

BAB 2

STUDI PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Pengendalian banjir merupakan bagian dari pengelolaan sumber daya air yang lebih spesifik untuk mengendalikan debit banjir umumnya melalui dam - dam pengendali banjir, atau peningkatan sistem pembawa (sungai, drainase) dan pencegahan hal yang berpotensi merusak dengan cara mengelola tata guna lahan dan daerah banjir (*flood plains*). (*Robert J. Kodoatie, "PSDA Terpadu"*)

Berbagai bentuk penanganan telah dilakukan tetapi sifatnya masih setengah-setengah dan tidak maksimal sehingga tidak teratasi dengan tuntas. Untuk itu diperlukan penanganan yang komprehensif dengan melibatkan semua pihak terkait. Implementasi perencanaan pengendalian banjir ini antara lain dengan normalisasi sungai dan kolam penampungan serta stasiun pompa.

Perencanaan pengendalian banjir ini diutamakan untuk mengoptimalkan kapasitas saluran dan meminimalkan debit yang mengalir melalui sungai dan saluran sehingga air sungai tidak meluap di titik-titik yang rawan banjir dan debit yang keluar dilaut diharapkan tidak mengalami perubahan yang drastis.

2.2. Penyebab, Pengendalian dan Penanggulangan Banjir

2.2.1. Definisi Banjir

Banjir adalah suatu kondisi dimana tidak tertampungnya air dalam saluran pembuang (kali) atau terhambatnya aliran air di dalam saluran pembuang. (*Suripin, "Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan"*). Banjir merupakan peristiwa alam yang dapat menimbulkan kerugian harta benda penduduk serta dapat pula menimbulkan korban jiwa. Dikatakan banjir apabila terjadi luapan atau jebolannya air banjir, disebabkan oleh kurangnya kapasitas penampang saluran pembuang. Banjir di bagian hulu biasanya arus banjirnya deras, daya gerusnya besar, tetapi durasinya pendek. Sedangkan di bagian hilir arusnyanya tidak deras (karena landai), tetapi durasi banjirnya panjang.

Beberapa karakteristik yang berkaitan dengan banjir, diantaranya :

- Banjir dapat datang secara tiba – tiba dengan intensitas besar namun dapat langsung mengalir.
- Banjir datang secara perlahan namun dapat menjadi genangan yang lama (berhari - hari atau bahkan berminggu – minggu) di daerah depresi.
- Banjir datang secara perlahan namun intensitas hujannya sedikit.
- Pola banjirnya musiman.
- Akibat yang ditimbulkan adalah terjadinya genangan, erosi dan sedimentasi. Sedangkan akibat lainnya terisolasinya daerah pemukiman dan diperlukan evakuasi penduduk.

2.2.2. Penyebab Banjir

Banjir dan genangan yang terjadi di suatu lokasi diakibatkan antara lain oleh sebab-sebab berikut ini :

- Perubahan tata guna lahan (*land use*) di daerah aliran sungai (DAS)
- Pembuangan sampah
- Erosi dan sedimentasi
- Kawasan kumuh di sepanjang sungai / drainase
- Perencanaan sistem pengendalian banjir tidak tepat
- Curah hujan
- Pengaruh fisiografi / geofisik sungai
- Kapasitas sungai dan drainase yang tidak memadai
- Pengaruh air pasang
- Penurunan tanah dan *rob* (genangan akibat pasang air laut)
- Drainase lahan
- Bendung dan bangunan air
- Kerusakan bangunan pengendali banjir

Bilamana diklasifikasikan oleh tindakan manusia dan yang disebabkan oleh alam maka penyebab di atas dapat disusun sebagai berikut. Yang termasuk sebab - sebab banjir karena tindakan manusia adalah:

- Perubahan tata guna lahan (*land use*)
- Pembuangan sampah
- Kawasan kumuh di sepanjang sungai / drainase
- Perencanaan sistem pengendalian banjir tidak tepat
- Penurunan tanah dan *rob*
- Tidak berfungsinya sistem drainase lahan
- Bendung dan bangunan air
- Kerusakan bangunan pengendali banjir
- Erosi dan sedimentasi

Yang termasuk sebab - sebab alami diantaranya adalah:

- Erosi dan sedimentasi
- Curah hujan
- Pengaruh fisiografi / geofisik sungai
- Kapasitas sungai dan drainase yang tidak memadai
- Pengaruh air pasang
- Penurunan tanah dan *rob*
- Drainase lahan

Tabel 2.1 Penyebab Banjir dan Prioritasnya

No.	Penyebab Banjir	Alasan Mengapa Prioritas	Penyebab oleh Alam atau aktifitas manusia
1.	Perubahan tata guna lahan	Debit Puncak naik dari 5 sampai 35 kali karena di DAS tidak ada yang menahan maka aliran air permukaan (<i>run off</i>) menjadi besar, sehingga berakibat debit di sungai menjadi besar dan terjadi erosi lahan yang berakibat sedimentasi di sungai sehingga kapasitas sungai menjadi turun	Manusia

2.	Sampah	Sungai atau drainase tersumbat dan jika air melimpah keluar karena daya tampung saluran berkurang	Manusia
3.	Erosi dan Sedimentasi	Akibat perubahan tata guna lahan, terjadi erosi yang berakibat sedimentasi masuk ke sungai sehingga daya tampung sungai berkurang. Penutup lahan vegetatif yang rapat (misal semak-semak, rumput) merupakan penahan laju erosi paling tinggi	Manusia dan alam
4.	Kawasan kumuh di sepanjang sungai/ drainase	Dapat merupakan penghambat aliran, maupun daya tampung sungai. Masalah kawasan kumuh dikenal sebagai faktor penting terhadap masalah banjir daerah perkotaan.	Manusia
5.	Perencanaan sistem pengendalian banjir tidak tepat	Sistem pengendalian banjir memang dapat mengurangi kerusakan akibat banjir kecil sampai sedang, tapi mungkin dapat menambah kerusakan selama banjir yang besar. Misal: bangunan tanggul sungai yang tinggi. Limpasan pada tanggul waktu banjir melebihi banjir rencana menyebabkan keruntuhan tanggul, kecepatan air sangat besar yang melalui bobolnya tanggul sehingga menimbulkan banjir yang besar.	Manusia
6.	Curah hujan	Pada musim penghujan, curah hujan yang tinggi akan mengakibatkan banjir di sungai dan bila melebihi tebing sungai maka akan timbul banjir atau genangan termasuk bobolnya tanggul.	Alam

7.	Pengaruh Fisiografi	Fisiografi atau geografi fisik sungai seperti bentuk, fungsi dan kemiringan Daerah Aliran Sungai (DAS), kemiringan sungai, geometrik hidrolik (bentuk penampang seperti lebar, kedalaman, potongan memanjang, material dasar sungai), lokasi sungai dll.	Alam dan manusia
8.	Kapasitas sungai	Pengurangan kapasitas aliran banjir pada sungai dapat disebabkan oleh pengendapan berasal dari erosi DAS dan erosi tanggul sungai yang berlebihan dan sedimentasi di sungai itu karena tidak adanya vegetasi penutup dan adanya penggunaan lahan yang tidak tepat	Manusia dan Alam
9.	Kapasitas Drainase yang tidak memadai	Karena perubahan tata guna lahan maupun berkurangnya tanaman/vegetasi serta tindakan manusia mengakibatkan pengurangan kapasitas saluran/sungai sesuai perencanaan yang dibuat	Manusia
10.	Drainase lahan	Drainasi perkotaan dan pengembangan pertanian pada daerah bantuan banjir akan mengurangi kemampuan bantaran dalam menampung debit air yang tinggi.	Manusia
11.	Bendung dan bang. air	Bendung dan bangunan lain seperti pilar jembatan dapat meningkatkan elevasi muka air banjir karena efek aliran balik (<i>backwater</i>).	Manusia
12.	Kerusakan bangunan pengendali banjir	Pemeliharaan yang kurang memadai dari bangunan pengendali banjir sehingga menimbulkan kerusakan dan akhirnya tidak berfungsi dapat meningkatkan kuantitas banjir.	Manusia dan Alam

13.	Pengaruh pasang air	Air pasang memperlambat aliran sungai ke laut. Waktu banjir bersamaan dengan air pasang tinggi maka tinggi genangan atau banjir menjadi besar karena terjadi aliran balik (<i>backwater</i>). Hanya pada daerah pantai seperti Pantura, Jakarta dan Semarang	Alam
-----	---------------------	--	------

(Robert J. Kodoatie, "PSDA Terpadu")

2.2.3. Kerugian Banjir

Daerah dataran merupakan suatu daerah yang mempunyai peranan penting dan telah lama dikembangkan sesuai dengan peradaban dan kehidupan suatu bangsa. Segala aktivitas manusia di daerah dataran tersebut untuk memenuhi kebutuhan dan kemakmuran. Pembangunan infrastruktur terus dikembangkan baik itu infrastruktur transportasi, pemukiman, perumahan, komunikasi, sistem keairan dll.

Konsekuensi dari perkembangan infrastruktur adalah perubahan tata guna lahan dari kondisi alam seperti hutan, tanaman bakau dan tanaman lainnya menjadi kondisi buatan manusia untuk pemenuhan kebutuhan hidupnya.

Karena perubahan tata guna lahan cenderung merubah saja tanpa memperhitungkan dampaknya maka salah satu kerugian nyata adalah kerugian banjir yang terus meningkat. Persoalan banjir secara lebih detail tak sekedar persoalan teknis atau rekayasa namun merupakan persoalan multi aspek dan multi dimensi. Pertumbuhan penduduk merupakan salah satu faktor kunci meningkatnya persoalan banjir.

Walaupun upaya - upaya pengendalian banjir telah banyak dilakukan, namun banjir masih terus meningkat. Karena sesuai teori perubahan tata guna lahan berkontribusi peningkatan banjir puluhan kali sedangkan pengendalian banjir terutama dengan pembangunan fisik hanya mampu dan berkapasitas 2 sampai 3 kali saja. Dengan kata lain apabila tidak dilakukan dengan cara yang benar persoalan banjir tidak akan pernah bisa dipecahkan.

Kerugian akibat banjir pada umumnya relatif dan sulit diidentifikasi secara jelas, dimana terdiri dari kerugian banjir akibat banjir langsung dan tak langsung. Kerugian akibat banjir langsung, merupakan kerugian fisik atau rusaknya infrastruktur akibat banjir yang terjadi.

Contoh kerugian langsung meliputi, antara lain :

- Hilangnya nyawa atau terluka.
- Hilangnya harta benda.
- Kerusakan di pemukiman (perdesaan dan perkotaan).
- Kerusakan di wilayah perdagangan (pasar, toko, pusat-pusat perbelanjaan).
- Kerusakan di daerah industri (pabrik).
- Kerusakan di daerah pertanian (padi maupun tanaman palawija).
- Kerusakan daerah peternakan (sapi, kambing, kuda, ikan atau udang di kolam atau tambak).
- Kerusakan jembatan.
- Kerusakan sistem irigasi.
- Kerusakan sistem drainase.
- Kerusakan sistem pengendalian banjir termasuk bangunannya.
- Kerusakan sistem air bersih.
- Kerusakan sungai.
- Kerusakan jalan dan rel kereta api.
- Kerusakan sistem kelistrikan.
- Kerusakan komunikasi (telekomunikasi).
- Kerusakan jalan raya, rel kereta api, bandara.
- Kerusakan alat transportasi.

Pengertian kerusakan secara lebih luas bisa berarti, antara lain:

- Robohnya suatu bangunan.
- Tergenangnya suatu bangunan yang cukup lama sehingga merusakkan semua barang dan perabotan.
- Jebolnya tanggul.
- Gagal panen padi atau palawija.
- Matinya ternak, hilangnya ikan dan udang dari kolam atau tambak.

Sedangkan kerugian akibat banjir tak langsung berupa kerugian kesulitan yang timbul secara tak langsung diakibatkan oleh banjir, seperti terputusnya komunikasi, terganggunya pendidikan, kesehatan, dan kegiatan bisnis dsb. Trauma psikis akibat banjir (yang menimbulkan kerugian harta benda dan kehilangan anggota keluarga).

2.2.4. Pengendalian Banjir

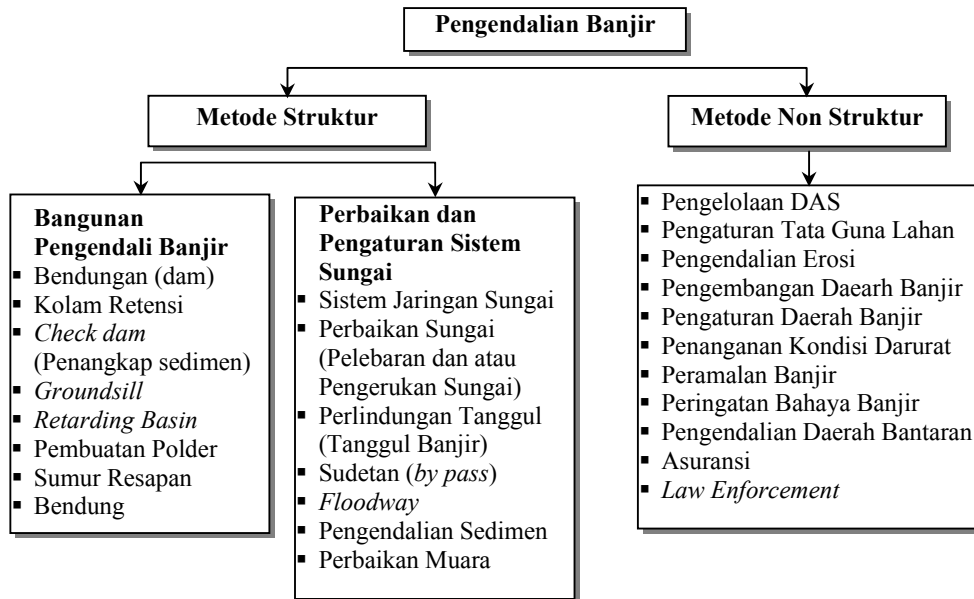
Kegiatan yang dilaksanakan sebelum banjir terjadi disebut kegiatan pengendalian banjir. Pengendalian banjir untuk suatu daerah adalah unik. Hal ini disebabkan sistem pengendalian banjir suatu daerah belum tentu atau tidak dapat diterapkan pada daerah lain. Tindakan - tindakan yang dapat dilakukan untuk pengendalian banjir antara lain :

- a. Pengurangan puncak banjir, yang pada umumnya dengan membuat waduk (*reservoir*).
- b. Lokalisir aliran banjir di dalam suatu alur sungai yang ditetapkan dengan tanggul, tembok banjir, atau suatu saluran tertutup.
- c. Penurunan permukaan puncak banjir dengan menaikkan besarnya kecepatan, yaitu dengan perbaikan alur.
- d. Pengalihan air banjir melalui sudetan (*short cut*) atau saluran banjir (*flood way*) ke dalam alur sungai lain atau bahkan ke daerah aliran sungai lain.
- e. Pengurangan limpasan banjir dengan pengolahan lahan.
- f. Pengolahan dataran banjir.

Pada hakekatnya pengendalian banjir merupakan suatu hal yang kompleks. Dimensi rekayasanya (*engineering*) melibatkan banyak disiplin ilmu teknik antara lain: hidrologi, hidrolika, erosi DAS, teknik sungai, morfologi & sedimentasi sungai, rekayasa sistem pengendalian banjir, sistem drainase kota, bangunan air, dll. Disamping itu suksesnya program pengendalian banjir juga tergantung dari aspek lainnya yang menyangkut sosial, ekonomi, lingkungan, institusi, kelembagaan, hukum dan lainnya.

Cara penanganan pengendalian banjir dapat dilakukan secara struktur dan non struktur. Cara ini harus ditinjau dalam satu sistem pengaliran sungai.

Secara lebih detail kedua metode ini ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



(Robert J. Kodoatie & Roestam Sjarief, "Pengelolaan Banjir Terpadu")

Gambar 2.1 Pengendalian Banjir Metode Struktur & Non-Struktur

2.2.4.1. Pengendalian Banjir Secara Struktur

Adapun cara - cara pengendalian banjir yang dapat dilakukan dalam sistem pengendalian banjir secara struktur dapat dibagi 2 (dua), yaitu :

1. Bangunan Pengendali Banjir

a. Bendungan (*Dam*)

Bendungan (*Dam*) adalah suatu penghalang yang melintang pada suatu sungai yang berfungsi untuk mengarahkan dan memperlambat arus, dan juga untuk menciptakan reservoir dan danau. Bendungan digunakan untuk menampung dan mengelola distribusi aliran sungai. Pengendalian diarahkan untuk mengatur debit air sungai di sebelah hilir bendungan. Faktor - faktor yang digunakan dalam pemilihan lokasi bendungan adalah sebagai berikut :

- Lokasi mudah dicapai.
- Topografi daerah yang memadai dan tepat (*appropriate*), dengan membentuk tampungan yang besar.
- Kondisi geologi dan mekanika tanah.
- Ketersediaan bahan bangunan.

