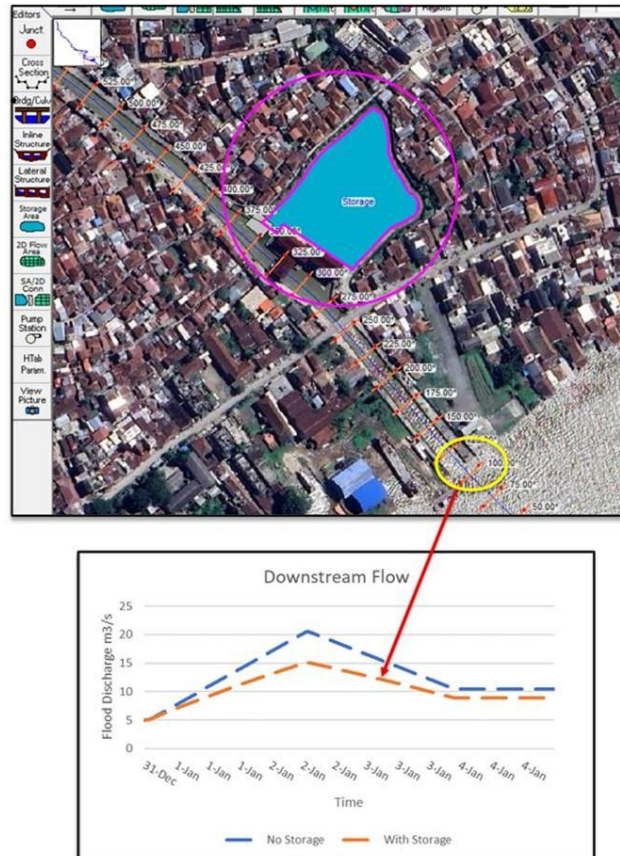
Ada beberapa pertimbangan utama saat memilih apakah akan menggunakan model 1D atau 2D untuk memodelkan NBS. Model hidrolika 1D adalah model yang efisien dan cocok untuk merepresentasikan intervensi NBS linear seperti penghalang bocor, modifikasi kekasaran saluran, atau penyimpanan di dalam aliran. Namun, model ini tidak memiliki kemampuan untuk menangkap aliran lateral dan interaksi permukaan.

Sebaliknya, model hidrolika 2D mensimulasikan pergerakan air melintasi permukaan dalam dua dimensi, sehingga ideal untuk merepresentasikan aliran permukaan dan proses dataran banjir yang kompleks. Hal ini memungkinkan pemodelan NBS yang lebih realistis seperti lahan basah, dataran banjir yang terhubung kembali, dan cekungan vegetasi. Sementara model 2D memerlukan lebih banyak data dan daya komputasi, model tersebut memberikan pemahaman yang lebih rinci dan eksplisit secara spasial tentang bagaimana NBS memengaruhi dinamika banjir, terutama dalam kondisi aliran yang tidak stabil.

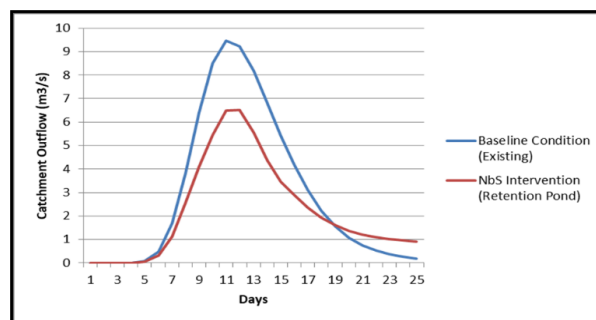
6. *Key Performance Indicators (KPIs) Dalam NBS*
Key Performance Indicators/KPI) :

Contoh indikator yang biasa dipakai dalam pengukuran efektivitas NbS, meliputi :

- Penurunan debit puncak (m^3/s) – *direct benefit*
- Peningkatan cadangan air tanah (m^3) – *co benefit*
- Penurunan volume limpasan (m^3) – *direct benefit*
- Penurunan kedalaman banjir atau luas genangan (m) – *direct benefit*
- Peningkatan waktu puncak (time to peak) – *direct benefit*
- Peningkatan kualitas air – *co benefit*



Gambar 5-7: Contoh penurunan debit puncak banjir dengan kolam retensi (sumber BTMC)



Gambar 5- 8: Contoh hidrograf banjir, sebelum dan sesudah ada kolam retensi Keuntungan Sosial: penurunan genangan banjir

Indikator keuntungan :

Reduksi puncak banjir	Penurunan	%
Waktu puncak banjir	penambahan	Jam
Tinggi puncak banjir	penurunan	m ³ /dt
Volume banjir	penurunan	m ³

$$KPI = \frac{\text{Flood discharge baseline (m3/s)} - \text{Flood discharge with NbS (m3/s)}}{\text{Flood discharge baseline (m3/s)}} \times 100\%$$

Setiap indikator harus ditentukan apakah semakin besar nilainya semakin baik (*maximize*) atau semakin kecil semakin baik (*minimize*). Hal ini penting untuk memastikan perhitungan NBS dilakukan secara tepat. Misalnya, semakin kecil debit puncak maka semakin baik, sementara semakin luas ruang terbuka hijau semakin baik.

$$\overline{KPI}_{j,i} = 100 \cdot \left(\frac{X_{i,j} - X_{jmin}}{X_{jmax} - X_{jmin}} \right) \rightarrow \text{Untuk indikator yang dimaksimalkan....(1)}$$

$$\overline{KPI}_{j,i} = 100 \cdot \left(\frac{X_{jmax} - X_{i,j}}{X_{jmax} - X_{jmin}} \right) \rightarrow \text{Untuk indikator yang diminimalkan.....(2)}$$

Contoh menggunakan data *peakflow* pada *outlet* kolam retensi

Scenario	Value (m ³ /s)
Baseline (X _{jmax})	900
NBS Scenario (X _{i,j})	700
Min value (X _{jmin})	500

Skenario	Debit Puncak (m ³ /s)	Keterangan
Baseline	900	Kondisi awal dari DAS sebelum ada intervensi. Debit puncak sebesar 900 m ³ /s menunjukkan potensi banjir yang cukup tinggi di hilir. Baseline menjadi acuan perbandingan dalam evaluasi efektivitas intervensi.
NBS Scenario	700	Setelah penerapan Nature-based Solutions (NbS) seperti retention pond, debit puncak berkurang menjadi 700 m ³ /s. Ini menunjukkan NbS mampu menahan dan memperlambat aliran permukaan sebelum mencapai outlet DAS.
Min value	500	Karena skenario NbS berhasil mencapai nilai terendah, maka ini digunakan sebagai nilai acuan terbaik.

