

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Tinjauan Umum

Pengendalian banjir merupakan suatu 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. Di samping itu suksesnya program pengendalian banjir juga tergantung dari aspek lainnya yang menyangkut sosial, ekonomi, lingkungan, institusi, hukum, dll.

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 –hal yang berpotensi merusak dengan cara mengelola tata guna lahan dan daerah banjir (*flood plains*). (*Robert J. Kodoatie, “ PSDA Terpadu”*)

Dalam perencanaan pengendalian banjir di DAS Sengkarang ini memerlukan tinjauan pustaka untuk mengetahui dasar-dasar teori dalam mengendalikan banjir.

3.2 Pengertian Banjir

3.2.1 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 air yang disebabkan kurangnya kapasitas penampang saluran. Banjir di bagian hulu biasanya arus banjirnya deras, daya gerusnya besar, tetapi durasinya pendek.

Sedangkan di bagian hilir arusnya tidak deras (karena landai), tetapi durasi banjirnya panjang.

Beberapa karakteristik yang berkaitan dengan banjir, diantaranya adalah :

1. Banjir dapat datang secara tiba – tiba dengan intensitas besar namun dapat langsung mengalir.
2. Banjir datang secara perlahan namun intensitas hujannya sedikit.
3. Pola banjirnya musiman.
4. Banjir datang secara perlahan namun dapat menjadi genangan yang lama di daerah depresi.
5. Akibat yang ditimbulkan adalah terjadinya genangan, erosi, dan sedimentasi. Sedangkan akibat lainnya adalah terisolasinya daerah pemukiman dan diperlukan evakuasi penduduk.

3.2.2 Penyebab Banjir

Banyak faktor menjadi penyebab terjadinya banjir. Namun secara umum penyebab terjadinya banjir dapat diklasifikasikan dalam 2 kategori, yaitu banjir yang disebabkan oleh sebab-sebab alami dan banjir yang diakibatkan oleh tindakan manusia.

Yang termasuk sebab-sebab alami diantaranya adalah:

1. Curah hujan

Indonesia mempunyai iklim tropis sehingga sepanjang tahun mempunyai dua musim yaitu musim hujan yang umumnya terjadi antara bulan Oktober sampai bulan Maret, dan musim kemarau yang terjadi antara bulan April sampai bulan September. Pada musim penghujan, curah hujan yang tinggi akan mengakibatkan banjir di sungai dan apabila banjir tersebut melebihi tebing sungai maka akan timbul banjir atau genangan.

2. Pengaruh Fisiografi

Fisiografi atau geografi fisik sungai seperti bentuk, fungsi dan kemiringan daerah pengaliran sungai (DPS), kemiringan sungai, geometrik hidrolis (bentuk penampang seperti lebar, kedalaman, potongan memanjang, material dasar sungai), lokasi sungai dll. merupakan hal-hal yang mempengaruhi terjadinya

banjir.

3. Erosi dan Sedimentasi

Erosi dan sedimentasi di DPS berpengaruh terhadap pengurangan kapasitas penampang sungai. Erosi dan sedimentasi menjadi problem klasik sungai-sungai di Indonesia. Besarnya sedimentasi akan mengurangi kapasitas saluran, sehingga timbul genangan dan banjir di sungai.

4. Kapasitas sungai

Pengurangan kapasitas aliran banjir pada sungai dapat disebabkan oleh pengendapan yang berasal dari erosi DPS dan erosi tanggul sungai yang berlebihan dan sedimentasi di sungai yang dikarenakan tidak adanya vegetasi penutup dan penggunaan lahan yang tidak tepat

5. Kapasitas Drainase yang tidak memadai

Hampir semua kota-kota di Indonesia mempunyai drainase daerah genangan yang tidak memadai, sehingga kota-kota tersebut sering menjadi langganan banjir di musim hujan.