- Tujuan serbaguna.
- Pengaruh bendungan terhadap lingkungan.
- Umumnya bendungan terletak di sebelah hulu daerah yang dilindungi.

b. Kolam Retensi (*Retention Basin*)

Seperti halnya bendungan, kolam penampungan (*retention basin*) berfungsi untuk menyimpan sementara debit sungai sehingga puncak banjir dapat dikurangi. Tingkat pengurangan banjir tergantung pada karakteristik hidrograf banjir, volume kolam dan dinamika beberapa bangunan outlet. Wilayah yang digunakan untuk kolam penampungan biasanya di daerah dataran rendah atau rawa. Dengan perencanaan dan pelaksanaan tata guna lahan yang baik, kolam penampungan dapat digunakan untuk pertanian. Untuk strategi pengendalian yang andal diperlukan :

- Pengontrolan yang memadai untuk menjamin ketepatan peramalan banjir.
- Peramalan banjir yang andal dan tepat waktu untuk perlindungan atau evakuasi.
- Sistem drainase yang baik untuk mengosongkan air dari daerah tampungan secepatnya setelah banjir reda.

c. Bangunan Penangkap Sedimen (*Check Dam*)

Check Dam atau disebut juga bendung penahan berfungsi untuk memperlambat proses sedimentasi dengan mengendalikan gerakan sedimen menuju bagian sungai sebelah hilirnya. Adapun fungsi *Check Dam* antara lain :

- Menampung sebagian angkutan sedimen dalam waktu suatu kolam penampung
- Mengatur jumlah sedimen yang bergerak secara fluvial dalam kepekaan yang tinggi, agar jumlah sedimen yang meluap ke hilir tidak berlebihan. Dengan demikian besarnya sedimen yang masuk akan seimbang dengan daya angkut aliran air sungainya, sehingga sedimentasi pada lepas pengendapan terhindarkan.
- Membentuk suatu kemiringan dasar alur sungai baru pada alur sungai hulu.

Check Dam baru akan nampak manfaatnya jika dibangun dalam jumlah yang banyak di alur sungai yang sama.

d. *Groundsill*

Groundsill merupakan suatu konstruksi untuk perkuatan dasar sungai untuk mencegah erosi pada dasar sungai, dengan maksimal drop 2 meter. *Groundsill* diperlukan karena dengan dibangunnya saluran baru (*Short Cut*) maka panjang sungai lebih curam sehingga akan terjadi degradasi pada waktu yang akan datang.

e. *Retarding Basin*

Dalam cara ini daerah depresi (daerah cekungan) sangat diperlukan untuk menampung volume banjir yang datang dari hulu untuk sementara waktu dan dilepaskan kembali pada waktu banjir surut. Dengan kondisi lapangan yang sangat menentukan dan berdasarkan survey lapangan, peta topografi, dan foto udara dapat diidentifikasi lokasi untuk kolam banjir. Daerah cekungan atau depresi yang dapat dipergunakan untuk kolam banjir harus memperhatikan hal - hal sebagai berikut :

- Daerah cekungan yang akan digunakan sebagai daerah retensi harus merupakan daerah yang tidak efektif pemanfaatannya dan produktifitasnya rendah atau yang tidak dimanfaatkan.
- Pemanfaatan kolam banjir harus bermanfaat dan efektif untuk daerah yang ada di hilirnya.
- Daerah tersebut mempunyai potensi dan efektif untuk dijadikan sebagai daerah retensi.
- Daerah tersebut harus mempunyai area atau tangkapan yang besar.

f. *Pembuatan Polder*

Drainase sistem polder adalah sistem penanganan drainase perkotaan dengan cara mengisolasi daerah yang dilayani (*catchment area*) terhadap masuknya air dari luar sistem berupa limpasan (*overflow*) maupun aliran di bawah permukaan tanah (gorong - gorong dan rembesan), serta mengendalikan ketinggian muka air banjir di dalam sistem sesuai dengan rencana.

Drainase sistem polder digunakan apabila penggunaan drainase sistem gravitasi sudah tidak memungkinkan lagi, walaupun biaya investasi dan operasinya lebih mahal. Komponen drainase sistem polder terdiri dari pintu air, tanggul, stasiun pompa, kolam retensi, jaringan saluran drainase, dan saluran kolektor.

Drainase sistem polder digunakan untuk kondisi sebagai berikut :

- Elevasi / ketinggian muka tanah lebih rendah daripada elevasi muka air laut pasang. Pada daerah tersebut sering terjadi genangan akibat air pasang (rob).
- Elevasi muka tanah lebih rendah daripada muka air banjir di sungai (pengendali banjir) yang merupakan *outlet* daripada saluran drainase kota.
- Daerah yang mengalami penurunan (*land subsidence*), sehingga daerah yang semula lebih tinggi dari muka air laut pasang maupun muka air banjir di sungai pengendali banjir diprediksikan akan tergenang akibat air laut pasang maupun *back water* dari sungai pengendali banjir.

g. Sumur Resapan

Konsep dasar sumur resapan pada hakekatnya adalah memberi kesempatan dan jalan pada air hujan yang jatuh di atap atau lahan yang kedap air untuk meresap ke dalam tanah dengan jalan menampung air tersebut pada suatu sistem resapan. Sumur resapan ini merupakan sumur kosong dengan kapasitas tampungan yang cukup besar sebelum air meresap ke dalam tanah. Dengan adanya tampungan, maka air hujan mempunyai cukup waktu untuk meresap ke dalam tanah, sehingga pengisian tanah menjadi optimal.

Berdasarkan konsep tersebut, maka ukuran atau dimensi sumur yang diperlukan untuk suatu lahan sangat bergantung pada beberapa faktor sebagai berikut :

- Luas permukaan penutupan, yaitu lahan yang airnya akan ditampung dalam sumur resapan, meliputi luas atap, lapangan parkir, dan perkerasan - perkerasan lainnya.
- Karakteristik hujan, meliputi intensitas hujan, lama hujan, dan selang waktu hujan.
- Koefisien permeabilitas tanah, yaitu kemampuan tanah dalam melewatkan air per satuan waktu.
- Tinggi muka air tanah. Pada kondisi muka air tanah yang dalam, sumur resapan perlu dibuat secara besar - besaran karena tanah memerlukan pengisian air melalui sumur - sumur resapan. Sebaliknya pada lahan yang muka airnya dangkal, pembuatan sumur resapan kurang efektif, terutama pada daerah pasang surut atau daerah rawa dimana air tanahnya sangat dangkal.

(Suripin, "Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan")

h. Bendung (*Weir*)

Bendung adalah suatu konstruksi untuk menaikkan elevasi muka air. Faktor - faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan tipe bendung adalah sebagai berikut:

1. Sifat dan kekuatan tanah dasar.
2. Jenis material yang diangkut oleh aliran sungai.
3. Keadaan / kondisi daerah aliran sungai di bagian hulu, tengah dan hilir.
4. Tinggi muka air banjir maksimum yang pernah terjadi.
5. Kemudahan eksploitasi dan pemeliharaan.
6. Efisiensi biaya pelaksanaan.

Berdasarkan fungsinya, bendung diklasifikasikan sebagai :

1. Bendung Pembagi Banjir

Bendung ini dibangun di percabangan sungai untuk mengatur permukaan air sehingga terjadi pemisahan antara debit banjir dengan debit rendah sesuai dengan kapasitas yang telah ditetapkan.

2. Bendung Penahan Air Pasang

Bendung ini dibangun pada bagian sungai yang permukaan airnya dipengaruhi oleh pasang surut air laut atau pasang surut air sungai induk.

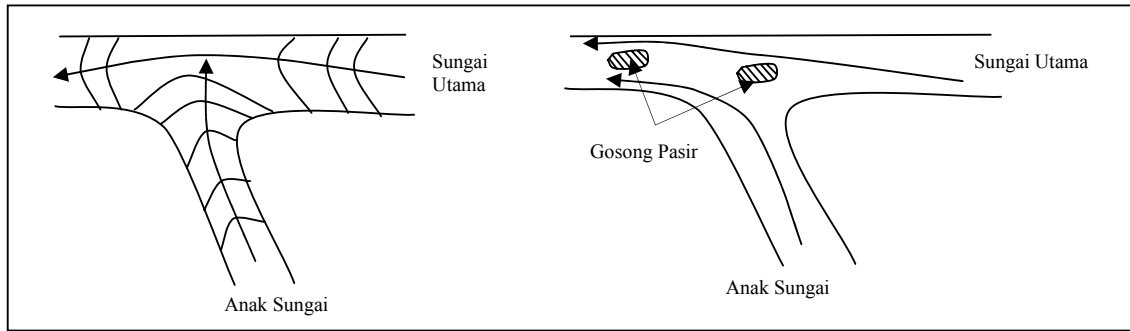
3. Bendung Penyadap

Bendung ini digunakan untuk mengatur permukaan air di dalam sungai guna memudahkan penyadapan air untuk keperluan air minum, industri, irigasi, maupun pembangkit tenaga listrik.

2. Perbaikan dan Pengaturan Sistem Sungai

a. Sistem Jaringan Sungai

Apabila beberapa sungai yang berbeda baik ukuran maupun sifatnya mengalir berdampingan dan akhirnya bertemu, maka pada titik pertemuannya, dasarnya akan berubah dengan sangat intensif. Akibat perubahan tersebut, maka aliran banjir pada salah satu atau semua sungai mungkin akan terhalang. Sedangkan jika anak sungai yang arusnya deras dan membawa banyak sedimen mengalir ke sungai utama, maka terjadi pengendapan berbentuk kipas. Sungai utama akan terdesak oleh anak sungai tersebut. Bentuk pertemuannya akan cenderung bergeser ke arah hulu seperti terlihat pada gambar 2.2.



(a) Pertemuan anak sungai berarus deras (b) Pertemuan anak sungai berarus tidak deras

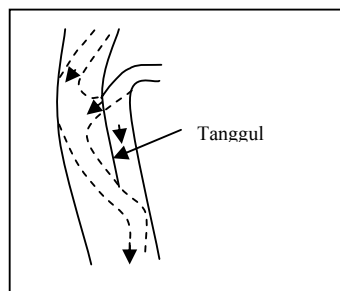
Gambar 2.2 Bentuk – Bentuk Pertemuan Sungai

Karena itu arus anak sungai dapat merusak tanggul sungai utama di seberang muara anak sungai atau memberikan pengaruh yang kurang menguntungkan bagi bangunan sungai yang terdapat di sebelah hilir pertemuan yang tidak deras arusnya. Lebar sungai utama pada pertemuan dengan anak sungai cenderung untuk bertambah sehingga sering berbentuk gosong – gosong pasir dan berubah arah arus sungai seperti terlihat pada gambar 2.2 b.

Guna mencegah terjadinya hal – hal sebagaimana uraian di atas, maka pada pertemuan sungai dilakukan penanganan sebagai berikut :

1. Pada pertemuan 2 (dua) buah sungai yang resimnya berlainan, maka pada kedua sungai tersebut diadakan perbaikan sedemikian, agar resimnya menjadi hampir sama. Adapun perbaikannya adalah dengan pembuatan tanggul pemisah diantara kedua sungai tersebut (gambar 2.3.) dan pertemuannya digeser agak ke hilir apabila sebuah anak sungai yang kemiringannya curam bertemu dengan sungai utamanya, maka dekat pertemuannya dapat dibuatkan ambang bertangga.
2. Pada lokasi pertemuan 2 (dua) buah sungai diusahakan supaya formasi pertemuannya membentuk garis singgung.

(Suyono Sosrodarsono, “Perbaikan dan Pengaturan Sungai”)



Gambar 2.3 Contoh Penanganan Pertemuan Sungai

b. Perbaikan Sungai (*River Improvement*)

Sistem perbaikan sungai melalui pengerukan dan pelebaran saluran adalah bertujuan memperbesar kapasitas tampung sungai dan memperlancar aliran. Analisa yang harus diperhitungkan adalah analisa hidrologi, hidraulika dan analisa sedimentasi. Analisa perhitungan perlu dilakukan dengan cermat mengingat kemungkinan kembalinya sungai ke bentuk semula sangat besar.

Untuk mengarahkan sungai dan melebarkan penampangnya sering terjadi diperlukan pembebasan lahan. Oleh karena itu dalam kajiannya harus juga memperhitungkan aspek ekonomi (ganti rugi) dan aspek sosial bagi terutama bagi masyarakat atau stakeholders lainnya yang merasa dirugikan akibat lahannya berkurang.

c. Perlindungan Tanggul Banjir

Tanggul banjir adalah penghalang yang didesain untuk menahan air banjir di palung sungai untuk melindungi daerah di sekitarnya. Tanggul banjir sesuai untuk daerah - daerah dengan memperhatikan faktor - faktor berikut :

- Dampak tanggul terhadap resim sungai.
- Hidrograf banjir yang lewat.
- Tinggi jagaan dan kapasitas debit sungai pada bangunan - bangunan sungai misalnya jembatan.
- Ketersediaan bahan bangunan setempat.
- Syarat - syarat teknis dan dampaknya terhadap pengembangan wilayah.
- Pengaruh limpasan, penambangan, longsoran dan bocoran.
- Pengaruh tanggul terhadap lingkungan.
- Elevasi muka air yang lebih tinggi di alur sungai.
- Lereng tanggul dengan tepi sungai yang relatif stabil.

d. Sudetan (*Short Cut*)

Saluran Short Cut adalah saluran yang digunakan untuk mengalihkan sebagian atau seluruh aliran air banjir dalam rangka mengurangi debit banjir pada daerah yang dilindungi.

Saluran Short Cut dilakukan pada :

1. Alur meander yang kritis (alur tak stabil)
2. Alur meander yang terjadi perlambatan banjir (*retention*)

Faktor - faktor yang penting sebagai pertimbangan dalam desain saluran Short Cut adalah sebagai berikut :

- Biaya pelaksanaan yang relatif mahal.
- Kondisi topografi dari rute alur baru.
- Bangunan terjunan mungkin diperlukan di saluran *Short Cut* untuk mengontrol kecepatan air dan erosi.
- Kendala - kendala geologi timbul sepanjang alur *Short Cut* (contoh membuat saluran yang melewati batuan / *rock*).
- Penyediaan air dengan program pengembangan daerah sekitar sungai.
- Kebutuhan air harus tercukupi sepanjang aliran sungai di bagian hilir dari lokasi percabangan.
- Pembagian air akan berpengaruh pada sifat alami daerah hilir mulai dari lokasi percabangan *Short Cut*.

e. Saluran Banjir (*Flood Way*)

Berfungsi untuk mengalirkan sebagian debit banjir ke saluran banjir (*floodway*), sehubungan kapasitas pengaliran alur lama yang terbatas.

Faktor yang diperhatikan dalam merencanakan *flood way* adalah :

- Perbaikan sungai alur lama terbatas, dimana Q kapasitas \ll Q banjir rencana
- Memungkinkan untuk dibuat *flood way*, dengan kondisi sebagai berikut :
 - a. Terdapat sungai alam untuk *flood way*
 - b. Dampak negatif sosial - ekonomi kecil
 - c. Tidak ada masalah dalam pembebasan lahan
 - d. *Head* / energi yang tersedia (*flood way*) besar

f. Pengendalian Sedimen

Mencegah terjadinya proses sedimentasi adalah suatu hal yang tidak mungkin dapat dilakukan, karena sedimentasi adalah suatu proses gejala alam yang sangat kompleks di atas permukaan bumi ini. Akan tetapi intensitas proses sedimentasi tersebut secara teknis dapat diperlambat mencapai tingkat yang tidak membahayakan, yaitu tingkat sedimentasi yang seimbang dengan kemampuan daya angkut aliran sungai secara fluvial dan dapat dihindarkan gerakan sedimen secara massa.