Didapat skor 50 dari 100 untuk perhitungan KPI, menunjukkan performa pengurangan debit puncak banjir.

Untuk setiap indikator

Skor tertimbang i = KPI i x Bobot i

Penjumlahan semua skor tertimbang:

$$\text{Skor KPI total} = \sum_{i=1}^n (\text{KPI } i \times \text{Bobot } i)$$

$$\overline{KPI}_{j,i} = 100 \cdot \left(\frac{X_{jmax} - X_{i,j}}{X_{jmax} - X_{jmin}} \right)$$

$$\overline{KPI}_{j,i} = 100 \cdot \left(\frac{900 - 700}{900 - 500} \right)$$

$$\overline{KPI}_{j,i} = 50 \rightarrow \text{Skor KPI}$$

Contoh penjumlahan

Indikator	Arah Optimasi	Skor KPI NbS	Bobot (%)	Bobot (desimal)	Skor tertimbang
Debit Puncak (m ³ /s)	Minimize	75	50%	0.50	75 × 0.50 = 37.5
Luas Genangan (ha)	Minimize	60	30%	0.30	60 × 0.30 = 18.0
Akses Publik ke Ruang Hijau	Maximize	80	20%	0.20	80 × 0.20 = 16.0
Skor KPI Total	—	—	100%	1.00	71.5

- Skor KPI NbS merupakan hasil nilai (0 – 100) dari masing-masing indikator berdasarkan skenario NbS
- Bobot (%) menunjukkan tingkat kepentingan relatif setiap indikator
- Skor tertimbang adalah hasil kali skor dengan bobot untuk setiap indikator
- Skor gabungan KPI untuk skenario NbS = 71.5 dari maksimum 100, ini dapat dikategorikan sebagai kinerja baik (*Good*) jika menggunakan klasifikasi seperti:

0 – 25	= Buruk
26 – 50	= Sedang
51 – 75	= Baik
75 – 100	= Sangat Baik

F. Skema Penerapan NBS

1. Konsep Konstruksi NBS

Pembangunan NBS biasanya melibatkan kegiatan konstruksi sipil dan teknik lansekap, termasuk penggalian, penimbunan, perataan, pemasangan pipa, pembangunan ruang, pelapisan tanah bagian atas, penyemaian, dan penanaman. Namun, penerapan NBS juga memerlukan perhatian pada proses konstruksi tertentu dan pertimbangan penjadwalan yang melampaui proyek infrastruktur konvensional.

Mengintegrasikan NBS ke dalam perencanaan konstruksi. Jadwal konstruksi untuk NBS harus diintegrasikan ke seluruh fase pengembangan area kerja. Misalnya, meskipun sistem drainase *subsurface* sering kali dibangun lebih awal, konstruksi akhir elemen infrastruktur hijau harus ditunda hingga tahap selanjutnya—kecuali jika ada upaya yang memadai untuk mengelola endapan lumpur dan mencegah pemadatan tanah.

Metode konstruksi yang jelas dan perencanaan prakonstruksi sangat penting untuk keberhasilan implementasi NBS. Konstruksi awal bioswales dan kolam retensi dapat membantu mengendalikan limpasan dan sedimen selama konstruksi, tetapi material sedimen ini harus dibersihkan sebelum serah terima pekerjaan. Kontrak pekerjaan konstruksi harus mencakup penanaman vegetasi dan pembuangan sedimen sebelum fase pemeliharaan dimulai.

Melindungi komponen infiltrasi selama konstruksi. Material konstruksi biasanya mengandung sedimen dalam jumlah tinggi, yang dapat menyumbat sistem infiltrasi, terkumpul di fasilitas penyimpanan, dan

mencemari air. Limpasan ini harus dicegah agar tidak memasuki komponen infiltrasi, seperti permukaan yang dapat ditembus air. Selain itu, lalu lintas kegiatan konstruksi harus dijauhkan dari permukaan infiltrasi ini untuk menghindari pemadatan tanah dan kerusakan lain yang dapat mengurangi kapasitas infiltrasinya.

Pengendalian erosi. Sebelum membiarkan limpasan mengalir melalui komponen yang ditumbuhi vegetasi, area kerja harus distabilkan/dibersihkan sepenuhnya baik melalui penanaman vegetasi atau tindakan pengendalian erosi sementara. Hal ini penting untuk mencegah erosi pada sisi dan dasar, dan untuk menghindari penyumbatan pada komponen hilir.

Pertimbangan lanskap dalam konstruksi NBS. Praktik konstruksi lanskap yang baik sangat penting untuk keberhasilan penerapan NBS, karena sistem ini biasanya berbasis permukaan. Penting untuk memprioritaskan perhatian terhadap detail dan estetika guna memastikan sub-proyek terintegrasi dengan baik dengan lingkungan sekitarnya dan memaksimalkan manfaat bersama. Persyaratan untuk penanaman musiman dan fisik harus dipertimbangkan dengan cermat, di samping kebutuhan akan penanaman vegetasi yang tepat. Untuk mencapai hal ini, diperlukan pekerja yang memiliki keterampilan dan pengalaman yang sesuai. Selain itu, desain permukaan tanah yang berdekatan harus direncanakan dengan cermat untuk mencegah pencucian sedimen selama hujan deras dan untuk meminimalkan rembesan air tanah selama kondisi basah.

Mengelola dampak sosial dan lingkungan selama konstruksi. Kegiatan konstruksi harus dilaksanakan setelah berkonsultasi dengan para pemangku kepentingan terkait serta memastikan kepatuhan terhadap standar sosial dan lingkungan dilaksanakan dengan baik. Monitoring dampak konstruksi harus dipantau secara ketat selama fase konstruksi. Segala dampak yang terjadi pada struktur, spesies, dan fungsi ekosistem harus ditandai. Untuk solusi hibrida, pekerjaan teknik dan aspek ekosistem harus dilaksanakan secara harmonis sesuai dengan rencana desain.

Selain itu, pelaksana pekerjaan perlu menginformasikan dan berkonsultasi dengan pemangku kepentingan utama yang teridentifikasi. Pemangku kepentingan terkait perlu dilibatkan tidak hanya dalam perencanaan, namun juga dalam pelaksanaan konstruksi. Dalam sosialisasi terhadap masyarakat, diharapkan dampak jangka pendek dan jangka panjang yang diharapkan dapat teridentifikasi, termasuk juga pada kebermanfaatannya bagi masyarakat dan lingkungan. Pelaksana pekerjaan perlu melakukan monitoring dampak pekerjaan konstruksi dan mengakomodir kebutuhan pemangku kepentingan lokal. Kesesuaian implementasi sub-proyek terhadap kondisi di lapangan perlu dilakukan secara fleksibel apabila diperlukan berdasarkan perubahan kebutuhan pemangku kepentingan dan informasi baru yang muncul.