6. Pengaruh air pasang

Air pasang laut memperlambat aliran sungai ke laut. Pada waktu banjir bersamaan dengan air pasang yang tinggi maka tinggi genangan atau banjir menjadi besar karena terjadi aliran balik (*backwater*). Contoh terjadi di Kota Semarang dan Jakarta. Genangan ini terjadi sepanjang tahun baik di musim hujan dan maupun di musim kemarau.

Yang termasuk sebab-sebab banjir karena tindakan manusia adalah:

1. Perubahan Kondisi DPS

Perubahan DPS seperti penggundulan hutan, usaha pertanian yang kurang tepat, perluasan kota, dan perubahan tata guna lahan lainnya, dapat memperburuk masalah banjir karena meningkatnya aliran banjir. Perubahan tata guna lahan memberikan kontribusi yang besar terhadap naiknya kuantitas dan kualitas banjir.

2. Kawasan kumuh

Perumahan kumuh yang terdapat di sepanjang sungai, dapat merupakan

penghambat aliran. Masalah kawasan kumuh dikenal sebagai faktor penting terhadap masalah banjir daerah perkotaan.

3. Sampah

Ketidaksiplinan masyarakat untuk membuang sampah pada tempat yang ditentukan, umumnya mereka langsung membuang sampah ke sungai. Di kota-kota besar hal ini sangat mudah dijumpai. Pembuangan sampah di alur sungai dapat meninggikan muka air banjir karena menghalangi aliran air.

4. Drainase lahan

Drainase perkotaan dan pengembangan pertanian pada daerah bantuan banjir akan mengurangi kemampuan bantaran dalam menampung debit air yang tinggi.

5. Bendung dan bangunan air

Bendung dan bangunan lain seperti pilar jembatan dapat meningkatkan elevasi muka air banjir karena efek aliran balik (*backwater*).

6. Kerusakan bangunan pengendali banjir

Pemeliharaan yang kurang memadai dari bangunan pengendali banjir sehingga menimbulkan kerusakan dan akhirnya menjadi tidak berfungsi dapat meningkatkan kuantitas banjir.

7. Perencanaan sistem pengendalian banjir tidak tepat

Beberapa sistem pengendalian banjir memang dapat mengurangi kerusakan akibat banjir kecil sampai sedang, tetapi mungkin dapat menambah kerusakan selama banjir-banjir yang besar. Sebagai contoh bangunan tanggul sungai yang tinggi. Limpasan pada tanggul pada waktu terjadi banjir yang melebihi banjir rencana dapat menyebabkan keruntuhan tanggul, hal ini menimbulkan kecepatan aliran air menjadi sangat besar yang melalui bobolnya tanggul sehingga menimbulkan banjir yang besar.

(Robert J. Kodoatie, Sugiyanto, "Banjir")

3.2.3 Daerah Genangan Air

Akibat adanya peningkatan jumlah penduduk, kebutuhan infrastruktur terutama permukiman meningkat, sehingga merubah sifat dan karakteristik tata guna lahan. Sama dengan prinsip pengendalian banjir perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali menyebabkan aliran permukaan (*run-off*) meningkat sehingga terjadi genangan air. Hal-hal yang menyebabkan terjadinya genangan-genangan air di suatu lokasi antara lain:

- Dimensi saluran yang tidak sesuai.
- Perubahan tata guna lahan yang menyebabkan terjadinya peningkatan debit banjir di suatu daerah aliran sistem drainase
- Elevasi saluran tidak memadai
- Lokasi merupakan daerah cekungan
- Lokasi merupakan tempat retensi air yang diubah fungsinya misalnya menjadi pemukiman. Ketika berfungsi tempat retensi (parkir air) dan belum dihuni adanya genangan tidak menjadi masalah. Problem timbul ketika daerah tersebut dihuni
- Tanggul kurang tinggi
- Kapasitas tampungan kurang besar
- Dimensi gorong-gorong terlalu kecil sehingga terjadi aliran balik
- Adanya penyempitan saluran
- Tersumbatnya saluran oleh endapan, sedimentasi atau timbunan sampah
- terjadi penurunan tanah (*land-subsidence*)