Guna memperoleh cara - cara untuk memperlambat proses sedimentasi tersebut, diperlukan data mengenai tipe sedimen yang dihasilkan dengan cara terangkutnya, lokasinya, volume, intensitas evolusi dasar sungainya, hujan, debit sungai, sebab - sebab bencana yang pernah terjadi, kondisi *terrain*, dan lain - lain. Usaha untuk memperlambat proses sedimen ini antara lain dengan mengadakan pekerjaan teknik sipil untuk mengendalikan gerakannya menuju bagian sungai di sebelah hilirnya. Adapun pekerjaannya adalah berupa pembangunan bendung penahan (*Check Dam*), kantong lahar, bendung pengatur, bendung konsolidasi, serta pekerjaan perbaikan sungai alur sungai (*Channel Work*) dan pekerjaan pengendalian erosi di lereng - lereng pegunungan (*Hill Side Work*).

g. Perbaikan Muara

Di dekat muara air menjadi tidak deras dan intensitas pengendapan sangat meningkat, lebih - lebih dengan adanya air asin di muara tersebut dan terjadilah pengendapan dalam volume yang sangat besar. Dataran yang terjadi di muara sungai, bentuknya sangat berbeda satu dengan yang lainnya, tergantung dari keadaan sungai dan laut / danau tempat bermuaranya sungai - sungai tersebut, dan tergantung dari tingkat kadar sedimen berbutir halus yang terdapat di dalam air sungai. Apabila volume sedimen yang hanyut besar jumlahnya sedang, laut / danau dan gelombangnya tidak besar atau arusnya tidak deras, maka akan terbentuk delta. Proses pembentukan delta ini berlangsung dalam waktu yang lama, bahkan mungkin bertahun - tahun. Untuk mencegah sedimentasi tersebut dapat digunakan konstruksi jetty pada mulut muara.

2.2.4.2. Pengendalian Banjir Secara Non Struktur

Metode non struktur adalah metode pengendalian banjir tidak menggunakan bangunan teknis pengendalian banjir. Pengendalian banjir dengan tidak menggunakan bangunan pengendali akan memberikan pengaruh cukup baik terhadap resim sungai. Dengan kata lain, keberhasilan metode non struktur untuk pengendalian banjir memberikan kontribusi jauh lebih besar dibandingkan dengan metode struktur. Lebih dari itu, biaya yang dikeluarkan untuk metode non struktur jauh lebih murah dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan untuk metode struktur, karena metode non struktur lebih merupakan tindakan preventif sebelum terjadinya banjir.

Apabila dari awal penyebab banjir dapat diminimalkan, maka biaya konstruksi dan perbaikan akan jauh lebih murah. (*Robert J. Kodoatie, "PSDA Terpadu"*)

Adapun cara - cara pengendalian banjir yang dapat dilakukan dalam sistem pengendalian banjir secara non struktur dapat berupa :

1. Pengelolaan DAS

Pengelolaan DAS berhubungan erat dengan peraturan, perencanaan, pelaksanaan dan pelatihan. Kegiatan pengelolaan lahan dimaksudkan untuk menghemat dan menyimpan air dan konservasi tanah. Pengelolaan DAS mencakup aktifitas - aktifitas berikut ini:

- Pemeliharaan vegetasi di bagian hulu DAS.
- Penanaman vegetasi untuk mengendalikan kecepatan aliran air & erosi tanah.
- Pemeliharaan vegetasi alam, atau penanaman vegetasi tahan air yang tepat, sepanjang tanggul drainase, saluran - saluran dan daerah lain untuk pengendalian aliran yang berlebihan atau erosi tanah.
- Pengaturan kontur dan cara - cara pengolahan lahan.

Sasaran penting dari kegiatan pengelolaan DAS adalah untuk mencapai keadaan - keadaan berikut:

- Mengurangi debit banjir di daerah hilir.
- Mengurangi erosi tanah dan muatan sedimen di sungai.
- Meningkatkan produksi pertanian yang dihasilkan dari penataan guna tanah dan perlindungan air.
- Meningkatkan lingkungan di daerah DAS dan badan sungai.

Sasaran tersebut harus didukung oleh aktifitas - aktifitas lainnya, seperti:

- Pembatasan penebangan hutan dan kebijakan - kebijakan yang mencakup atau menganjurkan penghutanan kembali daerah - daerah yang telah rusak.
- Rangsangan atau dorongan, untuk mengembangkan tanaman yang tepat dan menguntungkan secara ekonomi (misal cacao, turi, jambu mete, lamtorogung, buah - buahan).
- Pemilihan cara penanaman yang dapat memperlambat aliran dan erosi.
- Pertanian bergaris (sistem hujan), dan metode teras (bertingkat) sehingga mengurangi pengaliran dan erosi tanah dari daerah pertanian.
- Tidak ada pertanian atau kegiatan - kegiatan pengembangan lain di sepanjang bantaran sungai.
- Minimal daerah penyangga atau daerah vegetasi yang tidak boleh terganggu di sepanjang jalan air. Besarannya dapat mengacu pada Tabel 2.2. di bawah ini.

Tabel 2.2 Hubungan debit dan lebar penyangga

Debit Rata-rata (Q)	Lebar Penyangga
Kurang dari 1 m ³ /dt	5 m
1 m ³ /dt < Q < 5 m ³ /dt	10 m
Lebih dari 5 m ³ /dt	15 m

Sumber : (Robert J. Kodoatie & Roestam Sjarief, 2006, "Pengelolaan Banjir Terpadu")

2. Pengaturan Tata Guna Lahan

Pengaturan tata guna tanah di daerah aliran sungai, ditujukan untuk mengatur penggunaan lahan, sesuai dengan rencana pola tata ruang wilayah yang ada. Hal ini untuk menghindari penggunaan lahan yang tidak terkendali, sehingga mengakibatkan kerusakan daerah aliran sungai yang merupakan daerah tadah hujan. Pada dasarnya pengaturan penggunaan lahan di daerah aliran sungai dimaksudkan untuk:

- Untuk memperbaiki kondisi hidrologis DAS, sehingga tidak menimbulkan banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau.
- Untuk menekan laju erosi daerah aliran sungai yang berlebihan, sehingga dapat menekan laju sedimentasi pada alur sungai di bagian hilir.

Penataan tiap - tiap kawasan, proporsi masing - masing luas penggunaan lahan dan cara pengelolaan masing - masing kawasan perlu mendapat perhatian yang baik. Daerah atas dari daerah aliran sungai yang merupakan daerah penyangga berfungsi sebagai recharge atau pengisian kembali air tanah. Maka dari itu perlu diperhatikan luasan daerah penyangga dari masing-masing kawasan. Misalnya untuk luasan kawasan hutan minimum 30 % dari luas daerah aliran sungai.

Sedangkan untuk mencegah adanya laju erosi daerah aliran sungai yang tinggi perlu adanya cara pengelolaan yang tepat, untuk masing - masing kawasan. Pengelolaan lahan tersebut dapat meliputi, sistem pengelolaan, pola tanam dan jenis tanaman yang disesuaikan jenis tanah, kemampuan tanah, elevasi dan kelerenghan lahan. Karena dengan adanya erosi lahan yang tinggi akan menentukan besarnya angkutan sedimen di sungai dan mempercepat laju sedimentasi di sungai, terutama di bagian hilir. Dengan adanya sedimentasi di sungai akan merubah penampang sungai dan memperkecil kapasitas pengaliran sungai.

3. Pengendalian Erosi dan Sedimentasi

Sedimen di suatu potongan melintang sungai merupakan hasil erosi di daerah aliran di hulu potongan tersebut dan sedimen tersebut terbawa oleh aliran dari tempat erosi terjadi menuju penampang melintang itu. Oleh karena itu kajian pengendalian erosi dan sedimen juga berdasarkan kedua hal tersebut di atas, yaitu berdasarkan kajian *supply limited* dari DAS atau kapasitas transport dari sungai.

Faktor pengelolaan penanaman memberikan andil yang paling besar dalam mengurangi laju erosi. Jenis dan kondisi semak (*bush*) dan tanaman pelindung yang bisa memberikan peneduh (*canopy*) untuk tanaman di bawahnya cukup besar dampaknya terhadap laju erosi. Pengertian ini secara lebih spesifik menyatakan bahwa dengan pengelolaan tanaman yang benar sesuai kaidah teknis berarti dapat menekan laju erosi yang signifikan.

4. Pengembangan Daerah Banjir

Ada 4 strategi dasar untuk pengembangan daerah banjir yang meliputi :

- Modifikasi kerentanan dan kerugian banjir (penentuan zona atau pengaturan tata guna lahan).
- Pengaturan peningkatan kapasitas alam untuk dijaga kelestariannya seperti penghijauan.
- Modifikasi dampak banjir dengan penggunaan teknik mitigasi seperti asuransi, penghindaran banjir (*flood proofing*).
- Modifikasi banjir yang terjadi (pengurangan) dengan bangunan pengontrol (waduk) atau perbaikan sungai.

(Robert J. Kodoatie, "PSDA Terpadu")

5. Pengaturan Daerah banjir

Pada kegiatan ini dapat meliputi seluruh kegiatan dalam perencanaan dan tindakan yang diperlukan untuk menentukan kegiatan, implementasi, revisi perbaikan rencana, pelaksanaan dan pengawasan secara keseluruhan aktivitas di daerah dataran banjir yang diharapkan berguna dan bermanfaat untuk masyarakat di daerah tersebut, dalam rangka menekan kerugian akibat banjir.

Kadang - kadang kita dikaburkan adanya istilah flood plain management dan flood control, bahwa manajemen di sini dimaksudkan hanya untuk pengaturan penggunaan lahan (land use) sehubungan dengan banjir dan flood control untuk pengendalian mengatasi secara keseluruhan. Demikian pula antara flood plain zoning dan flood plain regulation, zoning hanya merupakan salah satu cara pengaturan dan merupakan bagian dari manajemen daerah dataran banjir.

Manajemen daerah dataran banjir pada dasarnya ada 2 tujuan:

1. Meminimumkan korban jiwa, kerugian maupun kesulitan yang diakibatkan oleh banjir yang akan terjadi.
2. Merupakan suatu usaha untuk mengoptimalkan penggunaan lahan di daerah dataran banjir dimasa mendatang, yaitu memperhatikan keuntungan individu ataupun masyarakat sehubungan dengan biaya yang dikeluarkan.

Dengan demikian perlu perhatian dalam pelaksanaannya untuk meminimalkan kerugian pengembangan dan pemanfaatan yang ada dan bagaimana mengarahkan penggunaan dan pengembangan yang optimum di masa mendatang.

Atas dasar pertimbangan tersebut diatas perlu adanya evaluasi yang meliputi:

1. Evaluasi kondisi fisik dan konsep ekonomi yang diharapkan untuk melindungi investasi yang ada.
2. Penting untuk dilakukan seleksi dari beberapa alternatif investasi yang terbaik di daerah tersebut dengan berbagai pengembangan yang mungkin diterapkan.

Penggunaan daerah dataran banjir perlu adanya pengendalian dan pengaturan. Ada beberapa langkah yang dapat dilaksanakan untuk pengendalian dan pengaturan tersebut antara lain:

1. Penyesuaian dan penempatan suatu bangunan sesuai rencana *land use*, yang dapat menurunkan potensi kerugian akibat banjir, penyesuaian dan penempatan bangunan disini dapat diartikan juga tindakan perubahan rencana penempatan bangunan, penyesuaian penggunaan maupun pembebasan area.
2. Pada langkah kedua dapat berupa memberlakukan undang-undang, peraturan ataupun peraturan daerah, pengaturan tiap - tiap kawasan / zona, penyesuaian bangunan dan pajak, pengosongan, pembaharuan pemukiman, tanda / peringatan dll.
3. Mengoptimalkan pemanfaatan daerah dataran. Hal ini merupakan tantangan seorang pemimpin proyek pengembangan wilayah sungai. Prinsip - prinsip utama dalam rangka usaha di atas adalah: teknis, ekonomis, sosial, budaya, hukum, institusi dan lingkungan maka didapatkan keuntungan optimal dari pemanfaatan daerah terhadap biaya yang dikeluarkan.

6. Penanganan Kondisi Darurat

Kondisi darurat merupakan keadaan pada saat awal terjadinya bencana yang terjadi secara tiba – tiba, tanpa persiapan, dan terjadi dalam keadaan sangat genting. Pada kondisi ini, perlu dilakukan respon dan pertolongan secara cepat, terpadu, dan terprogram, demi mengurangi dampak bencana yang terjadi. Dampak bencana yang dapat terjadi antara lain :

- Kematian.
- Luka-luka.
- Kerusakan dan kehancuran harta benda.

- Kerusakan dan kehancuran sumber mata pencaharian dan hasil pertanian.
- Gangguan proses produksi.
- Gangguan gaya hidup.
- Kehilangan tempat tinggal.
- Gangguan pelayanan khusus.
- Kerusakan infrastruktur.
- Gangguan sistem pemerintahan.
- Kerugian ekonomi dan dampak sosiologi serta psikologi.

Respon merupakan semua tindakan yang segera dilakukan pada saat bencana terjadi. Dapat dikatakan merupakan tindakan - tindakan yang bertujuan untuk penyelamatan korban, perlindungan (proteksi) harta benda, dan juga tindakan-tindakan yang berkaitan dengan kerusakan (*damage*) dan dampak negatif lain yang disebabkan oleh bencana.

Respon bertujuan untuk meminimalkan korban baik jiwa maupun benda. Tindakan respon biasanya diperoleh setelah mendapatkan persetujuan dan sesuai dengan dampak bencana. Tindakan harus sesuai dengan SOP (*Standard Operation Procedure*) yang telah ditetapkan.

Tindakan respon biasanya dilakukan pada kondisi yang tidak normal, misalnya: lokasi yang sulit dijangkau, kebutuhan alat berat yang besar namun dengan transportasi jalan yang tak memadai (akses jalan sulit), cuaca yang tidak menguntungkan, kondisi lahan bencana yang bisa saja belum stabil, trauma dan kepanikan masyarakat yang terkena bencana yang bisa menjadi potensi gangguan tindakan respon. Di sisi lain tindakan respon harus dilakukan secara cepat, tepat, dan benar.

Disamping itu, tindakan respon harus juga mempertimbangkan dan memperhitungkan *sequence* selanjutnya yaitu tindakan pemulihan (*recovery*). Dengan kata lain respon harus mendapatkan hasil yang optimal sehingga dapat menjadi pendukung untuk tindakan pemulihan.

Oleh karena itu respon harus berdasarkan perencanaan yang matang walaupun harus cepat, organisasi (lokal) yang sistematis walaupun dari berbagai institusi dan *stakeholders* lainnya, tindakan - tindakan yang tepat walaupun bisa berubah - ubah. Salah satu cara untuk optimalisasi tindakan respon adalah melakukan pelatihan - pelatihan tindakan respon. Koordinasi setiap waktu dari organisasi (lokal) di daerah bencana harus terus menerus dilakukan.

Macam tindakan respon dalam kondisi bencana banjir adalah :

- Rencana pelaksanaan.
- Aktivitas sistem pertolongan bencana.
- Penggunaan bahan banjiran, misalnya karung pasir sebagai tanggul sementara.
- Pencarian dan penemuan.
- Perlengkapan makanan darurat, tempat penampungan, bantuan medis, dll.
- Survey dan penaksiran kerugian.
- Tindakan evakuasi, pencarian dan penyelamatan.

Pertolongan (*relief*) adalah tindakan berupa bantuan dan pertolongan yang diambil segera setelah terjadinya suatu bencana. Tindakan pencarian dan penyelamatan (*search and rescue / SAR*) baik yang meninggal maupun luka - luka dan mendapatkan kebutuhan dasar (*basic needs*) bagi para korban seperti penampungan (*shelter*) sementara, air, bahan makanan dan kesehatan.

(*Robert J. Kodoatie, "Penanganan Bencana Terpadu"*)

7. Peringatan Bahaya Banjir

Sistem peringatan dini tentang banjir pada prinsipnya dimaksudkan supaya masyarakat yang bermukim di daerah endemik banjir agar :

1. Dapat memperoleh informasi lebih awal tentang besaran (*magnitude*) banjir yang mungkin terjadi. Besaran ini meliputi : besarnya debit puncak (*peak discharge*), dan waktu menuju debit puncak (*time to peak discharge*). Akan lebih baik lagi apabila dilengkapi dengan informasi tentang tinggi genangan yang mungkin terjadi dan di mana wilayahnya. Dengan informasi tersebut, selanjutnya pemerintah bersama masyarakat dapat merumuskan bagaimana cara dan prosedur evakuasinya.
2. Waktu evakuasi korban memadai sehingga resiko yang ditimbulkan dapat diminimalkan.