2. Operasi dan Pemeliharaan

a. Umum

Seperti infrastruktur lainnya, NBS memerlukan pemeliharaan rutin guna memastikan pengoperasian berjalan dengan baik. Hal ini pun

mencegah NBS menjadi gangguan untuk kesehatan publik, seperti menjadi tempat perkembangbiakan nyamuk. Selain itu, penerapan beberapa NBS yang berkelanjutan sangat memerlukan vegetasi, pengecekan periodik menjadi penting untuk dilakukan guna memastikan kesehatan vegetasi. Secara menyeluruh, pemeliharaan setelah konstruksi harus dilakukan untuk komponen alami/vegetasi.

Pengendalian sampah adalah pemeliharaan mendasar setelah konstruksi yang harus diterapkan dalam seluruh skala NBS. Sampah dan limbah padat dapat berisiko menyebabkan penyumbatan, sehingga membatasi fungsi mitigasi air hujan. NBS yang terdesentralisasi dapat diletakkan secara tersebar di seluruh kota. Maka, pelibatan elemen masyarakat penting untuk dilakukan dalam melakukan pemeliharaan. Hal ini dapat berupa pekerjaan sukarela yang disertai dengan acara kampanye peningkatan kesadaran dan edukasi, atau layanan berbayar yang menyediakan peluang kerja bagi beberapa anggota masyarakat.

Pembersihan periodik disertai pembuangan puing pun penting dilakukan. Pemeliharaan tambahan mungkin diperlukan setelah hujan ekstrim/badai atau banjir. Selama kejadian tersebut, kemungkinan volume sedimen dan puing yang memasuki sistem lebih tinggi. Hal ini meningkatkan potensi hambatan dan penyumbatan dalam sistem NBS.

Pengendalian nyamuk pun sangat penting bagi implementasi NBS di daerah tropis. Upaya pemeliharaan dalam hal ini bertujuan untuk mencegah, mengidentifikasi, dan mengeliminasi potensi perkembangbiakan nyamuk. Upaya ini umumnya dilakukan dengan inspeksi rutin (setidaknya satu kali per minggu) untuk mencegah pertumbuhan habitat nyamuk. Hal ini termasuk memastikan tidak ada genangan air yang tidak mengalir dalam sistem dan tidak ada titik masuk bagi nyamuk (misalnya tutup lubang got dan tutup pipa terpasang). Selain itu, pemantauan rutin atas waktu infiltrasi dan drainase pun diperlukan. Waktu detensi air lebih dari 1-2 hari dapat mengindikasikan terdapat penyumbatan lapisan bawah dan harus ditindaklanjuti dengan tindakan pemeliharaan yang layak.

Pemeliharaan tanaman dan media tanam (tanah) adalah salah satu kunci utama sistem NBS. Hal ini termasuk kegiatan seperti penyiraman vegetasi hingga tanaman tumbuh dengan baik apabila terjadi kekeringan. Pemotongan rumput atau pembabatan vegetasi guna menjaga tinggi optimalnya pun penting untuk dilakukan. Pencegahan vegetasi yang tidak terkontrol dan liar pun penting karena hal ini dapat mengganggu kemampuan pengelolaan air hujan. Selain itu, pembuangan dan pengelolaan gulma invasif serta pembuangan tanaman yang sudah mati pun penting untuk dilakukan. Karena pengelolaan tanaman tidak memerlukan keahlian teknis, hal ini merupakan kegiatan yang cocok bagi masyarakat.

Potensi bahaya keamanan dan keselamatan publik harus diminimalkan dengan memeriksa apakah upaya keamanan yang layak telah diterapkan dan beroperasi, misalnya rambu-rambu peringatan dan pagar pengaman. Selain itu, kegiatan yang dapat

meningkatkan kesadaran masyarakat pun dapat dilakukan untuk menginformasikan masyarakat mengenai isu terkait.

Karena NBS secara umum berada di atas permukaan dan dapat diakses publik dengan mudah, dukungan dari tokoh masyarakat dapat membantu untuk memastikan keberlanjutan pengoperasiannya. Hal ini berlaku terutama untuk rancangan NBS di tingkat masyarakat. Maka, kegiatan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat harus rutin dilakukan guna memastikan bahwa pengetahuan operasionalisasi tersosialisasikan dengan baik kepada masyarakat.

Secara ringkas Operasi dan Pemeliharaan prasarana pengendalian banjir mencakup:

- 1) Operasi rutin yang dilakukan setiap hari, seperti operasi buka tutup pintu air, dan pengamatan fungsi fasilitas pengendalian banjir;
- 2) Operasi berkala saat kondisi banjir berupa pengamatan, operasi pintu air dan operasi pompa air;
- 3) Pemeliharaan rutin yang dilakukan setiap hari, berupa pembersihan sampah, rumput, fasilitas hidromekanikal (pintu air), dan pompa air, serta fasilitas lainnya;
- 4) Pemeliharaan berkala berupa perbaikan ringan terhadap kerusakan;
- 5) Pemeliharaan besar berupa perbaikan dan revitalisasi; dan
- 6) Perbaikan atas kerusakan akibat bencana alam.

Secara spesifik dalam kegiatan perencanaan konstruksi pengendalian banjir NBS harus dilengkapi dengan Manual Operasi dan Pemeliharaan yang sesuai dengan infrastruktur yang dibangun lengkap dengan rencana anggaran biaya OP (Angka Kebutuhan Nyata Operasi dan Pemeliharaan/AKNOP).

b. Operasi dan Pemeliharaan Infrastruktur NBS

1) Bioretensi

Bioretensi, sering juga disebut *rain garden*, adalah salah satu infrastruktur NBS yang berfungsi seperti taman penyaring air hujan. Sistem ini meniru proses alamiah untuk mengelola limpasan air hujan dari atap, jalan, atau area kedap air lainnya. Tujuannya adalah untuk menampung, menyaring, dan meresapkan air hujan, sehingga mengurangi volume banjir, menurunkan kecepatan aliran, dan menghilangkan polutan secara alami.

Tujuan OP bioretensi adalah menjaga agar sistem ini tetap dapat berfungsi secara hidrologis dan biologis, yaitu mampu menyaring air dengan baik dan tanaman di dalamnya tetap sehat.

Operasi

Operasi sistem bioretensi bersifat pasif dan digerakkan oleh gravitasi. Tidak ada komponen mekanis yang perlu dioperasikan secara rutin. "Operasi"-nya adalah serangkaian proses alamiah yang terjadi saat hujan:

- a) Penampungan: Air hujan masuk ke area bioretensi dan menggenang sementara di permukaan (biasanya setinggi 15-30 cm).