Perubahan fungsi kawasan bagian hulu daerah aliran sungai (DAS) sebesar $\pm 15\%$ mengakibatkan keseimbangan sungai / drainase mulai terganggu. Gangguan ini berkontribusi kenaikan (tajam) kuantitas debit aliran dan kuantitas sedimentasi pada sungai / drainase (Bledsoe, 1999). Hal ini dapat diartikan pula bahwa suatu daerah aliran sungai yang masih alami dengan vegetasi yang padat dapat diubah fungsi kawasannya sebesar 15 % tanpa harus merubah keadaan alam dari sungai / drainase yang bersangkutan. Bila perubahannya melebihi 15 % maka harus dicarikan alternatif pengganti atau perlu kompensasi

untuk menjaga kelestarian sungai / drainase, misalnya dengan pembuatan sumur resapan. (Robert J.Kodoatie, "PSDA Terpadu")

Peningkatan genangan dan berkurangnya kapasitas saluran akibat perubahan tata guna lahan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



3.2.4 Kerugian Akibat Banjir

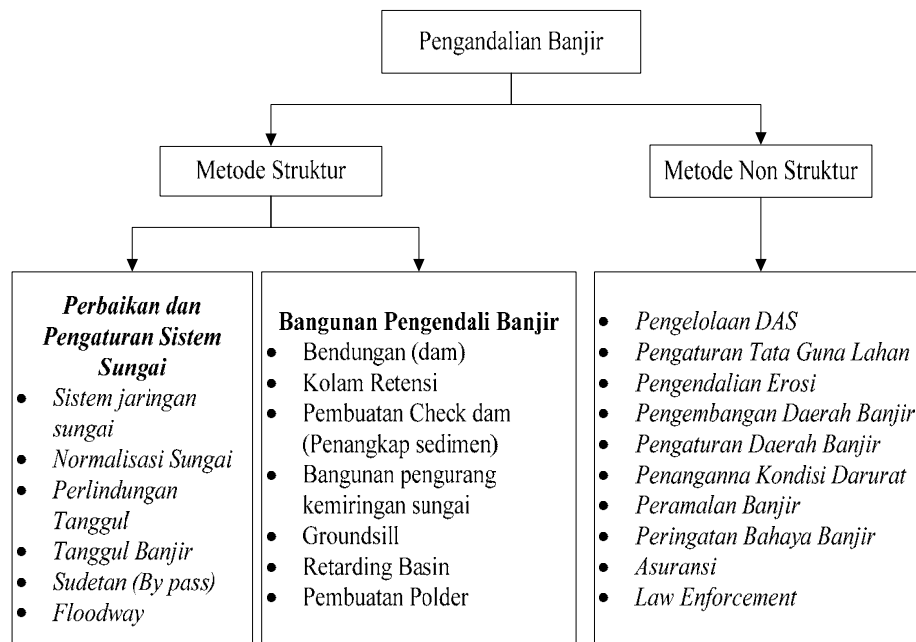
Kerugian akibat banjir pada umumnya sulit diidentifikasi secara jelas, dimana terdiri dari kerugian banjir akibat banjir langsung dan tak langsung. Kerugian akibat banjir langsung, merupakan kerugian fisik akibat banjir yang terjadi, antara lain robohnya gedung sekolah, industri, rusaknya sarana transportasi, hilangnya nyawa, hilangnya harta benda, kerusakan di pemukiman, kerusakan daerah pertanian dan peternakan, kerusakan sistem irigasi, sistem air bersih, sistem drainase, sistem kelistrikan, sistem pengendali banjir termasuk bangunannya, kerusakan sungai, dsb. Sedangkan kerugian akibat banjir tak langsung berupa kerugian kesulitan yang timbul secara tak langsung diakibatkan oleh banjir, seperti komunikasi, pendidikan, kesehatan, kegiatan bisnis terganggu dsb.