Dalam bentuk yang sederhana, sistem peringatan dini tentang banjir dapat dirakit dengan menghubungkan :

1. Alat ukur curah hujan otomatis (*automatic rain gauge*).
2. Alat duga muka air sungai otomatis (*automatic water level recorder / AWLR*) di bagian hulu.

3. Alat duga muka air sungai otomatis (*automatic water level recorder* / AWLR) di bagian hilir yang representatif dengan pusat kendali komputer yang dipantau oleh beberapa operator secara terus - menerus.

Langkah – langkah strategis antisipasi banjir yang dilakukan antara lain :

1. Pengumpulan data dan informasi cuaca dari Koordinator Balai Meteorologi dan Geofisika (BMG) Stasiun Klimatologi setiap 6 jam tentang prediksi musim hujan dan daerah penyebaran curah hujan tinggi.
2. Pengumpulan data dan informasi kondisi prasarana dan sarana pengendali banjir melalui penelusuran alur sungai pasca-musim hujan.
3. Rapat koordinasi persiapan menghadapi musim hujan dengan seluruh jajaran Pengairan Kabupaten / Kota (Balai Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) dan Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai (PWS)) dan instansi terkait kabupaten / kota serta provinsi, seperti Satuan Koordinasi Pelaksana Penanggulangan Bencana dan Pengungsi / Satkorlak PBP, BMG dan Bakorlin.
4. Sosialisasi rawan banjir kepada masyarakat yang tinggal di sekitar sungai dan bekerja sama dengan bakorlin melalui Forum Koordinasi Panitia Pelaksana Tata Pengatur Air (PPTPA).
5. Pembentukan posko dan piket banjir di jajaran pengairan (Dinas PSDA, Balai PSDA dan proyek - proyek Induk PWS) dan instansi terkait.
6. Penyampaian informasi dan distribusi bahan banjir serta alat berat ke Balai PSDA.
7. Menginformasikan kondisi cuaca hasil ramalan BMG ke semua posko dan instansi terkait.
8. Bersama masyarakat menyiapkan sistem peringatan dini dan tingkat bahaya / siaga secara sederhana dengan membuat *flood mark* yaitu tanda peringatan banjir pada bangunan dan papan dengan dicat hijau, kuning dan merah, serta sirene, kentongan, peluit, radio pemancar dan penerima, telpon, dsb.
9. Kerja sama dengan ORARI/RPI dalam penyebaran informasi banjir kepada instansi dan masyarakat.
10. Upaya meningkatkan kesadaran masyarakat.
11. Upaya perbaikan dan memperkuat prasarana sarana pengendali banjir lewat partisipasi untuk penutupan tanggul bobol, peninggian tanggul, perkuatan tebing, formalisasi alur dan perbaikan bangunan-bangunan yang rusak agar berfungsi optimal.

8. Pengendalian Daerah Bantaran

Secara hukum ada peraturan sungai yang melarang penduduk tinggal di bantaran sungai. Namun karena perkembangan penduduk meningkat kecenderungan untuk tinggal di bantaran meningkat.

Oleh karena itu pemanfaatan di daerah bantaran sungai perlu adanya pengaturan yang baik dan pengawasan secara terpadu. Hal ini untuk menghindari adanya permasalahan banjir dan kerugian banjir yang lebih besar.

Daerah bantaran sungai yang ada di kanan kiri sungai sebelah dalam tanggul banjir, sangat bermanfaat untuk mengalirkan banjir atau menambah kapasitas pengaliran banjir pada waktu terjadinya banjir. Maka pemanfaatan bantaran sungai harus hati - hati dan bersifat sementara, sehingga fungsi bantaran sungai tidak terganggu.

Apabila bantaran dipakai sebagai lahan pertanian, maka pada waktu musim hujan tanaman tersebut harus sudah dipanen, sehingga tidak menghambat pengaliran sungai. Sedangkan jika dipakai untuk kegiatan lain, seperti olahraga dan lain-lain, maka fasilitas bangunan harus bersifat sementara yang dapat dibongkar pasang. Sehingga pada waktu tak ada aktivitas barang - barang atau bangunan tersebut dapat diambil dan tidak mengganggu aliran sungai.

9. Asuransi

Untuk meminimalisir kerugian akibat bencana banjir, maka disarankan agar setiap orang atau badan instansi mengasuransikan aset berharga yang memiliki nilai tinggi dan fungsi yang vital. Dengan adanya asuransi maka pemilik bisa mengklaim sejumlah uang pengganti, sehingga kerugian atas rusaknya / hilangnya barang dapat ditekan.

10. Law Enforcement

Salah satu hal yang sangat penting dalam pengelolaan bencana adalah penegakkan hukum (*law enforcement*). Peraturan-perundangan telah banyak diterbitkan. Namun pada implementasi, sering peraturan dilanggar. Pelanggaran tidak diikuti dengan sanksi maupun hukuman yang tegas, walaupun sudah dinyatakan eksplisit dalam aturan. Pengawasan oleh pihak berwenang (lebih dominan dari Pemerintah) tidak dilakukan.

Sebagai contoh: masyarakat menganggap bahwa sungai (atau saluran drainase) adalah tempat pembuangan. Sehingga yang terjadi di banyak tempat terutama di kota-kota besar, banyak sampah sebagai *output* dari aktifitas manusia langsung di buang di sungai. Padahal sungai (atau drainase) adalah jalan air yang harus berfungsi pada waktu hujan mengalirkan kelebihan air. Pembuangan sampah ke sungai dapat dikatakan sebagai salah satu contoh bentuk pelanggaran yang dilakukan secara kolektif dan tidak ada sanksi.

Contoh lain pelanggaran hukum adalah bangunan permanen yang didirikan di bantaran sungai atau drainase. Peraturan tentang garis sempadan sungai telah diterbitkan namun tetap dilanggar juga. Banyak bangunan - bangunan untuk berbagai kepentingan seperti rumah, warung, pertokoan dan lainnya didirikan di atas bantaran sungai. Dampaknya adalah sungai menjadi tempat buangan (sampah), pemeliharaan sungai menjadi sulit karena tidak ada akses yang ke sungai, sungai tidak bisa lagi dilebarkan, sungai menjadi tempat pemandangan yang tidak indah bahkan cenderung jadi tempat kumuh dan berbau.

Contoh-contoh tersebut merupakan pelanggaran eksplisit yang dapat dilihat langsung. Penegakan hukum untuk contoh tersebut menjadi sulit dilakukan tatkala penghuni atau pemilik bangunan memiliki izin untuk mendirikan bangunan di sempadan sungai yang dikeluarkan oleh instansi resmi. Pemilik atau penghuni umumnya juga memiliki bukti pembayaran pajak bumi dan bangunan (PBB) dan juga bukti pembayaran rekening listrik sehingga dengan izin dan bukti pembayaran dianggap sebagai bukti pengesahan untuk bangunan tersebut.

Pelanggaran hukum menjadi lebih kompleks bila terjadi perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali yang mengakibatkan dampak tidak langsung terhadap penurunan daya dukung lingkungan.

Sebagai contoh di hulu daerah aliran sungai yang memiliki pesona pemandangan yang indah bangunan permanen baik rumah, perumahan (*real estate*), hotel, restoran, dll. tumbuh subur dan tidak terkendali. Secara teknis diketahui bahwa perubahan lahan menjadi bangunan permanen akan mengakibatkan aliran permukaan (*run-off*) meningkat dan pengurangan resapan air ke dalam tanah. Akibatnya secara cepat dapat dirasakan bahwa bencana banjir di wilayah hilir menjadi lebih besar dan berkurangnya cadangan air di dalam tanah.

Dengan kata lain perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali (yang dapat disebut sebagai bentuk pelanggaran) meningkatkan bencana banjir, bencana kekeringan, dan bencana longsor.

Dengan melihat contoh-contoh tersebut maka penegakkan hukum perlu terus dilakukan dengan berbagai cara dan upaya. Cara – cara dan upaya antara lain dapat berupa:

- Sosialisasi peraturan - perundangan yang berkaitan dengan bencana kepada semua *stakeholder*.
- Hal - hal substansi tentang aturan dan sanksinya perlu disosialisasikan lebih detail. Misalkan dengan cara pemasangan papan aturan dan sanksi di tempat - tempat strategis.
- Sosialisasi dapat dilakukan dalam pendidikan formal sejak dini mulai anak bersekolah dari TK, SD sampai universitas.
- Sosialisasi pendidikan non - formal dapat dilakukan melalui berbagai cara misalnya dalam iklan media massa cetak maupun visual (tv), leaflet, papan pengumuman di tempat strategis.
- Perlu *shock therapy* yaitu dengan misalnya menerapkan sanksi, denda, atau hukuman maksimal dari aturan yang ada. Hal ini dimaksudkan agar *stakeholders* menjadi jera dan mau mentaati aturan yang berlaku.
- Perlu lembaga pengawasan yang melekat pada instansi. Lembaga ini berfungsi mengawasi pengelolaan bencana baik internal maupun eksternal.
- Karena isu - isu yang kompleks tersebut maka diperlukan kolaborasi yang baik antara institusi pengelolaan bencana dengan institusi penegakan hukum.

Implementasi penegakan hukum dilakukan dengan cara bertahap.

2.2.5. Penanganan sungai

Sebagian besar air hujan yang turun ke permukaan tanah, mengalir ke tempat - tempat yang lebih rendah dan setelah mengalami bermacam - macam perlawanan akibat gaya berat, akhirnya melimpah ke danau atau ke laut. Suatu alur yang panjang diatas permukaan bumi tempat mengalirnya air yang berasal dari hujan disebut alur sungai, dan perpaduan antara alur sungai dan aliran air didalamnya disebut sungai.

Definisi di atas merupakan definisi sungai yang ilmiah alami, sedangkan undang - undang persungai Jepang menjelaskan mengenai daerah sungai sebagai berikut :

1. Suatu daerah yang di dalamnya terdapat air yang mengalir secara terus menerus
2. Suatu daerah yang kondisi topografinya, keadaan tanamannya, dan keadaan lainnya mirip dengan daerah yang di dalamnya terdapat air yang mengalir secara terus menerus (termasuk tanggul sungai, tetapi tidak termasuk bagian daerah yang hanya secara sementara memenuhi keadaan tersebut diatas, yang disebabkan oleh banjir atau peristiwa alam lainnya).

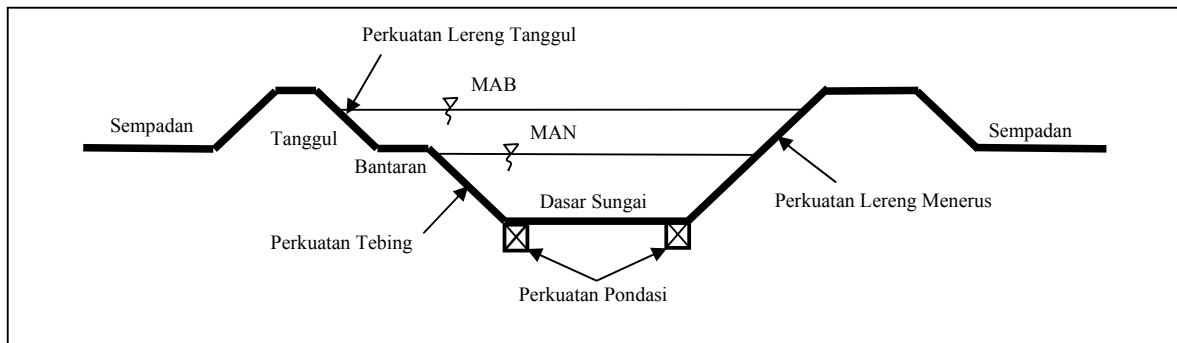
Jadi sungai adalah salah satu dari sumber daya alam yang bersifat mengalir (*flowing resources*), sehingga pemanfaatan air di hulu akan menghilangkan peluang di hilir (*opportunity value*), pencemaran di hulu akan menimbulkan biaya sosial di hilir (*externality effect*) dan pelestarian di hulu akan memberikan manfaat di hilir.

Suatu daerah yang tertimpa hujan dan kemudian air hujan ini menuju sebuah sungai, sehingga berperan sebagai sumber air sungai tersebut dinamakan daerah pengaliran sungai dan batas antara dua daerah pengaliran sungai yang berdampingan disebut batas daerah pengaliran. Wilayah sungai itu sendiri merupakan satu kesatuan wilayah pengembangan sungai

Mulai dari mata airnya di bagian paling hulu di daerah pegunungan dalam perjalanannya ke hilir di daerah dataran, aliran sungai secara berangsur - angsur berpadu dengan banyak sungai lainnya, sehingga lambat laun tubuh sungai menjadi semakin besar. Kadang - kadang sungai yang bermuara di danau atau di pantai laut terdiri dari beberapa cabang. Apabila sungai semacam ini mempunyai lebih dari 2(dua) cabang, maka sungai yang paling penting, yakni sungai yang daerah pengalirannya, panjangnya, dan volume airnya paling besar disebut sungai utama (*main river*), sedang cabang - cabangnya disebut anak sungai (*tributary*). Kadang - kadang sebelum alirannya berakhir di sebuah danau atau pantai laut, sungai membentuk beberapa buah cabang yang disebut cabang sungai (*enfluent*).

(Suyono Sosrodarsono, "Perbaikan dan Pengaturan Sungai")

Menurut penampang melintangnya, sungai terdiri dari bagian – bagian sebagai berikut seperti pada gambar 2.4..



Gambar 2.4 Penampang Melintang Sungai

Bantaran Sungai = Lahan pada kedua sisi sepanjang palung sungai dihitung dari tepi sampai dengan kaki tanggul sebelah dalam.

Sempadan Sungai = Daerah yang terletak di luar tanggul sungai dibatasi garis sempadan dengan kaki tanggul sebelah luar / antara garis sempadan dengan tebing sungai tertinggi untuk sungai tidak bertanggul.

Garis batas luar pengaman sungai (garis sempadan) dihitung 5 m dari luar kaki tanggul untuk sungai bertanggul, dan ditetapkan sendiri untuk sungai yang tidak bertanggul dan bangunan – bangunan air sungai. Untuk sungai tak bertanggul, garis sempadan ditetapkan berdasarkan pertimbangan teknis dan sosial ekonomis.

Sumber: Y. Sudaryoko, "Pedoman Penanggulangan Banjir, 1987"

2.2.5.1. Morfologi sungai

Menurut letak geografis, karakteristik alur sungai terdiri atas :

- a. Bagian Hulu
Ditandai adanya penggerusan dasar sungai, kemiringan dasar sungai yang curam, material dasar sungai berupa pasir – boulder, aliran deras, penampang sempit dan curam.
- b. Bagian Tengah
Ditandai dengan penggerusan tebing, alur bermeander, material lempung – pasir, kemiringan dasar sungai relatif.
- c. Bagian Hilir

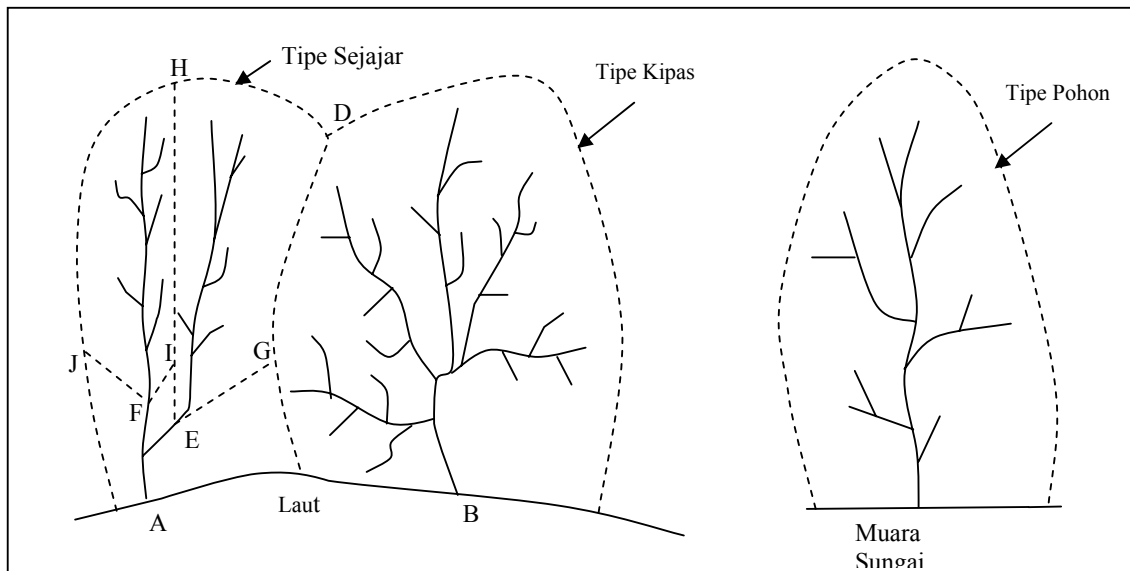
Ditandai dengan adanya sedimentasi di dasar sungai, tipe alur *braided* dan terjadi pembentukan delta, kemiringan dasar sungai landai, lebar sungai besar, penampang lebar dan landai.