- b) Filtrasi: Air kemudian secara perlahan meresap ke bawah, melewati lapisan mulsa, media tanah khusus, dan lapisan pasir. Selama proses ini, polutan seperti sedimen, logam berat, dan nutrisi tersaring dan terperangkap.
- c) Infiltrasi & Pelepasan: Sebagian besar air akan meresap ke dalam tanah di bawahnya (*infiltrasi*), mengisi kembali air tanah. Jika tanah dasarnya tidak cukup permeabel atau volume air sangat besar, kelebihan air akan dikumpulkan oleh pipa bawah (*underdrain*) dan dialirkan secara perlahan ke sistem drainase utama.
- d) Evapotranspirasi: Tanaman yang ada di dalamnya menyerap air dan melepaskannya ke atmosfer melalui daun.

Pemeliharaan

Pemeliharaan adalah aspek penting untuk menjamin keberlanjutan fungsi bioretensi. Tanpa pemeliharaan yang benar, sistem ini dapat tersumbat dan gagal dalam beberapa tahun saja. Berikut rinciannya berdasarkan frekuensi dan komponen.

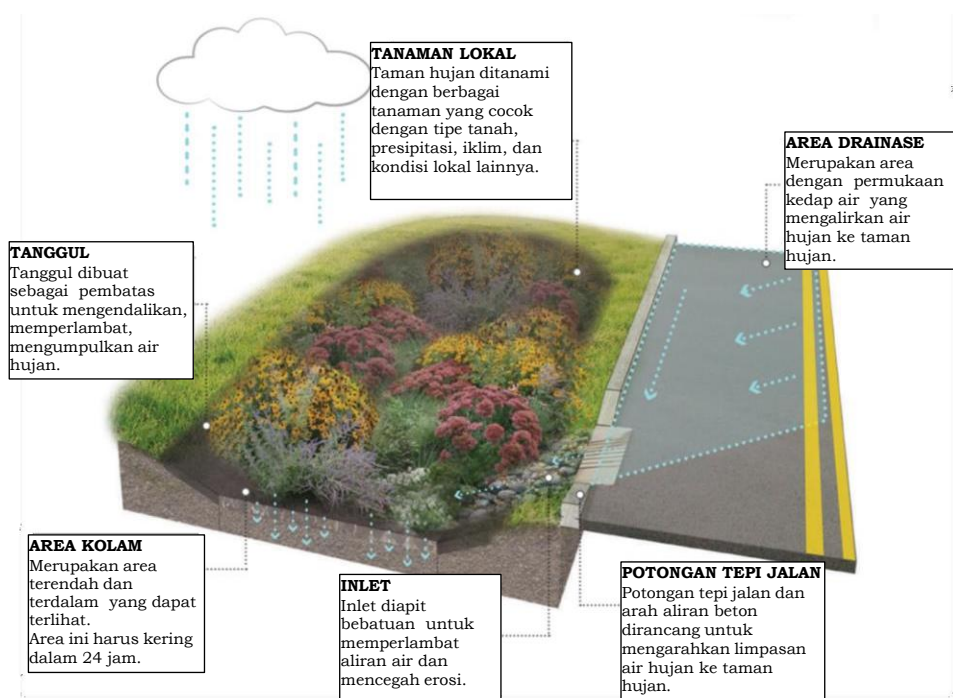
- a) Pemeliharaan Rutin (Bulanan & Setelah Hujan Lebat)
Ini adalah aktivitas ringan yang paling sering dilakukan untuk mencegah masalah besar.
 - i. Inspeksi Visual dan Pembersihan Sampah: Periksa seluruh area dan bersihkan sampah, daun, atau puing-puing yang terbawa air hujan. Sampah ini dapat menyumbat permukaan dan menghambat infiltrasi.
 - ii. Penyiangan Gulma: Cabut gulma atau tanaman liar secara manual. Gulma dapat bersaing dengan tanaman bioretensi dalam menyerap air dan nutrisi, serta mengurangi estetika.
 - iii. Pemeriksaan Saluran Masuk & Keluar: Pastikan tidak ada erosi di saluran masuk (*inlet*) dan tidak ada sampah yang menyumbat saluran pelimpah (*overflow*).
 - iv. Penyiraman (Pada Awal Penanaman): Tanaman baru memerlukan penyiraman rutin selama 2-3 bulan pertama hingga akarnya kuat dan mapan.
- b) Pemeliharaan Berkala (Tahunan atau Dua Kali Setahun)
Aktivitas ini lebih mendalam dan bertujuan untuk merevitalisasi sistem.
 - i. Perawatan Mulsa:
 - i) Periksa Ketebalan: Lapisan mulsa organik (cacahan kayu, kompos) akan terurai seiring waktu. Pastikan ketebalannya tetap sekitar 5-7 cm.
 - ii) Penambahan Mulsa: Tambahkan lapisan mulsa baru setiap satu atau dua tahun sekali untuk menjaga kelembapan tanah, menekan pertumbuhan gulma, dan menyediakan nutrisi.
 - iii) Penggemburan: Jika mulsa terlihat padat atau tersumbat oleh sedimen halus, gemburkan permukaannya dengan garu secara hati-hati.

- ii. Perawatan Tanaman:
 - i) Pemangkasan: Pangkas tanaman yang mati, sakit, atau tumbuh terlalu lebat untuk merangsang pertumbuhan baru dan menjaga sirkulasi udara.
 - ii) Penggantian Tanaman: Ganti tanaman yang mati. Tingkat kematian 5-10% per tahun adalah wajar. Pilih tanaman asli (*native species*) yang tahan terhadap kondisi basah dan kering.
 - iii. Uji Infiltrasi Sederhana: Setelah beberapa tahun, lakukan tes sederhana. Siram area tersebut dengan air dan amati. Jika air masih menggenang lebih dari 48 jam setelah hujan, ini adalah indikasi awal penyumbatan.
- c. Pemeliharaan Jangka Panjang (Setiap 3-10 Tahun Sesuai Kebutuhan)
Ini adalah intervensi besar yang dilakukan ketika fungsi sistem menurun secara signifikan.
 - i. Pengangkatan Sedimen: Jika sedimen dari area sekitar terakumulasi tebal di permukaan, lapisan atas mulsa dan media tanah mungkin perlu diangkat dan diganti. Ini adalah tanda bahwa sistem *pretreatment* (seperti *filter strip* rumput) di area hulu tidak berfungsi baik.
 - ii. Penggantian Total Media Tanah: Ini adalah skenario terburuk, yang terjadi jika seluruh lapisan media filter tersumbat parah oleh sedimen halus (lumpur). Seluruh media tanah harus digali dan diganti dengan yang baru. Ini sangat mahal dan biasanya dapat dihindari dengan pemeliharaan rutin yang baik.
 - iii. Pemeriksaan Pipa Bawah (*Underdrain*): Jika dilengkapi *underdrain*, periksa melalui lubang inspeksi (*cleanout*) untuk memastikan tidak ada penyumbatan oleh akar atau sedimen.