Secara skematis, gambar 2.5. memperlihatkan 2 (dua) buah sungai yang mengalir ke laut. Daerah pengaliran sungai A dikelilingi oleh AGDHJ dan daerah pengaliran yang ada hubungannya dengan titik E adalah daerah yang dikelilingi EGDHI. Garis putus - putus GD adalah batas daerah A dan B, dan garis putus - putus HI adalah batas daerah pengaliran anak sungai E dan F daripada sungai A. Lokasi anak sungai dalam suatu daerah pengaliran terutama ditentukan oleh keadaan daerahnya. Sungai A pada gambar 2.5. mempunyai 2 (dua) anak sungai yang mengalir bersama - sama dan bertemu setelah mendekati muara yang disebut sungai tipe sejajar.

Sebaliknya ada pula sungai - sungai yang anak - anak sungainya mengalir menuju suatu titik pusat (sungai D) pada gambar 2.5. yang disebut tipe kipas. Ada pula tipe - tipe lainnya seperti tipe cabang pohon (lihat gambar 2.5.) yang mempunyai beberapa anak sungai yang mengalir ke sungai utama di kedua sisinya pada jarak - jarak tertentu.

Dalam keadaan sesungguhnya kebanyakan tidaklah sesederhana sebagaimana uraian di atas, akan tetapi merupakan perpaduan dari ketiga tipe tersebut.

(*Suyono Sosrodarsono, "Perbaikan dan Pengaturan Sungai"*)

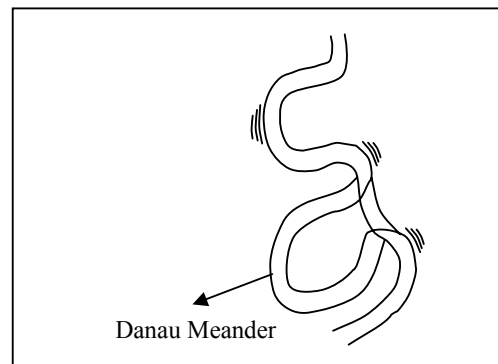


Gambar 2.5 Daerah Pengaliran Sungai dan Pola Susunan Anak – Anak Sungainya

2.2.5.2. Perilaku sungai

Sungai adalah suatu saluran drainase yang terbentuk secara alamiah. Akan tetapi disamping fungsinya sebagai saluran drainase dan dengan adanya air yang mengalir di dalamnya, sungai menggerus tanah dasarnya secara terus menerus sepanjang masa eksistensinya dan terbentuklah lembah - lembah sungai. Volume sedimen yang sangat besar yang dihasilkan dari keruntuhan tebing - tebing sungai di daerah pegunungan dan tertimbun di daerah sungai tersebut, terangkut ke hilir oleh aliran sungai. Karena di daerah pegunungan kemiringan sungainya curam, gaya tarik aliran airnya cukup besar. Tetapi setelah aliran sungai mencapai daratan, maka gaya tariknya sangat menurun. Dengan demikian beban yang terdapat dalam arus sungai berangsur - angsur diendapkan. Karena itu ukuran butiran sedimen yang mengendap di bagian hulu sungai lebih besar daripada di bagian hilirnya.

Dengan terjadinya perubahan kemiringan yang mendadak pada saat alur sungai ke luar dari daerah pegunungan yang curam dan memasuki dataran yang lebih landai, maka pada lokasi ini terjadi proses pengendapan yang sangat intensif yang menyebabkan mudah berpindahnya alur sungai dan tersebut apa yang disebut dengan kipas pengendapan. Pada lokasi tersebut sungai bertambah lebar dan dangkal, erosi dasar sungai tidak lagi dapat terjadi, bahkan sebaliknya terjadi pengendapan yang sangat intensif. Dasar sungai secara terus menerus naik, dan sedimen yang hanyut terbawa arus banjir, bersama dengan luapan air banjir tersebar dan mengendap secara luas membentuk dataran alluvial. Pada daerah dataran yang rata alur sungai tidak stabil dan apabila sungai mulai membelok, maka terjadilah erosi pada tebing belokan luar yang berlangsung secara intensif, sehingga terbentuklah meander seperti yang tertera pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Meander Sungai

Meander semacam ini umumnya terjadi pada ruas - ruas sungai di dataran rendah dan apabila proses meander berlangsung terus, maka pada akhirnya terjadi sudetan alam pada dua belokan luar yang sudah sangat dekat dan terbentuklah sebuah danau.

(.Suyono Sosrodarsono, “Perbaikan dan Pengaturan Sungai”)

2.2.5.3. Peranan sungai

Sungai mempunyai peranan yang sangat besar bagi perkembangan peradaban manusia, yakni dengan menyediakan daerah - daerah subur yang umumnya terletak di lembah - lembah sungai dan sumber air bagi sumber kehidupan yang paling utama bagi kemanusiaan. Demikian pula sungai menyediakan dirinya sebagai sarana transportasi guna meningkatkan mobilitas serta komunikasi antar manusia. Di daerah pegunungan air digunakan untuk pembangkit tenaga listrik dan juga memegang peranan utama sebagai sumber air untuk kebutuhan irigasi, penyediaan air minum, kebutuhan industri, dan lain - lain. Selain itu sungai berguna pula sebagai tempat yang ideal untuk pariwisata, pengembangan perikanan, dan sarana lalu lintas sungai. Ruas - ruas sungai yang melintasi daerah permukiman yang padat biasanya dipelihara dengan sebaik - baiknya dan dimanfaatkan oleh penduduk sebagai ruang terbuka. sungai - sungai berfungsi sebagai saluran pembuang untuk menampung air selokan kota dan air buangan dari areal - areal pertanian.

(Suyono Sosrodarsono, “Perbaikan dan Pengaturan Sungai”)

2.2.5.4. Jenis penanganan sungai

Tujuan utama secara keseluruhan dari pekerjaan pengendalian sungai adalah untuk menciptakan stabilitas sungai yang berarti untuk mencapai kesetimbangan dan tidak akan terdapat perubahan - perubahan penting dalam arah alirannya, sedimen, degradasi, dan sebagainya.

Ada beberapa cara yang dipakai dalam pengendalian sungai, antara lain :

- Pembangunan Tanggul (*Embankment, Levee*)
- Lapisan Pelindung Tebing (*Revetment*)
- Dinding Kendali (*Training Wall*)
- Tanggul Tangkis (*Groyne*)
- Perbaikan Sungai (*River Improvement*)

1. Pembangunan Tanggul (*Levee*)

Tanggul harus dibangun dengan bahan yang memenuhi persyaratan, dilaksanakan dengan persyaratan teknis yang semestinya, dan dibangun di atas tanah pondasi yang cukup baik. Perkiraan kemampuan daya dukung tanah pondasi yang lemah dibuat berdasarkan hubungan relatif antara tanah pondasi tersebut dengan persyaratan teknis bangunan yang akan didirikan di atasnya.

2. Lapisan Pelindung Tebing (*Revetment*)

Perkuatan lereng adalah bangunan yang ditempatkan pada permukaan suatu lereng guna melindungi suatu tebing alur sungai atau permukaan lereng tanggul dan secara keseluruhan berperan meningkatkan stabilitas alur sungai atau tubuh tanggul yang dilindunginya.

Berdasarkan lokasi, perkuatan lereng dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu perkuatan lereng tanggul (*levee revetment*), perkuatan tebing sungai (*low water revetment*) dan perkuatan lereng menerus (*high water revetment*).

a. Perkuatan Lereng Tanggul.

Dibangun pada permukaan lereng tanggul guna melindunginya terhadap gerusan arus sungai dan konstruksi yang kuat perlu dibuat pada tanggul - tanggul yang sangat dekat dengan tebing alur sungai atau apabila diperkirakan terjadi pukulan air (*water hammer*).

b. Perkuatan Tebing Sungai.

Perkuatan semacam ini diadakan pada tebing alur sungai, guna melindungi tebing tersebut terhadap gerusan arus sungai dan mencegah proses *meander* pada alur sungai. Selain itu harus diadakan pengamanan - pengamanan terhadap kemungkinan kerusakan terhadap kerusakan semacam ini, karena di saat terjadinya banjir bangunan tersebut akan tenggelam seluruhnya.

c. Perkuatan Lereng Menerus.

Perkuatan lereng menerus dibangun pada lereng tanggul dan tebing sungai secara terus - menerus (pada bangunan yang tidak ada bantarannya).

3. Dinding Kendali (*Training Wall*)

Dinding kendali / pengarah ini biasanya digunakan untuk pengarah aliran, pembedahan belokan - belokan sungai dan penyempitan alur sungai. Dinding kendali ini sering dibangun bersama - sama dengan tanggul tangkis terutama pada belokan - belokan tajam. Dinding kendali juga digunakan untuk melindungi konstruksi jembatan, bendung dan sebagainya.

4. Tanggul Tangkis (*Groyne*)

Tanggul tangkis sering juga disebut groyne atau krib. Krib adalah bangunan yang dibuat mulai dari tebing sungai ke arah tengah guna mengatur arus sungai, dan tujuan utamanya adalah seperti berikut :

1. Mengatur arah arus sungai.
2. Mengurangi kecepatan arus sungai sepanjang tebing sungai, mempercepat sedimentasi, dan menjamin keamanan tanggul / tebing terhadap gerusan.
3. Mempertahankan lebar dan kedalaman air pada alur sungai.
4. Mengkonsentrasikan arus sungai dan memudahkan penyadapan.

Secara garis besar terdapat 4 tipe konstruksi krib yaitu:

a. Krib Permeabel

Pada tipe permeabel air dapat mengalir melalui krib. Krib permeabel tersebut melindungi tebing terhadap gerusan arus sungai dengan cara meredam energi yang terkandung dalam aliran sepanjang tebing sungai dan bersamaan dengan itu mengendapkan sedimen yang terkandung dalam aliran tersebut.

b. Krib Impermeabel

Krib tipe impermeabel disebut pula krib padat, air sungai tidak dapat mengalir melalui tubuh krib. Krib tipe ini dipergunakan untuk membelokkan arah arus sungai dan karenanya sering terjadi gerusan yang cukup dalam di depan ujung krib tersebut atau bagian di sebelah hilirnya. Krib impermeabel dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu jenis yang terbenam dan jenis tidak terbenam.

Pada jenis yang terbenam biasanya terjadi penggerusan yang dalam di sisi hilir krib, karena kribnya terlompas arus air. Sehingga di sisi hilir krib berfungsi sebagai kolam olakan. Sedangkan pada jenis yang tidak terbenam sering menyebabkan terjadinya turbulensi aliran di bagian ujung dari krib - krib tersebut, sehingga menimbulkan gerusan yang cukup dalam juga.

c. Krib Semi -Permeabel

Krib semi permeabel ini berfungsi ganda yaitu sebagai krib permeabel dan krib padat. Biasanya bagian yang padat terletak di sebelah bawah dan berfungsi sebagai pondasi, sedang bagian atasnya merupakan konstruksi yang permeabel disesuaikan dengan fungsi dan kondisi setempat. Tujuan dari krib semi permeabel adalah agar dapat diperoleh efek positif dari kedua tipe krib di atas, yaitu di satu pihak lebih meningkatkan kemampuan pengaturan arus sungai dan dipihak lain meningkatkan stabilitas krib tersebut dengan penempatan sedemikian rupa, sehingga dapat dibatasi bahkan dapat mencegah gerusan yang terlalu dalam.

d. Krib -Krib Silang dan Memanjang

Krib yang formasinya tegak lurus atau hampir tegak lurus arah arus sungai dapat merintang arus tersebut dan dinamakan krib melintang (*transversal dyke*), sedang krib yang formasinya hampir sejajar arah arus sungai disebut krib memanjang (*longitudinal dyke*). Biasanya gerusan dasar sungai secara intensif terjadi di depan ujung krib melintang. Oleh karena itu perlu diadakan pelindung berupa krib memanjang di ujung depan krib - krib melintang tersebut.

5. Perbaikan sungai

Pada alur sungai yang memiliki kemiringan dasar yang kecil akan cenderung terjadi sedimentasi. Akibat adanya sedimen ini maka alur sungai akan menjadi sempit dan dangkal sehingga mengganggu aliran air dan akan terjadi kenaikan muka air banjir.

Pengerukan alur sungai dapat pula dilaksanakan pada tikungan dalam yang telah mengalami sedimentasi sehingga pola aliran air berubah dan cenderung merusak tebing sungai pada tikungan luar. Dalam hal ini pengerukan sedimen bertujuan untuk mengembalikan alur dan pola aliran seperti semula.

Debit banjir rencana pada setiap profil sungai merupakan data yang paling penting untuk perencanaan perbaikan dan pengaturan sungai. Debit rencana pada setiap profil sungai ditetapkan setelah diadakan perhitungan statistik dari data yang tercatat disesuaikan dengan tingkat pengamanan banjir yang diinginkan.

Sesuai dengan prosedur, debit banjir yang mengalir dari tiap anak sungai ditetapkan terlebih dahulu dan debit banjir rencana dihitung dengan adanya penjumlahan kurva debit anak sungai dan sungai utamanya, juga memperhitungkan adanya kemungkinan pemotongan debit oleh waduk pengendali banjir.

Apabila peta lokasi debit banjir rencana seperti uraian di atas sudah diperoleh, maka untuk setiap ruas sungai akan ditentukan tinggi muka air, bentuk potongan memanjang, potongan melintang, dan tinggi tanggulnya dengan memperlihatkan sungai dalam keadaan semula. Unsur - unsur tersebut sangat erat hubungannya satu dengan yang lainnya dan hanya dapat ditetapkan setelah dilakukan alternatif. Dengan demikian rencana perbaikan dan pengaturan sungai yang paling memadai hanya dapat ditentukan setelah dilakukan coba banding antara berbagai alternatif tersebut.

2.3. Analisis Hidrologi

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi (*hydrologic phenomena*), seperti besarnya : curah hujan, temperatur, penguapan, lamanya penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran, konsentrasi sedimen sungai akan selalu berubah terhadap waktu (Soewarno, 1995).

Data hidrologi dianalisis untuk membuat keputusan dan menarik kesimpulan mengenai fenomena hidrologi berdasarkan sebagian data hidrologi yang dikumpulkan (Soewarno, 1995).

Adapun langkah-langkah dalam analisis hidrologi adalah sebagai berikut :

- ❖ Menentukan Daerah Aliran Sungai (DAS) beserta luasnya.
- ❖ Menganalisis distribusi curah hujan dengan periode ulang T tahun.
- ❖ Menganalisis frekuensi curah hujan.
- ❖ Mengukur dispersi.
- ❖ Memilih jenis sebaran.
- ❖ Menguji kecocokan sebaran.
- ❖ Menghitung debit banjir rencana berdasarkan besarnya curah hujan rencana di atas pada periode ulang T tahun untuk menentukan bangunan pengendali banjir.

2.3.1. Perencanaan Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) (*catchment, basin, watershed*) merupakan daerah dimana semua airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yang berarti ditetapkan berdasar aliran air permukaan. Batas ini tidak ditetapkan berdasar air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan pemakaian.

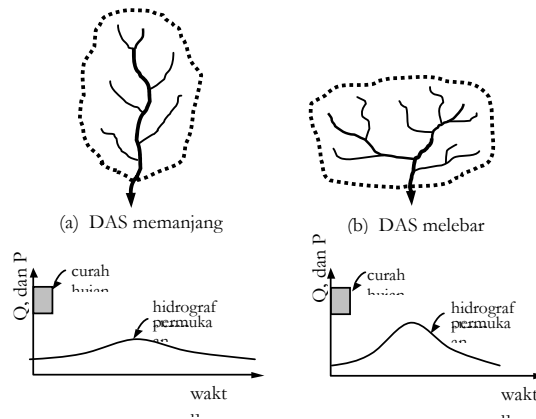
Nama sebuah DAS ditandai dengan nama sungai yang bersangkutan dan dibatasi oleh titik kontrol, yang umumnya merupakan stasiun hidrometri. Memperhatikan hal tersebut berarti sebuah DAS dapat merupakan bagian dari DAS lain (Sri Harto Br., 1993). Dalam sebuah DAS kemudian dibagi dalam area yang lebih kecil menjadi sub-DAS. Penentuan batas-batas sub-DAS berdasarkan kontur, jalan dan rel KA yang ada di lapangan untuk menentukan arah aliran air.

Karakteristik DAS yang berpengaruh besar pada aliran permukaan meliputi (Suripin, 2004):

❖ Luas dan bentuk DAS

Laju dan volume aliran permukaan makin bertambah besar dengan bertambahnya luas DAS. Tetapi apabila aliran permukaan tidak dinyatakan sebagai jumlah total dari DAS, melainkan sebagai laju dan volume per satuan luas, besarnya akan berkurang dengan bertambahnya luasnya DAS. Ini berkaitan dengan waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke titik kontrol (waktu konsentrasi) dan juga penyebaran atau intensitas hujan.

Bentuk DAS mempunyai pengaruh pada pola aliran dalam sungai. Pengaruh bentuk DAS terhadap aliran permukaan dapat ditunjukkan dengan memperhatikan hidrograf-hidrograf yang terjadi pada dua buah DAS yang bentuknya berbeda namun mempunyai luas yang sama dan menerima hujan dengan intensitas yang sama.

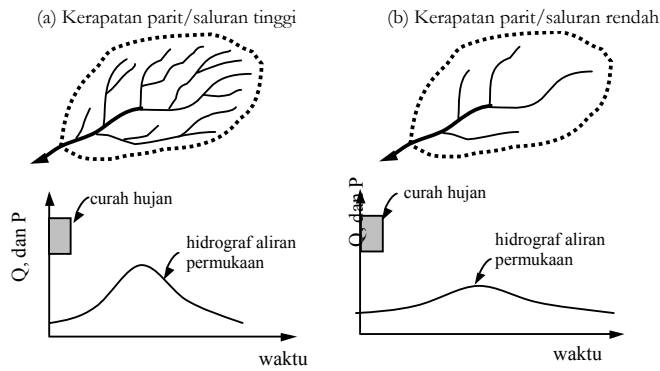


Gambar 2.7 Pengaruh bentuk DAS pada aliran permukaan

Bentuk DAS yang memanjang dan sempit cenderung menghasilkan laju aliran permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan DAS yang berbentuk melebar atau melingkar. Hal ini terjadi karena waktu konsentrasi DAS yang memanjang lebih lama dibandingkan dengan DAS yang melebar, sehingga terjadinya konsentrasi air di titik kontrol lebih lambat yang berpengaruh pada laju dan volume aliran permukaan. Faktor bentuk juga dapat berpengaruh pada aliran permukaan apabila hujan yang terjadi tidak serentak diseluruh DAS, tetapi bergerak dari ujung yang satu ke ujung lainnya. Pada DAS memanjang laju aliran akan lebih kecil karena aliran permukaan akibat hujan di hulu belum memberikan kontribusi pada titik kontrol ketika aliran permukaan dari hujan di hilir telah habis, atau mengecil. Sebaliknya pada DAS melebar, datangnya aliran permukaan dari semua titik di DAS tidak terputus banyak, artinya air dari hulu sudah tiba sebelum aliran dari mengecil/habis.

❖ Topografi

Tampakan rupa muka bumi atau topografi seperti kemiringan lahan, keadaan dan kerapatan parit dan/atau saluran, dan bentuk-bentuk cekungan lainnya mempunyai pengaruh pada laju dan volume aliran permukaan. DAS dengan kemiringan curam disertai parit/saluran yang rapat akan menghasilkan laju dan volume aliran permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan DAS yang landai dengan parit yang jarang dan adanya cekungan-cekungan. Pengaruh kerapatan parit, yaitu panjang parit per satuan luas DAS, pada aliran permukaan adalah memperpendek waktu konsentrasi, sehingga memperbesar laju aliran permukaan.



Gambar 2.8 Pengaruh kerapatan parit/saluran pada hidrograf aliran permukaan

❖ **Tata guna lahan**

Pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C), yaitu bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Angka koefisien aliran permukaan ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Nilai C berkisar antara 0 sampai 1. Nilai $C = 0$ menunjukkan bahwa semua air hujan terintersepsi dan terinfiltrasi ke dalam tanah, sebaliknya untuk nilai $C = 1$ menunjukkan bahwa semua air hujan mengalir sebagai aliran permukaan.

2.3.2. Analisa Distribusi Curah Hujan

Hal yang penting dalam pembuatan rancangan dan rencana adalah distribusi curah hujan. Distribusi curah hujan adalah berbeda-beda sesuai dengan jangka waktu yang ditinjau yakni curah hujan tahunan (jumlah curah hujan dalam setahun), curah hujan bulanan (jumlah curah hujan sebulan), curah hujan harian (jumlah curah hujan 24 jam), curah hujan per jam.

2.3.3. Analisa Frekuensi Curah Hujan

Analisis frekuensi diperlukan seri data hujan yang diperoleh dari pos penakar hujan, baik yang manual maupun yang otomatis. Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan yang akan datang. Dengan anggapan bahwa sifat statistik kejadian hujan yang akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu (Suripin, 2004).

Perencanaan persungai biasanya diadakan setelah ditentukannya batas-batas besaran hidrologi yang terjadi karena fenomena alam yang mendadak dan tidak normal. Karena itu perlu dihitung kemungkinan debit atau curah hujan yang lebih kecil atau lebih besar dari suatu nilai tertentu, berdasarkan data-data yang diperoleh sebelumnya (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985).

2.3.4. Pengukuran Dispersi

Dalam analisis frekuensi curah hujan data hidrologi dikumpulkan, dihitung, disajikan dan ditafsirkan dengan menggunakan prosedur tertentu, yaitu metode statistik. Pada kenyataannya bahwa tidak semua varian dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau dispersi adalah besarnya derajat atau besaran varian di sekitar nilai rata-ratanya. Cara mengukur besarnya dispersi disebut pengukuran dispersi (Soewarno, 1995). Adapun cara pengukuran dispersi antara lain :

- ❖ Deviasi Standar (S)
- ❖ Koefisien *Skewness* (Cs)
- ❖ Pengukuran *Kurtosis* (Ck)
- ❖ Koefisien Variasi (Cv)

2.3.4.1. Deviasi Standar (S)

Umumnya ukuran dispersi yang paling banyak digunakan adalah deviasi standar (*standard deviation*) dan varian (*variance*). Varian dihitung sebagai nilai kuadrat dari deviasi standar. Apabila penyebaran data sangat besar terhadap nilai rata-rata maka nilai standar deviasi akan besar, akan tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka standar deviasi akan kecil.

Rumus :

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}{(n-1)} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

S = deviasi standar

X_i = nilai variat

\bar{X} = nilai rata-rata

n = jumlah data

2.3.4.2. Koefisien Skewness (Cs)

Kemencengan (*skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan (*assymetry*) dari suatu bentuk distribusi. Umumnya ukuran kemencengan dinyatakan dengan besarnya koefisien kemencengan (*coefficient of skewness*).

Rumus :

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

CS = koefisien kemencengan

X_i = nilai variat

\bar{X} = nilai rata-rata

n = jumlah data

S = standar deviasi

2.3.4.3. Pengukuran Kurtosis (Ck)

Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal.

Rumus :

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S^4} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

Ck = koefisien kurtosis

X_i = nilai variat

- \bar{X} = nilai rata-rata
- n = jumlah data
- S = standar deviasi

2.3.4.4. Koefisien Variasi (Cv)

Koefisien variasi (*variation coefficient*) adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi.

Rumus :

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

- Cv = koefisien variasi
- S = standar deviasi
- \bar{X} = nilai rata-rata

Dari nilai-nilai tersebut, kemudian dilakukan pemilihan jenis sebaran yaitu dengan membandingkan koefisien distribusi dari metode yang akan digunakan.

2.3.5. Pemilihan Jenis Sebaran

Ada berbagai macam distribusi teoritis yang kesemuanya dapat dibagi menjadi dua yaitu distribusi diskrit dan distribusi kontinyu. Yang diskrit adalah binomial dan poisson, sedangkan yang kontinyu adalah Normal, Log Normal, Pearson dan Gumbel (Soewarno, 1995).

Berikut ini adalah beberapa macam distribusi yang sering digunakan, yaitu:

2.3.5.1. Distribusi Normal

Dalam analisis hidrologi distribusi normal banyak digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan. Distribusi normal atau kurva normal disebut pula distribusi *Gauss*.

Rumus :

$$X_t = X_{rt} + k * S \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

X_t = curah hujan rencana

X_{rt} = curah hujan rata-rata

k = koefisien untuk distribusi Normal

S = standar deviasi

2.3.5.2. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X.

Rumus :

$$\text{Log}X_t = \text{Log}X_{rt} + k * S \dots\dots\dots(2.6)$$

$$X_t = 10^{\text{Log}X_t} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

X_t = curah hujan rencana

X_{rt} = curah hujan rata-rata

k = koefisien untuk distribusi Normal

S = standar deviasi

2.3.5.3. Distribusi Gumbel I

Distribusi Tipe I Gumbel atau Distribusi Extrim Tipe I (*extreme type I distribution*) digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekuensi banjir.

Rumus :

$$X_t = X_{rt} + \left(\frac{Y - Y_n}{S_n} \right) * S \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

- X_t = curah hujan rencana
- X_{rt} = curah hujan rata-rata
- S = standar deviasi
- S_n = standar deviasi ke n
- Y = koefisien untuk distribusi Gumbel
- Y_n = koefisien untuk distribusi Gumbel ke n

2.3.5.4. Distribusi Log Person Tipe III

Distribusi log-Pearson tipe III banyak digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrim. Bentuk distribusi log-Pearson tipe III merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson tipe III dengan menggantikan variat menjadi nilai logaritmik.

Rumus :

$$\text{Log}X_t = \text{Log}X_{rt} + k * S \dots\dots\dots (2.9)$$

$$X_t = 10^{\text{Log}X_t} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

- X_t = curah hujan rencana
- X_{rt} = curah hujan rata-rata
- k = koefisien untuk distribusi Log Pearson
- S = standar deviasi

2.3.6. Pengujian Kecocokan Sebaran

Untuk menentukan kecocokan (*the goodness of fit test*) distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan/mewakili distribusi frekuensi tersebut diperlukan pengujian parameter. Pengujian parameter dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu Chi-Kuadrat ataupun dengan Smirnov-Kolmogorov. Umumnya pengujian dilaksanakan dengan cara menggambarkan data pada kertas peluang dan menentukan apakah data tersebut merupakan garis lurus, atau dengan membandingkan kurva frekuensi dari data pengamatan terhadap kurva frekuensi teoritisnya. (Soewarno, 1995).

2.3.6.1. Uji Chi-Kuadrat

Uji chi-kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter χ^2 , oleh karena itu disebut dengan uji Chi-Kuadrat.

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut :

- ❖ Apabila peluang lebih dari 5 % maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- ❖ Apabila peluang lebih kecil dari 1 % maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- ❖ Apabila peluang berada diantara 1 % - 5 %, maka tidak mungkin mengambil keputusan, perlu penambahan data.

2.3.6.2. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov, sering juga disebut uji kecocokan non parametrik (*non parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Pengujian kecocokan sebaran dengan cara ini dinilai lebih sederhana dibanding dengan pengujian dengan cara Chi-Kuadrat. Dengan membandingkan kemungkinan (*probability*) untuk setiap variat, dari distribusi empiris dan teoritisnya, akan terdapat perbedaan (Δ) tertentu.

Apabila harga Δ max yang terbaca pada kertas probabilitas lebih kecil dari Δ kritis maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, apabila Δ max lebih besar dari Δ kritis maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

2.4. Analisis Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana (*design flood*) adalah besarnya debit yang direncanakan melewati penampang sungai dengan periode ulang tertentu. Besarnya debit banjir ditentukan berdasarkan curah hujan dan aliran sungai antara lain : besarnya hujan, intensitas hujan, dan luas Daerah Pengaliran Sungai (DAS).

Untuk mencari debit banjir rencana dapat digunakan beberapa metode diantaranya hubungan empiris antara curah hujan dengan limpasan. Metode ini paling banyak dikembangkan sehingga didapat beberapa rumus diantaranya sebagai berikut :

- Metode Rasional.
- Metode Melchior.
- Metode Weduwen.
- Metode Haspers.
- Metode FSR Jawa – Sumatera

2.4.1. Metode Rasional

Perhitungan metode rasional menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Qt = \frac{1}{3,6} * \alpha * r * F \dots\dots\dots (2.11)$$

(Joesron Loebis, 1987, "Banjir Rencana untuk Bangunan Air")

- intensitas curah hujan (r)

$$r = \frac{R_{24}}{24} * \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \dots\dots\dots (2.12)$$

- waktu konsentrasi (t)

$$t = \frac{L}{72 * (i)^{0,6}} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$= 0,0133L * i^{-0,6}$$

dimana :

Qt = debit banjir rencana (m³/det).

- α = koefisien pengaliran / *run off*.
 r = intensitas curah hujan selama periode ulang t tahun (mm/jam).
 F = luas daerah aliran (km²).
 R_{24} = curah hujan rencana maksimum dalam 24 jam (mm).
 l = gradien sungai atau kemiringan rata-rata sungai (10% bagian hulu dari panjang sungai tidak dihitung. Beda tinggi dan panjang diambil dari suatu titik 0,1 L dari batas hulu DAS).
 t = waktu konsentrasi (jam).
 L = jarak dari ujung daerah hulu sampai titik yang ditinjau (km).

Koefisien *run off* tergantung dari beberapa faktor antara lain jenis tanah, kemiringan, luas dan bentuk pengaliran sungai. Sedangkan besarnya nilai koefisien pengaliran dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Koefisien Pengaliran (α)

Kondisi Daerah Pengaliran	Koefisien <i>Runoff</i>
Bergunung dan curam	0,75 – 0,90
Pegunungan tersier	0,70 – 0,80
Sungai dengan tanah dan hutan dibagian atas dan bawahnya	0,50 – 0,75
Tanah datar yang ditanami	0,45 – 0,60
Sawah waktu diiri	0,70 – 0,80
Sungai didaerah pegunungan	0,75 – 0,85
Sungai kecil didataran	0,45 – 0,75
Sungai yang besar dengan wilayah pengaliran lebih dari seperduanya terdiri dari dataran	0,50 – 0,75

(Joesron Loebis, 1987, “Banjir Rencana untuk Bangunan Air”)

2.4.2. Metode Melchior

Rumus dari metode Melchior adalah sebagai berikut :

$$Q_t = \alpha * \beta * q * F \dots\dots\dots(2.14)$$

(SK SNI M-18-1989-F, "Metode Perhitungan Debit Banjir")

- Koefisien aliran (α)

Berkisar antara 0,42 - 0,62 dan disarankan memakai = 0,52

- Koefisien Reduksi (β)

$$f = \frac{1970}{\beta - 0,12} - 3960 + 1720\beta \dots\dots\dots(2.15)$$

- Waktu Konsentrasi (t)

$$t = \frac{1000L}{3600V} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

t = waktu konsentrasi (jam)

L = panjang sungai (Km)

V = kecepatan air rata – rata (m/dt)

$$V = 1,31 \sqrt[5]{\beta \cdot q \cdot f \cdot i^2} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$i = \frac{H}{0,9L} \dots\dots\dots (2.18)$$

- Hujan Maksimum (q)

Hujan maksimum (q) dihitung dari grafik hubungan persentase curah hujan dengan t terhadap curah hujan harian dengan luas DPS dan waktu.

$$Q_t = \alpha * q * F * \frac{Rt}{200} \dots\dots\dots(2.19)$$

dimana :

Q_t = debit banjir rencana (m^3/det).

α = koefisien *run off*.

β = koefisien reduksi daerah untuk curah hujan DAS.

q = hujan maksimum ($m^3/km^2/det$).

t = waktu konsentrasi (jam).

F = luas daerah pengaliran (km^2).

L = panjang sungai (km).

- i = gradien sungai atau medan yaitu kemiringan rata-rata sungai (10% bagian hulu dari panjang sungai tidak dihitung. Beda tinggi dan panjang diambil dari suatu titik 0,1 L dari batas hulu DAS).