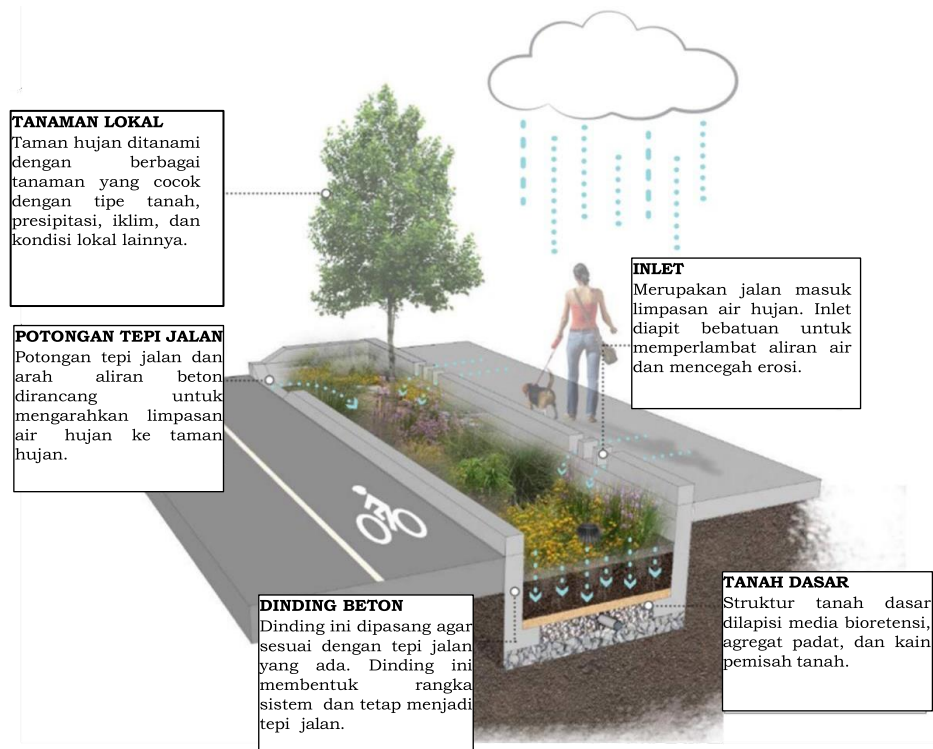
Masalah Umum dan Solusinya

Tabel 6-1. Masalah Umum dan Solusinya

Masalah	Penyebab	Solusi
Genangan Air > 48 jam	Permukaan tersumbat sedimen, media tanah padat.	Gemburkan/ganti lapisan mulsa, lakukan aerasi, atau dalam kasus parah ganti media tanah.
Erosi di Saluran Masuk	Kecepatan aliran air terlalu tinggi.	Tambahkan bebatuan (<i>riprap</i>) atau tanam vegetasi yang lebih padat untuk memecah energi air.
Tanaman Mati/Kerdil	Spesies tidak cocok, terlalu kering/basah, hama.	Ganti dengan spesies tanaman asli yang lebih sesuai, perbaiki drainase, periksa kebutuhan air.
Pertumbuhan Gulma Masif	Lapisan mulsa terlalu tipis, sumber benih dari sekitar.	Lakukan penyiangan rutin, tebalkan lapisan mulsa hingga 7 cm



Gambar 6-1: Visualisasi komponen area bioretensi tanpa drainase bawah tanah



Gambar 6-2: Visualisasi berbagai komponen tanaman penyerap air hujan dengan drainase bawah tanah

2) Kolam Detensi/ Kolam Retensi

a) Kolam Detensi (*Dry Pond*)

Kolam Detensi (disebut juga *dry pond*) dirancang untuk kering. Kolam ini hanya terisi air selama dan sesaat setelah hujan, lalu air akan keluar secara perlahan hingga kolam kembali kosong.

Fokus utama O&M pada kolam detensi adalah untuk memastikan kapasitas tampungan selalu tersedia, saluran masuk-keluar tidak tersumbat, dan kolam dapat kering dengan cepat setelah hujan.

Operasi

Operasi kolam detensi bersifat pasif dan otomatis. Tidak ada gerbang atau pompa yang perlu dioperasikan secara manual. Sistem ini bekerja sepenuhnya berdasarkan gravitasi dan desain hidraulik. Air masuk melalui *inlet*, tertampung, dan keluar secara perlahan melalui *outlet* yang telah dirancang dengan diameter tertentu. "Operasi" sehari-hari lebih merupakan pemantauan untuk memastikan sistem pasif ini berfungsi sebagaimana mestinya.

Pemeliharaan

- Pemeliharaan Rutin (dilakukan bulanan atau setelah hujan lebat)
- Inspeksi *Inlet* dan *Outlet* : Periksa dan bersihkan segala jenis sampah, daun, ranting, atau sedimen yang dapat menyumbat lubang *outlet* atau saluran masuk. Sumbatan pada *outlet* adalah kegagalan paling umum dan berbahaya, karena dapat mengubah kolam detensi menjadi bendungan tak terkendali.

- iii. Pembabatan Rumput dan Vegetasi : Jaga agar rumput di dasar dan dinding kolam tidak terlalu tinggi. Rumput yang terawat mencegah erosi, memudahkan inspeksi visual, dan mencegah tumbuhnya gulma atau semak liar yang dapat merusak struktur.
- iv. Pembersihan Sampah : Angkat semua sampah anorganik (plastik, botol, dll) dari seluruh area kolam.
- v. Pemeriksaan Genangan : Setelah 24-48 jam hujan reda, pastikan tidak ada genangan air yang tersisa. Adanya genangan menandakan masalah drainase di dasar kolam atau *outlet* yang tersumbat sebagian.
- vi. Pemeliharaan Berkala (dilakukan tahunan)
 - i) Inspeksi Erosi: Periksa seluruh area kolam, terutama di sekitar *inlet* (tempat air masuk dengan energi tinggi) dan *outlet*, untuk tanda-tanda erosi atau penggerusan tanah. Segera lakukan perbaikan jika ditemukan.
 - ii) Inspeksi Struktur Fisik: Periksa kondisi struktur beton, pasangan batu (*riprap*), atau perkerasan lainnya. Cari retakan, pergeseran, atau kerusakan yang perlu diperbaiki.
 - iii) Kontrol Gulma dan Hama: Lakukan pemberantasan gulma atau tanaman invasif yang mungkin tumbuh. Periksa juga lubang-lubang binatang yang dapat merusak tanggul.
- vii. Pemeliharaan Jangka Panjang (dilakukan setiap 5-15 tahun sesuai kebutuhan)