2.4.3. Hidrograf Weduwen

Rumus dari metode Weduwen adalah sebagai berikut :

$$Qt = \alpha * \beta * q * F \dots\dots\dots(2.20)$$

(Joesron Loebis, 1987, "Banjir Rencana untuk Bangunan Air")

- Koefisien *Runoff* (α)

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{\beta q_n + 7} \dots\dots\dots(2.21)$$

- Waktu Konsentrasi (t)

$$t = \frac{0,476 * F^{3/8}}{(\alpha * \beta * q)^{1/8} * i^{1/4}} \dots\dots\dots(2.22)$$

- Koefisien Reduksi (β)

$$\beta = \frac{120 + \left[\frac{t+1}{t+9} \right] * F}{120 + F} \dots\dots\dots(2.23)$$

- Hujan Maksimum (q)

$$q = \frac{67,65}{t + 1,45} \dots\dots\dots(2.24)$$

dimana :

Qt = debit banjir rencana (m³/det).

α = koefisien *run off*.

β = koefisien reduksi daerah untuk curah hujan DAS.

q = hujan maksimum (m³/km²/det).

t = waktu konsentrasi (jam).

F = luas daerah pengaliran (km²).

L = panjang sungai (km).

- i = gradien sungai atau medan yaitu kemiringan rata-rata sungai (10% bagian hulu dari panjang sungai tidak dihitung. Beda tinggi dan panjang diambil dari suatu titik 0,1 L dari batas hulu DAS).

Adapun syarat dalam perhitungan debit banjir dengan metode Weduwen adalah sebagai berikut :

F = luas daerah pengaliran < 100 Km².

t = 1/6 sampai 12 jam.

2.4.4. Metode Haspers

Untuk menghitung besarnya debit dengan metode Haspers digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Qt = \alpha * \beta * q * F \dots\dots\dots(2.25)$$

(Joesron Loebis, 1987, "Banjir Rencana untuk Bangunan Air")

- Koefisien Runoff (α)

$$\alpha = \frac{1 + 0.012 * F^{0.7}}{1 + 0.75 * F^{0.7}} \dots\dots\dots (2.26)$$

- Waktu Konsentrasi (t)

$$t = 0,1 L^{0.8} * i^{-0.3} \dots\dots\dots(2.27)$$

- Koefisien Reduksi (β)

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,7.10^{-0.4t}}{t^2 + 15} * \frac{F^{3/4}}{12} \dots\dots\dots(2.28)$$

- Intensitas Hujan

- a. Untuk $t < 2$ jam

$$Rt = \frac{t * R_{24}}{t + 1 - 0,0008.(260 - R_{24}) * (2 - t)^2} \dots\dots\dots(2.29)$$

- b. Untuk $2 \text{ jam} \leq t \leq 19 \text{ jam}$

$$Rt = \frac{t * R_{24}}{t + 1} \dots\dots\dots(2.30)$$

- c. Untuk $19 \text{ jam} \leq t \leq 30 \text{ jam}$

$$Rt = 0,707R_{24} * \sqrt{t + 1} \dots\dots\dots(2.31)$$

- Hujan Maksimum (q)

$$q = \frac{Rt}{3.6 * t} \dots\dots\dots(2.32)$$

di mana :

Qt = debit banjir rencana (m³/det).

- α = koefisien *runoff*.
- β = koefisien reduksi daerah untuk curah hujan DAS.
- q = hujan maksimum ($m^3/km^2/det$).
- t = waktu konsentrasi (jam).
- F = luas daerah pengaliran (km^2).
- Rt = intensitas curah hujan selama periode ulang t tahun(mm/hari).
- L = panjang sungai (km).
- i = gradien sungai atau medan yaitu kemiringan rata-rata sungai (10% bagian hulu dari panjang sungai tidak dihitung. Beda tinggi dan panjang diambil dari suatu titik 0,1 L dari batas hulu DAS).

2.4.5. Metode FSR Jawa - Sumatera

Untuk menghitung besarnya debit dengan metode FSR Jawa - Sumatera digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = GF \times MAF \dots \dots \dots (2.33)$$

(Ir. Joesron Loebis, 1987, "Banjir Rencana untuk Bangunan Air")

$$MAF = 8.10^{-6} \cdot (AREA)^V \cdot APBAR^{2,445} \cdot SIMS^{0,117} \cdot (1+LAKE)^{-0,85}$$

$$V = 1,02 - 0,0275 \text{ Log } (AREA)$$

$$APBAR = PBAR \cdot ARF$$

$$SIMS = \frac{H}{MSL}$$

$$MSL = 0,95 \cdot L$$

$$LAKE = \frac{\text{Luas DAS di hulu bendung}}{\text{Luas DAS total}}$$

dimana :

$$Q = \text{debit banjir rencana } (m^3/dt)$$

$$AREA = \text{luas DAS } (km^2)$$

$$PBAR = \text{hujan 24 jam maksimum rerata tahunan yang mewakili DAS } (mm)$$

$$ARF = \text{faktor reduksi (Tabel 2.4)}$$

$$GF = \text{Growth factor (Tabel 2.5)}$$

$$SIMS = \text{indeks kemiringan}$$

- H = beda tinggi antara titik pengamatan dengan ujung sungai tertinggi (m)
- MSL = panjang sungai sampai titik pengamatan (km)
- L = panjang sungai (km)
- LAKE = indeks
- MAF = debit maksimum rata-rata tahunan (m³/dt)

Tabel 2.4 Faktor Reduksi (ARF)

DAS (km ²)	ARF
1 - 10	0,99
10 - 30	0,97
30 - 3000	$1,152 - 0,0123 \log_{10} \text{AREA}$

(Joesron Loebis, 1987, "Banjir Rencana untuk Bangunan Air")

Tabel 2.5 Growth Factor (GF)

Return Period	Luas cathment area (km ²)					
	<180	300	600	900	1200	>1500
T						
5	1.28	1.27	1.24	1.22	1.19	1.17
10	1.56	1.54	1.48	1.49	1.47	1.37
20	1.88	1.84	1.75	1.70	1.64	1.59
50	2.35	2.30	2.18	2.10	2.03	1.95
100	2.78	2.72	2.57	2.47	2.37	2.27

(Joesron Loebis, 1987, "Banjir Rencana untuk Bangunan Air")

2.5. Analisis Hidrolika

Hidrolika adalah ilmu yang mempelajari tentang sifat-sifat zat cair. Analisis hidrolika dimaksud untuk mengetahui kapasitas alur sungai dan saluran pada kondisi sekarang terhadap banjir rencana, yang selanjutnya digunakan untuk mendesain alur sungai dan saluran.

2.5.1. Perencanaan Penampang Melintang Sungai

Penampang melintang sungai perlu direncanakan untuk mendapatkan penampang yang ideal dan efisien dalam penggunaan lahan. Bentuk penampang berdasarkan kapasitas pengaliran yaitu :

$$Q = A \times V \dots\dots\dots(2.34)$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.35)$$

$$\frac{Q \times n}{I^{\frac{1}{2}}} = A \times R^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(2.36)$$

$A \times R^{\frac{2}{3}} \Rightarrow$ merupakan faktor bentuk

(Sumber : Bambang Triatmodjo, "Hidraulika II")

Maka perlu diperhatikan terhadap bentuk penampang stabil. Rencana penampang perlu dibuat dengan pertimbangan antara lain :

1. Alur sungai mampu melewati debit banjir yang diperkirakan terjadi.
2. Dasar alur sungai perlu juga dipertimbangkan terhadap bahaya gerusan.
3. Pelaksanaan lebih mudah.
4. Keterbatasan pembebasan lahan.

Berdasarkan rumus diatas diketahui bahwa kapasitas penampang dipengaruhi oleh kekasaran penampang. Hal ini dapat dilihat dari koefisien bentuk kekasaran penampang yang telah ditetapkan oleh manning seperti terlihat pada tabel berikut :

Tabel 2.6 Koefisien Kekasaran Manning

Jenis saluran	n
Sungai alam :	
Trase dan profil teratur, air dalam	0,025-0,033
Trase dan profil teratur, bertanggul kerikil dan berumput	0,030-0,040
Berbelok-belok dengan tempat-tempat dangkal	0,033-0,045
Berbelok-belok, air tidak dalam	0,040-0,055
Berumput banyak di bawah air	0,050-0,080

Adapun rumus – rumus yang digunakan dalam pendimensionian saluran – saluran tersebut adalah sebagai berikut :

a. Perencanaan Dimensi Penampang Tunggal Trapesium (*Trapezoidal Channel*).

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.37)$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$P = B + 2H\sqrt{(1 + m^2)}$$

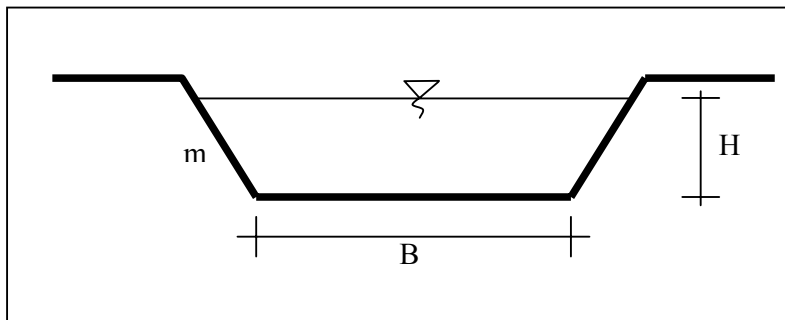
$$A = [B + (B + 2mH)] \times \frac{1}{2} H$$

$$A = \frac{Q}{V}$$

(Sumber : Bambang Triatmodjo, "Hidrolika II")

Dimana :

- Q = Debit aliran (m^3/s)
- A = Luas penampang basah (m^2)
- V = Kecepatan aliran (m/s)
- n = Koefisien kekasaran manning
- R = Jari - jari hidrolis (m)
- P = Keliling basah sungai (m)
- I = Kemiringan hidraulik sungai



Gambar 2.9 Saluran Penampang Tunggal

b. Perencanaan Dimensi Penampang Ganda Trapezium (*Trapezoidal Channel*).

Untuk mendapatkan penampang yang stabil, penampang bawah pada penampang ganda harus didesain dengan debit dominan.

$$B_2 = 15H_1 \Rightarrow \text{direncanakan berdasarkan debit dominan}$$

$$B_1 = B_3$$

$$n_1 = n_3$$

$$A_1 = A_3 = \frac{1}{2} H_1 \times [B_1 + (B_1 + m_1 H_1)]$$

$$P_1 = P_3 = B_1 + H_1 \times \sqrt{(1 + m_1^2)}$$

$$R_1 = R_3 = \frac{A_1}{P_1}$$

$$V_1 = V_3 = \frac{1}{n_1} \times R_1^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_1 = Q_3 = A_1 \times V_1$$

$$A_2 = \frac{1}{2} H_2 \times (B_2 + (B_2 + 2 \times m_2 H_2)) + H_1 \times (B_2 + 2 \times m_2 H_2)$$

$$P_2 = B_2 + 2H_2 \times \sqrt{(1 + m_2^2)}$$

$$R_2 = \frac{A_2}{P_2}$$

$$V_2 = \frac{1}{n_2} \times R_2^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_2 = A_2 \times V_2$$

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots\dots\dots(2.38)$$

(Sumber : Bambang Triatmodjo, "Hidrolika II")

Dimana :

Q = Debit aliran (m^3/s)

A = Luas Penampang Basah (m^2)

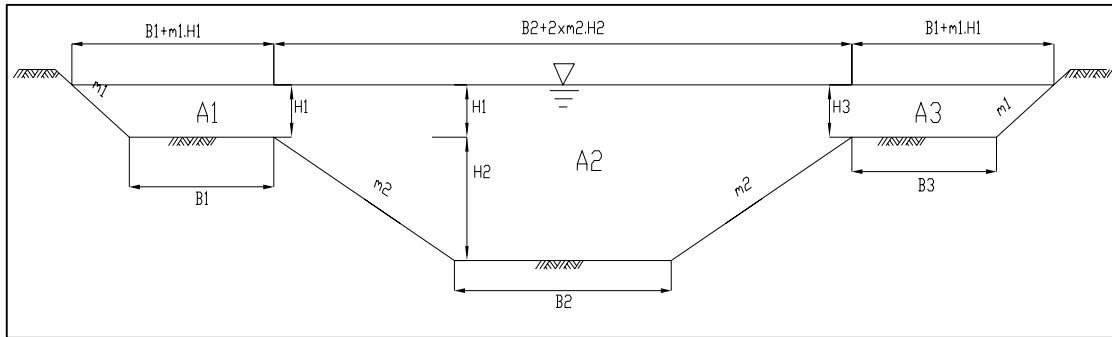
V = Kecepatan aliran (m/s)

n = Koefisien kekasaran manning

R = Keliling basah (m)

P = Keliling basah sungai (m)

I = Kemiringan hidraulik sungai



Gambar 2.10 Saluran Penampang Ganda

2.5.2. Pemodelan Dengan Program HEC – RAS

Program HEC - RAS merupakan paket program dari ASCE (*American Society of Civil Engineers*). Paket program ini memakai cara langkah standar sebagai dasar perhitungannya. Komponen-komponen utama yang tercakup dalam analisa HEC-RAS ini adalah :

- Perhitungan profil muka air aliran tetap (*steady flow water surface profile computations*)
- Simulasi aliran tak tetap (*unsteady flow simulation*) dan perhitungan profil muka air.

Paket program ini untuk menghitung profil muka air di sepanjang ruas sungai. Data masukan untuk program ini adalah data *cross section* di sepanjang sungai, profil memanjang sungai, parameter hidrolika sungai (kekasaran dasar dan tebing sungai), parameter bangunan sungai, debit aliran (debit rencana), dan tinggi muka air di muara.

Sedangkan output dari program ini dapat berupa grafik maupun tabel. Diantaranya adalah plot dari skema alur sungai, potongan melintang, profil, lengkung debit (*rating curve*), hidrograf (*stage and flow hydrograph*), juga variabel hidrolik lainnya. Selain itu juga dapat menampilkan gabungan potongan melintang (*cross section*) yang membentuk alur sungai secara tiga dimensi lengkap dengan alirannya.

2.5.3. Perencanaan Saluran

2.5.3.1. Alinyemen Saluran

Pada ruas sungai yang belok-belokannya sangat tajam atau *meander*-nya sangat kritis, maka tanggul yang akan dibangun biasanya akan menjadi lebih panjang. Selain itu pada ruas sungai yang demikian, gerusan pada belokan luar sangat meningkat dan terjadi kerusakan tebing sungai yang akhirnya mengancam kaki tanggul. Sebaliknya pada belokan dalamnya terjadi pengendapan yang intensif pula.

Jadi alur sungai menjadi lebih panjang dan dapat mengganggu kelancaran aliran banjir. Guna mengurangi keadaan yang kurang menguntungkan tersebut, maka pada ruas sungai tersebut perlu dipertimbangkan pembuatan alur baru (*sudetan*), agar pada ruas tersebut alur sungai mendekati garis lurus dan lebih pendek (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985).

2.5.4. Perencanaan Kapasitas Saluran dengan HEC-RAS

Dalam perencanaan kapasitas saluran digunakan program HEC-RAS (*Hydrologic Engineering System-River Analysis System*). HEC-RAS adalah sebuah sistem yang, didesain untuk penggunaan yang interaktif dalam lingkungan yang bermacam-macam. Ruang lingkup HEC-RAS adalah menghitung profil muka air dengan pemodelan aliran *steady* dan *unsteady*, serta penghitungan pengangkutan sedimen. Elemen yang paling penting dalam HEC-RAS adalah tersedianya geometri saluran, baik memanjang maupun melintang.

2.5.4.1. Profil Muka Air Pada Aliran Steady

Dalam bagian ini HEC-RAS memodelkan suatu saluran dengan aliran *steady* berubah lambat laun. Sistem ini dapat mensimulasikan aliran pada seluruh jaringan saluran ataupun pada saluran tunggal tanpa percabangan, baik itu aliran kritis, subkritis, superkritis ataupun campuran sehingga didapat profil muka air yang diinginkan.

Konsep dasar dari perhitungan adalah menggunakan persamaan energi dan persamaan momentum. Kehilangan energi juga di perhitungkan dalam simulasi ini dengan menggunakan prinsip gesekan pada saluran, belokan serta perubahan penampang, baik akibat adanya jembatan, gorong-gorong ataupun bendung pada saluran atau sungai yang ditinjau.

2.5.4.2. Profil Muka Air Pada Aliran Unsteady

Pada sistem pemodelan ini, HEC-RAS mensimulasikan aliran *unsteady* pada jaringan saluran terbuka. Konsep dasarnya adalah persamaan aliran *unsteady* yang dikembangkan oleh Dr. Robert L. Barkau's UNET model. (Barkau, 1992 dan HEC, 1999).

Pada awalnya aliran *unsteady* hanya di disain untuk memodelkan aliran subkritis, tetapi versi terbaru dari HEC-RAS yaitu versi 3.1 dapat juga untuk memodelkan aliran superkritis, kritis, subkritis ataupun campuran serta loncatan hidrolis. Selain itu penghitungan kehilangan energi pada gesekan saluran, belokan serta perubahan penampang juga diperhitungkan.

2.5.4.3. Konsep Penghitungan Profil muka air dalam HEC-RAS

Dalam HEC-RAS penampang sungai atau saluran ditentukan terlebih dahulu, kemudian luas penampang akan dihitung.

Untuk mendukung fungsi saluran sebagai penghantar aliran maka penampang saluran di bagi atas beberapa bagian. Pendekatan yang dilakukan HEC-RAS adalah membagi area penampang berdasarkan dari nilai n (koefisien kekasaran manning) sebagai dasar bagi pembagian penampang. setiap aliran yang terjadi pada bagian dihitung dengan menggunakan persamaan Manning :

$$Q = KS_f^{1/2} \quad \text{dan} \quad K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3}$$

Dimana :

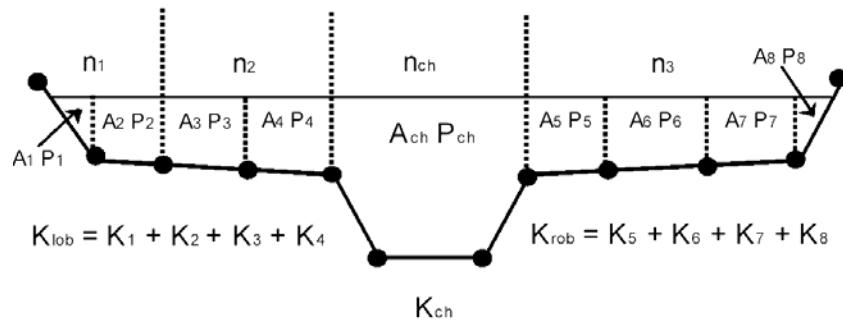
K = nilai pengantar aliran pada unit

n = koefisien kekasaran manning

A = luas bagian penampang

R = jari-jari hidrolis

Perhitungan nilai K dapat dihitung berdasarkan kekasaran manning yang dimiliki oleh bagian penampang tersebut seperti terlihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Contoh penampang saluran dalam HEC-RAS

Setelah penampang ditentukan maka HEC-RAS akan menghitung profil muka air. Konsep dasar penghitungan profil permukaan air berdasarkan persamaan energi yaitu:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots\dots\dots (2.39)$$

Dimana :

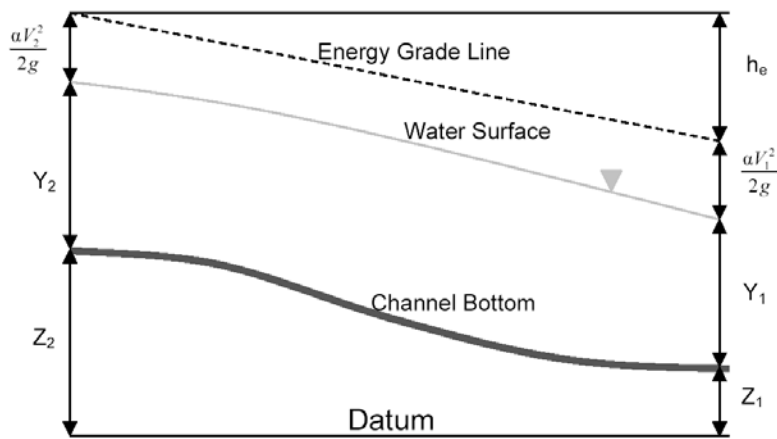
Z = fungsi titik diatas garis referensi

Y = fungsi tekanan di suatu titik

V = kecepatan aliran

α = koefisien kecepatan

h_e = energi *head loss*



Gambar 2.12 Penggambaran persamaan energi pada saluran terbuka

Nilai h_e didapat dengan persamaan :

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots\dots\dots (2.40)$$

Dimana :

L = jarak antara dua penampang

S_f = kemiringan aliran

C = koefisien kehilangan energi (penyempitan, pelebaran atau belokan)

Langkah berikutnya dalam perhitungan HEC-RAS adalah dengan mengasumsikan nilai muka air (*water surface*) pada penampang awal saluran (dalam hal ini penampang di hilir). Kemudian dengan menggunakan persamaan energi diatas maka profil muka air untuk semua penampang di saluran dapat di ketahui.

2.5.5. Tinggi Jagaan Sungai

Hal – hal yang mempengaruhi besarnya nilai tinggi jagaan adalah penimbunan sedimen di dalam saluran, berkurangnya efisiensi hidraulik karena tumbuhnya tanaman, penurunan tebing, dan kelebihan jumlah aliran selama terjadinya hujan.

Tabel 2.7 Hubungan Debit – Tinggi jagaan

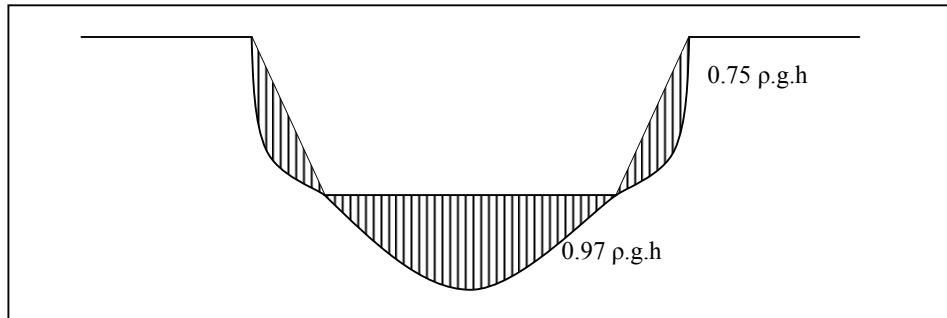
Debit Rencana (m3/det)	Tinggi Jagaan (m)
200 < Q < 500	0,75
500 < Q < 2000	1,00
2000 < Q < 5000	1,25
5000 < Q < 10000	1,50
10000 < Q	2,00

(Suyono Sosrodarsono, “ Perbaikan dan Pengaturan banjir “)

2.6. Stabilitas Alur Terhadap Erosi dan Longsoran

2.6.1. Stabilitas Alur Terhadap Erosi

Butiran tanah pembentuk penampang sungai harus stabil terhadap aliran yang terjadi, karena akibat pengaruh kecepatan aliran dapat mengakibatkan gerusan pada talud maupun dasar sungai. Maka perlu mengecek stabilitas butiran pada talud dasar sungai.



Gambar 2.13 Tegangan Geser penampang Sungai

Tegangan geser yang terjadi adalah:

$$\tau_0 = \rho \times g \times h \times l \dots\dots\dots(2.41)$$

Sedang berdasarkan hasil penyelidikan besarnya tegangan yang terjadi adalah :

$$\tau_b = 0,97 \times \rho \times g \times h \times l \Rightarrow \text{pada dasar sungai} \dots\dots\dots(2.42)$$

$$\tau_b = 0,75 \times \rho \times g \times h \times l \Rightarrow \text{pada talud sungai} \dots\dots\dots(2.43)$$

Dimana:

ρ = Density air

h = Tinggi air

l = Kemiringan dasar sungai

(Sugiyanto, " Pengendalian Banjir")

2.6.2. Stabilitas Alur Terhadap Longsoran

Longsoran atau *land slide* merupakan pergerakan massa tanah secara perlahan – lahan melalui bidang longsoran karena tidak stabil akibat gaya – gaya yang bekerja. Untuk memperhitungkan kestabilan maka bidang longsoran dibagi dalam beberapa pias atau segmen dan apabila lebar segmen semakin kecil maka akan semakin teliti. Perhitungan berdasarkan pada keadaan terburuk, yaitu pada waktu muka air banjir drop dan muka air tanah dalam tanggul masih tinggi.

2.7. Perencanaan Tanggul (Levee Design)

Tanggul disepanjang sungai adalah salah satu bangunan yang paling utama dan paling penting dalam usaha melindungi kehidupan dan harta benda masyarakat terhadap genangan-genangan yang disebabkan oleh banjir dan badai (gelombang pasang). Tanggul dibangun terutama dengan konstruksi urugan tanah, karena tanggul merupakan bangunan menerus yang sangat panjang serta membutuhkan bahan urugan yang volumenya besar. Bahan urugan dapat diperoleh dari hasil galian di kanan-kiri trase rencana tanggul atau bahkan dapat diperoleh dari hasil pekerjaan normalisasi sungai, berupa galian pelebaran alur sungai dimana hanya hasil galian yang memenuhi syarat untuk bahan urugan tanggul (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985).

Hal-hal yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan tanggul antara lain (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985) :

2.7.1. Lebar Mercu Tanggul

Pada areal yang padat, dimana perolehan areal tanah untuk tempat kedudukan tanggul sangat sukar dan mahal, pembangunan tanggul dengan mercu yang tidak lebar dan dengan lerengnya yang agak curam kelihatannya memadai, khususnya apabila hanya ditinjau dari segi stabilitas tanggulnya. Akan tetapi mercu yang cukup lebar (3 – 7 m) biasanya diperlukan apabila ditinjau dari keperluan untuk perondaan diwaktu banjir dan sebagai jalan-jalan inspeksi serta logistik untuk pemeliharaan tanggul. Mercu tanggul diperlukan pula dalam rangka pencegahan bahaya banjir, seperti pencegahan bobolnya tanggul akibat limpasan atau akibat gelombang dan untuk jalan-jalan transportasi dalam pelaksanaan pembangunan tanggul.

2.7.2. Kemiringan Lereng Tanggul

Penentuan kemiringan lereng tanggul merupakan tahapan yang paling penting dalam perencanaan tanggul dan sangat erat kaitannya dengan infiltrasi air dalam tanggul serta karakteristik mekanika tanah tubuh tanggul tersebut. Dalam keadaan biasa tanpa perkuatan, lereng tanggul direncanakan dengan kemiringan 1: 2 atau lebih kecil.

2.8. Analisis Stabilitas Lereng

Analisis Stabilitas dengan Metode Irisan dapat dijelaskan dengan menggunakan gambar 2.13. dengan AC merupakan lengkungan lingkaran sebagai permukaan bidang longsor percobaan. Tanah yang berada di atas bidang longsor percobaan dibagi dalam beberapa irisan tegak. Lebar dari tiap irisan tidak harus sama. Tegangan air pori dianggap nol. (Braja M. Das Jilid II, 1998).

Untuk pengamatan keseimbangan :

$$N_r = W_n \cos \alpha_n$$

$$|T_r = \tau_d(\Delta L_n) = \frac{1}{F_s} [c + \sigma \tan \phi] \Delta L_n \dots\dots\dots(2.44)$$

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \cdot \Delta L_n + W_n \cos \alpha_n \cdot \tan \phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \dots\dots\dots(2.45)$$

dimana :

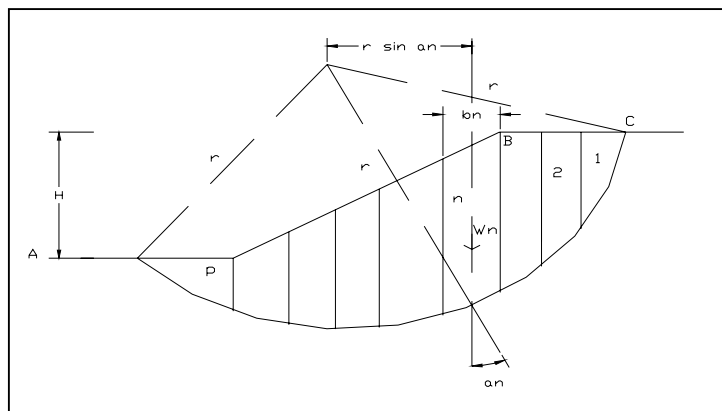
W_n = Berat irisan

N_r dan $|T_r$ = Komponen tegak dan sejajar dari reaksi R

N_r dan $|T_r$ = Komponen tegak dan sejajar dari reaksi R

$$\Delta L_n = \frac{(b_n)}{\cos \alpha_n}$$

b_n = Lebar potongan



Gambar 2.14 Skema Stabilitas Lereng

2.9. Perencanaan Jetty

Perencanaan *jetty* dimaksudkan untuk pengamanan daerah muara sungai dari sedimen dan abrasi laut.

- Pasang Surut

Untuk keperluan perencanaan bangunan *jetty*, data pasang surut dianalisis untuk menentukan beberapa elevasi muka air laut dalam kaitannya dengan pasang surut.

- Gelombang Rencana

Untuk keperluan perencanaan bangunan pelindung muara sungai atau *jetty*, diperlukan besar gelombang rencana. Dalam studi ini gelombang rencana dihitung berdasarkan data gelombang yang diperoleh dari instansi terkait. Penentuan tinggi gelombang rencana dengan periode ulang tertentu digunakan analisa frekuensi dengan menggunakan metoda distribusi frekuensi.

- Tinggi Gelombang Pecah H_b

Gelombang perencanaan yang bekerja pada struktur *jetty* ditentukan berdasarkan kriteria gelombang pecah (*breaking wave*) $H_b = 0,78 d$, di mana d adalah kedalaman laut dalam meter.

- Elevasi Mercu

Dimisalkan Elevasi mercu *jetty* = $0,60 + 0,50$ m = 1,10 m diambil 1,20 m. Karena diperkirakan terjadi penurunan konstruksi setelah beberapa waktu sebesar $\pm 0,50$ m maka taraf mercu *jetty* pada saat konstruksi ditetapkan $1,20 + 0,50 = 1,70$ m.

- Berat Batu Lapis Pelindung Utama

Ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$W = \frac{W_r (H_s)^3}{K_D (S_r - 1)^3 \text{Cot} \theta}$$

$$S_r = \frac{W_r}{W_w}$$

- o Lebar Puncak

Lebar puncak *jetty* dihitung berdasarkan rumus sbb :

$$B = nK_{\Delta} \left[\frac{W}{W_r} \right]^{\frac{1}{3}}$$

dimana :

B = lebar puncak (m)

n = banyaknya batu (n = 3 minimum yang disarankan)

K_{Δ} = koefisian lapisan (Tabel 7 – 13 SPM Volume II)

W = berat batu pelindung utama (kg)

W_r = massa jenis batu pelindung (kg/m^3)

- o Tebal Lapis Batu Pelindung Utama

Tebal lapisan batu pelindung utama dihitung dengan rumus berikut :

$$r = nK_{\Delta} \left[\frac{W}{W_r} \right]^{\frac{1}{3}}$$

dimana :

r = tebal rata – rata lapisan (m)

n = banyaknya batu yang membentuk lapisan pelindung

K_{Δ} = koefisian lapisan (Tabel 7 – 13 SPM Volume II)

W = berat batu pelindung (kg)

W_r = massa jenis batu (kg/m^3)

Bagian Struktur Kepala dan Badan

$$r = n \times K_{\Delta} \left[\frac{W}{W_r} \right]^{\frac{1}{3}}$$

o Pelindung Kaki dan *Filter*

Lapisan *filter* ditempatkan di bagian yang paling bawah dari struktur *rubble mound*, fungsinya adalah mencegah penurunan yang berlebihan dan perataan beban. Sedangkan pelindung kaki merupakan perpanjangan dari struktur *filter* dan fungsinya untuk mencegah *scouring* dan mendukung bagian terbawah lapisan pelindung.

Untuk menghindari kerusakan bangunan akibat gerusan oleh arus gelombang, tembok laut perlu dilengkapi dengan konstruksi pelindung kaki. Berat batu pelindung kaki dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$W = \frac{G_b H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3}$$

dimana:

G_b = berat jenis batu (2.650 kg/m^3)

N_s = angka stabilitas rencana untuk pondasi dan pelindung kaki bangunan

S_r = perbandingan berat jenis batu dan berat jenis air

$$= S_r = \frac{G_b}{G_a} = 2,585$$