Pengerukan Sedimen : Ini adalah pekerjaan pemeliharaan terbesar. Seiring waktu, sedimen akan terakumulasi di dasar kolam, yang secara bertahap mengurangi volume tampungan efektifnya. Pengerukan wajib dilakukan ketika akumulasi sedimen sudah signifikan (misalnya sudah mengurangi 15-25% dari volume desain). Akses pemeliharaan (*maintenance ramp*) yang baik sangat penting untuk pekerjaan ini.
- b) Kolam Retensi (*Wet Pond*)

Kolam Retensi (disebut juga *wet pond*) dirancang untuk memiliki air secara permanen, seperti danau kecil buatan. Kolam ini memiliki volume tampungan permanen (*permanent pool*) dan volume tambahan untuk menampung air hujan. Fokus utama O&M pada kolam retensi lebih kompleks karena tidak hanya mengelola air, tetapi juga mengelola ekosistem perairan. Tujuannya adalah memastikan kualitas air terjaga, kapasitas pengendalian banjir berfungsi, dan estetika lingkungan terpelihara.

Operasi

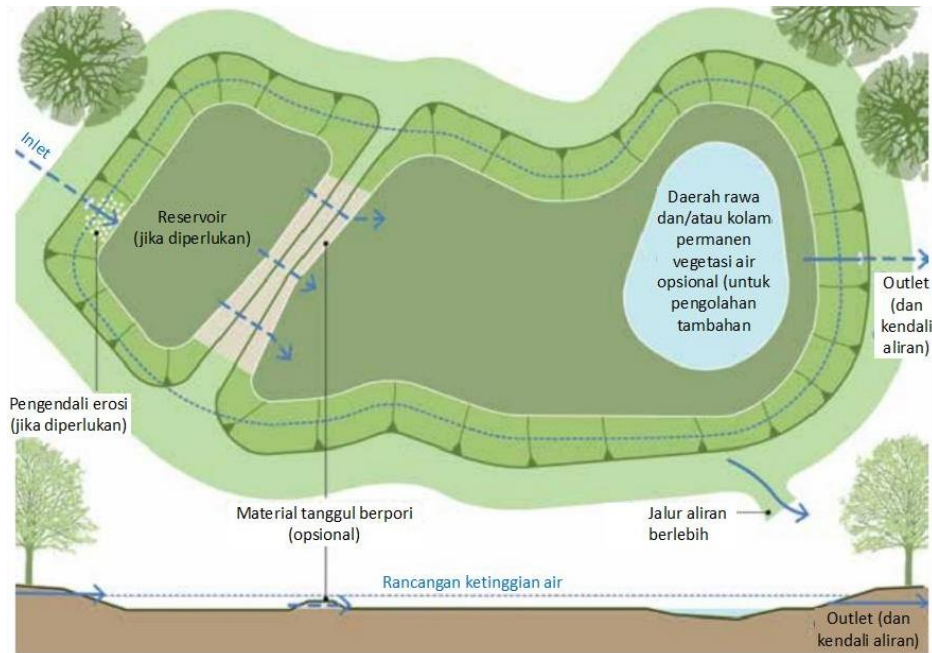
Sama seperti kolam detensi, operasinya sebagian besar bersifat pasif. Namun, "operasi" di sini juga mencakup proses biologis dan kimia alami yang terjadi di dalam kolam untuk menghilangkan polutan. Keseimbangan ekosistem (kadar

oksigen, pertumbuhan alga, kehidupan ikan) adalah bagian dari "operasi" kolam ini.

Pemeliharaan

Pemeliharaan kolam retensi melibatkan aspek teknik sipil dan lingkungan.

- i. Pemeliharaan Rutin (dilakukan bulanan)
 - i) Inspeksi *Inlet* dan *Outlet* : Sama pentingnya dengan kolam detensi, pastikan tidak ada sumbatan sampah.
 - ii) Pembersihan Sampah Terapung : Angkat sampah yang mengapung di permukaan air untuk menjaga estetika dan mencegah pencemaran lebih lanjut.
 - iii) Manajemen Vegetasi Tepi: Pangkas rumput dan tanaman di sekitar tepi kolam. Kontrol pertumbuhan tanaman air (*aquatic plants*) yang berlebihan agar tidak menutupi seluruh permukaan air, yang dapat mengurangi kadar oksigen.
 - iv) Pemantauan Kualitas Air: Amati tanda-tanda masalah seperti pertumbuhan alga (*algae bloom*) yang eksplosif, bau tidak sedap, atau ikan mati. Ini bisa menandakan beban polutan yang berlebihan.
- ii. Pemeliharaan Berkala (dilakukan tahunan)
 - i) Inspeksi Erosi Tepi Kolam: Garis air yang konstan dapat menyebabkan erosi pada tepi kolam. Lakukan perbaikan jika diperlukan.
 - ii) Inspeksi Struktur Fisik: Periksa semua struktur keras seperti pada kolam detensi.
 - iii) Manajemen Vegetasi Akuatik: Lakukan penjarangan tanaman air secara selektif untuk menjaga keseimbangan ekosistem.
 - iv) Pengukuran Akumulasi Sedimen: Lakukan pengukuran kedalaman sedimen di dasar kolam untuk merencanakan jadwal pengerukan.
- iii. Pemeliharaan Jangka Panjang (dilakukan setiap 10-25 tahun sesuai kebutuhan)
 - i) Pengerukan Sedimen : Ini adalah pekerjaan yang jauh lebih kompleks dan mahal dibandingkan kolam detensi. Prosesnya melibatkan pengeringan kolam terlebih dahulu, pemindahan sementara biota air (ikan, kura-kura), pengerukan sedimen basah, dan pengeringan sedimen sebelum dibuang. Sedimen dari kolam retensi juga berpotensi lebih terkontaminasi oleh logam berat dan polutan lainnya.



Gambar 6- 3: Visualisasi kolam detensi bervegetasi

3) Sungai, Bantaran Banjir dan Saluran Drainasi

a) Sungai

Sungai adalah badan air alami yang menjadi saluran utama untuk mengalirkan air dari daratan ke laut. OP pada sungai bertujuan untuk menjaga kapasitas alirannya, menstabilkan tebingnya, dan melestarikan fungsi ekologisnya.

Operasi

Operasi sungai lebih bersifat manajemen dan pemantauan daripada tindakan mekanis.

- i. Pemantauan Debit dan Muka Air: Dilakukan secara kontinu melalui pos duga air manual atau stasiun telemetri otomatis (seperti AWLR - *Automatic Water Level Recorder*). Data ini krusial untuk peringatan dini banjir dan alokasi air.
- ii. Pemantauan Kualitas Air: Pengambilan sampel air secara berkala untuk mengukur tingkat polusi dan memastikan air aman untuk peruntukannya (air baku, irigasi, dll.).
- iii. Pengoperasian Bangunan Air: Jika terdapat bangunan air seperti bendung, pintu air, atau bendungan di sepanjang sungai, operasinya harus diatur sesuai prosedur standar (SOP) untuk mengendalikan aliran, terutama saat musim hujan dan kemarau.
- iv. Manajemen Alokasi Air: Mengatur pembagian air untuk berbagai kebutuhan seperti irigasi, industri, dan air minum, terutama saat debit sungai menurun di musim kemarau.

Pemeliharaan

Pemeliharaan sungai bersifat jangka panjang dan seringkali memerlukan sumber daya yang besar.

- i. Rutin/Berkala (Tahunan):
 - i) Patroli dan Inspeksi: Menyusuri alur sungai untuk mengidentifikasi titik-titik rawan erosi, penumpukan sampah, bangunan liar, dan pendangkalan.
 - ii) Pembersihan Sampah dan Tumbuhan Liar: Mengangkat sampah, terutama yang tersangkut di pilar jembatan, serta membersihkan tanaman eceng gondok yang dapat menghambat aliran secara masif.

- ii. Jangka Panjang/Proyek Khusus (Multi-tahun):
 - i) Pengerukan Sedimen (Normalisasi): Mengembalikan kapasitas sungai yang telah mendangkal akibat sedimentasi. Ini adalah pekerjaan berat yang menggunakan kapal keruk atau ekskavator.
 - ii) Perkuatan Tebing: Membangun atau memperbaiki struktur pelindung tebing seperti dinding penahan tanah, bronjong (gabion), atau menggunakan metode bio-engineering (misalnya penanaman vetiver) untuk mencegah longsor.
 - iii) Restorasi Sungai: Upaya mengembalikan kondisi sungai ke keadaan yang lebih alami untuk meningkatkan fungsi ekologis dan kapasitas retensi airnya, misalnya dengan membuat kembali kelokan-kelokan sungai (*meandering*).
- b) Bantaran Banjir (*Floodplain*)

Bantaran banjir adalah dataran rendah di kiri dan kanan sungai yang secara alami disediakan oleh alam untuk digenangi air saat debit sungai meluap. Fungsi utamanya adalah sebagai "kantong air" atau area parkir air raksasa untuk menampung debit puncak banjir.

Operasi

Operasi bantaran banjir bersifat pasif dan fokus pada kebijakan.

 - i. Pengendalian Tata Guna Lahan: Ini adalah "operasi" terpenting. Pemerintah harus menetapkan zona bantaran banjir sebagai area larangan untuk bangunan vital dan permukiman padat. Idealnya, area ini dimanfaatkan untuk ruang terbuka hijau, pertanian, atau fasilitas rekreasi yang "tahan banjir".
 - ii. Edukasi Publik: Mensosialisasikan kepada masyarakat tentang fungsi bantaran banjir dan risiko membangun di dalamnya.

Pemeliharaan

Pemeliharaan bantaran banjir bertujuan untuk memastikan tidak ada hambatan yang dapat mengurangi kapasitas tampungnya.

 - i. Rutin/Berkala (Bulanan-Tahunan):
 - i) Patroli dan Pengawasan: Memastikan tidak ada aktivitas ilegal seperti pendirian bangunan baru, penimbunan tanah, atau pembuangan sampah skala besar.
 - ii) Pembersihan Hambatan: Membersihkan area dari sampah atau struktur non-permanen yang dapat menghalangi aliran air saat banjir.
 - ii. Insidental/Penegakan Hukum:

Penertiban Bangunan Liar: Bekerja sama dengan pemerintah daerah untuk membongkar bangunan ilegal yang mengurangi kapasitas tampung bantaran banjir. Ini adalah aspek pemeliharaan yang paling menantang.
- c) Saluran Drainasi

Saluran drainasi adalah jaringan kanal buatan (got, parit, saluran primer/sekunder) yang berfungsi mengumpulkan dan mengalirkan air hujan dari area permukiman, perkantoran, dan jalan raya menuju sungai. OP pada saluran drainasi bertujuan menjamin kelancaran aliran tanpa sumbatan.

Operasi

Umumnya bersifat pasif (mengandalkan gravitasi), namun di beberapa lokasi bisa bersifat aktif dengan pompa air.

- i. Operasi Pintu Air: Di saluran yang terhubung dengan sungai, pintu air dioperasikan (ditutup) saat muka air sungai tinggi untuk mencegah aliran balik (*backwater*) yang dapat menyebabkan banjir di area permukiman.
- ii. Operasi Rumah Pompa: Di kawasan yang lebih rendah dari muka air sungai atau laut (sistem polder), pompa dioperasikan untuk membuang air dari saluran drainasi ke sungai saat gravitasi tidak memungkinkan.

Pemeliharaan

Pemeliharaan saluran drainasi memerlukan intensitas dan frekuensi yang paling tinggi karena sangat rentan terhadap sampah dan sedimen.

- i. Rutin (Mingguan/Bulanan):
 - i) Pembersihan Sampah: Aktivitas paling fundamental. Petugas kebersihan secara rutin mengangkat sampah rumah tangga (terutama plastik) yang menyumbat aliran dan saringan sampah.
 - ii) Pembabatan Rumput Liar: Membersihkan rumput dan tanaman liar di dinding dan dasar saluran yang dapat memperlambat aliran dan mempercepat pendangkalan.
- ii. Berkala (6 Bulan - Tahunan):
 - i) Pengerukan Sedimen: Mengangkat endapan lumpur dari dasar saluran. Di saluran kecil dilakukan secara manual, sementara di saluran besar menggunakan ekskavator.
 - ii) Perbaikan Struktur: Memperbaiki kerusakan minor pada dinding saluran, seperti retakan atau lubang, untuk mencegah kebocoran atau keruntuhan.
- iii. Insidentil/Darurat:
 - i) Penanganan Sumbatan Berat: Mengatasi sumbatan total akibat longoran kecil, pohon tumbang, atau penumpukan sampah masif setelah hujan lebat.
 - ii) Perbaikan Darurat: Memperbaiki dinding atau tanggul saluran yang jebol secara tiba-tiba.

G. Peran Masyarakat Dalam Penerapan NBS

Keberhasilan jangka panjang NBS bergantung pada keterlibatan dan komitmen masyarakat. Jika masyarakat tidak terlibat atau tidak sepenuhnya menghargai nilai ekosistem yang dipulihkan atau infrastruktur hijau, akan ada risiko pengabaian atau degradasi. Sangat penting untuk melibatkan semua kelompok sosial sejak tahap perencanaan, berlanjut pada tahap konstruksi/implementasi melalui pertemuan yang menjelaskan tujuan dan manfaat proyek secara jelas, hingga tahap pemeliharaan. Konsultasi dengan masyarakat setempat juga penting untuk mengidentifikasi pandangan dan nilai-nilai setempat serta memahami kebutuhan setempat. Selain itu, panduan praktis dan pelatihan tentang cara menggunakan dan melindungi ruang hijau utama harus disosialisasikan.

Penting untuk memastikan bahwa perwakilan pelaksana pekerjaan mendengarkan dan menanggapi berbagai masalah masyarakat. Dengan meluangkan waktu untuk melakukannya, dukungan masyarakat dapat diperkuat. Selain itu, komitmen masyarakat dapat ditingkatkan terutama jika lapangan kerja dapat tercipta melalui inisiatif ini.

Pendekatan strategis untuk meningkatkan keterlibatan masyarakat dalam pemilihan proyek percontohan di satu atau beberapa lokasi yang memiliki visibilitas tinggi. Keberhasilan yang terbukti di daerah padat penduduk dapat membantu mendapatkan dukungan publik dan mendorong penerapan praktik ramah lingkungan yang lebih luas.

Mengembangkan tenaga kerja yang ramah lingkungan (*green jobs workforce*)

dapat memberikan manfaat bagi lingkungan dan masyarakat setempat. Ketika infrastruktur ramah lingkungan diterapkan di area publik/taman, peluang kerja muncul bagi individu untuk memeliharanya. Dinas pertamanan atau dinas pemerintah kota terkait dapat berkolaborasi dengan komunitas setempat untuk membuka peluang kerja terhadap masyarakat yang kurang mampu. Pendekatan ini tidak hanya memungkinkan kaum muda untuk secara aktif berkontribusi pada peningkatan komunitas mereka, tetapi juga mendukung pengembangan tenaga kerja melalui pelatihan keterampilan dan pengalaman kerja praktis. Selain itu, pendekatan ini membantu menumbuhkan komunitas yang lebih peduli terhadap lingkungan, serta menumbuhkan rasa kepemilikan terhadap infrastruktur terbangun tersebut.

Pemeliharaan infrastruktur hijau sangat cocok untuk pelatihan tenaga kerja, karena sering kali tidak memerlukan keterampilan tingkat lanjut. Pekerjaan ini dapat diisi oleh kaum muda dan pekerja musiman/paruh waktu. Pekerjaan hijau memberikan peluang dari posisi tingkat pemula, seperti pemeliharaan lanskap, hingga peran yang lebih terspesialisasi, seperti memasang beton berpori dan taman hujan. Program pelatihan dapat membantu pekerja mengembangkan keterampilan yang dibutuhkan untuk memastikan bahwa infrastruktur hijau berfungsi secara efektif.

Melibatkan masyarakat setempat diperlukan untuk mendapatkan manfaat bersama secara penuh dan menjaga keberlanjutan program pengendalian banjir, baik NBS maupun solusi abu-abu konvensional. Ini dapat mencakup peningkatan kapasitas dalam penerapan NBS tertentu serta pemantauan dan pengukuran hasil. Keterlibatan masyarakat adalah untuk memastikan perencanaan, penerapan, dan keberlanjutan tindakan. Ini merupakan aspek penting dari pedoman NBS nasional yang sejalan dengan Program Manajemen Risiko Banjir Nasional.

Penduduk setempat harus dilibatkan dalam implementasi proyek pengendalian banjir. Keterlibatan harus dilakukan sejak awal dalam proses perencanaan untuk memastikan kelayakan dan penerimaan masyarakat.

Meningkatkan Partisipasi Masyarakat - Mendorong keterlibatan masyarakat dalam manajemen risiko banjir melalui pendekatan berbasis masyarakat dan inklusif untuk meningkatkan kesadaran dan kesiapsiagaan bencana. NBS perlu diintegrasikan ke dalam strategi kunci ini dan dapat mempertimbangkan forum Musrenbang RKPD untuk musyawarah antar pemangku kepentingan guna membahas dan menyepakati langkah penanganan program kegiatan prioritas yang tercantum dalam daftar usulan rencana kegiatan pembangunan desa/kelurahan yang terintegrasi dengan prioritas pembangunan kabupaten/kota di wilayah kecamatan.

Peningkatan kapasitas tenaga ahli setempat merupakan komponen penting dari Strategi Nasional Penanggulangan Risiko Banjir dengan strategi kunci berikut:

Peningkatan Kapasitas Operasional dan Pemeliharaan: Memastikan keberlanjutan manfaat infrastruktur pengendalian banjir melalui peningkatan kapasitas sumber daya manusia, prosedur operasional, kolaborasi antar pemangku kepentingan, dan optimalisasi pendanaan.

Penguatan Kapasitas Kelembagaan: Peningkatan kolaborasi antar lembaga, pengembangan prosedur perencanaan lintas sektor, dan pembangunan tata kelola pengetahuan.

Peningkatan Kapasitas Pendanaan: Pengembangan mekanisme pendanaan yang inovatif dan terpadu, serta peningkatan kualitas kelayakan investasi.

Sebaliknya, masyarakat setempat memiliki peran dan tanggung jawab yang berbeda saat melaksanakan NBS untuk penanggulangan risiko banjir. Kapasitas masyarakat setempat harus dibangun sesuai dengan peran dan tanggung jawab berikut, misalnya:

1. Perencanaan dan Pengambilan Keputusan Partisipatif: Memperkuat proses perencanaan dan pengambilan keputusan yang mendukung penerapan NBS.
2. Implementasi dan Pemeliharaan: Melibatkan masyarakat implementasi dan pemeliharaan proyek pengendalian banjir berbasis NBS, seperti penanaman pohon, pemulihan lahan basah, dan pemeliharaan infrastruktur hijau.
3. Pemantauan: Sedapat mungkin masyarakat dilibatkan dalam pemantauan dan evaluasi program pengendalian banjir untuk membantu menilai efektivitas proyek NBS serta manfaatnya. Ini membantu memastikan keberlanjutan proyek.
4. Pendidikan dan Advokasi: Masyarakat/pemerhati lingkungan dapat membantu terlibat dalam kegiatan pendidikan untuk meningkatkan kesadaran tentang manfaat NBS dalam pengelolaan risiko banjir. Kesadaran dan pendidikan publik sangat penting untuk pengelolaan risiko banjir yang efektif. Keduanya memengaruhi cara masyarakat menafsirkan dan mematuhi peraturan.

DIREKTUR JENDERAL SUMBER DAYA AIR,



Dwi Purwantoro
NIP. 197409092001121002