3.2.5 Flood Control System (Sistem Pengendalian Banjir)

Sistem pengendalian banjir pada suatu daerah perlu dibuat dengan baik dan efisien, memperhatikan kondisi yang ada dan pengembangan pemanfaatan sumber air mendatang. Pada penyusunan sistem pengendalian banjir perlu adanya evaluasi dan analisis atau memperhatikan hal-hal yang meliputi antara lain :

1. Analisis cara pengendalian banjir yang ada pada daerah tersebut / yang sedang berjalan.
2. Evaluasi dan analisis daerah genangan banjir, termasuk data kerugian akibat banjir.
3. Evaluasi dan analisis tata guna tanah di daerah studi, terutama di daerah bawah / dataran banjir.
4. Evaluasi dan analisis daerah pemukiman yang ada maupun perkembangan yang akan datang.
5. Memperhatikan potensi dan pengembangan sumber daya air di masa mendatang.
6. Memperhatikan pemanfaatan sumber daya air yang ada termasuk bangunan yang ada.

Dengan memperhatikan hal-hal tersebut di atas dapat direncanakan sistem pengendalian banjir dengan menyesuaikan kondisi yang ada, dengan berbagai cara mulai dari dari hulu sampai hilir yang mungkin dapat dilaksanakan. Cara pengendalian banjir dapat dilakukan secara struktur dan non struktur. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pengendalian Banjir Metode Struktur dan Non Struktur

(Robert J.Kodoatie, "Banjir")

A. Pengendalian Banjir Metode Struktur

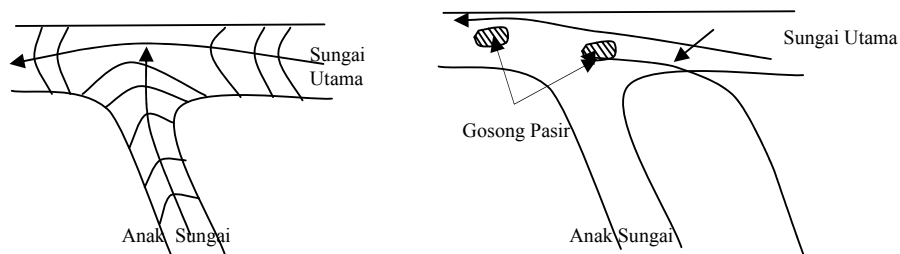
Cara – cara pengendalian banjir dalam metode struktur dapat di bagi menjadi 2 yaitu :

1. 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 3.3a.



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

Gambar 3.3 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

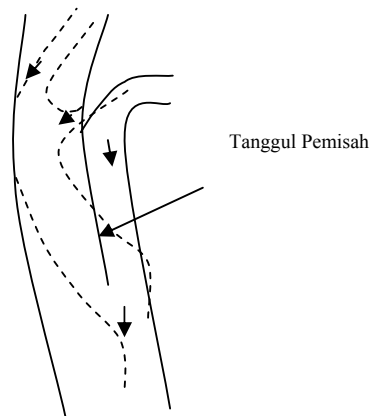
cenderung untuk bertambah sehingga sering berbentuk gosong – gosong pasir dan berubah arah arus sungai seperti terlihat pada gambar 3.3 b.

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

- 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 3.4.) dan pertemuannya digeser agak ke hilir apabila sebuah anak sungai yang kemiringannya curam bertemu dengan sungai utamanya, maka dekat pertemuannya dapat dibuatkan ambang bertangga.
- Pada lokasi pertemuan 2 (dua) buah sungai diusahakan supaya formasi pertemuannya membentuk garis singgung.

(Suyono Sosrodarsono, “Perbaikan dan Pengaturan Sungai”)

Contoh penanganan pertemuan sungai dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Contoh Penanganan Pertemuan Sungai

b. Normalisasi alur sungai dan tanggul

Pada pengendalian banjir dengan cara ini dapat dilakukan pada hampir seluruh sungai-sungai di bagian hilir. Pada pekerjaan ini diharapkan dapat menambah kapasitas pengaliran dan memperbaiki alur sungai. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan pada cara ini adalah penggunaan penampang ganda dengan debit dominan untuk penampang bawah, perencanaan alur stabil terhadap proses

erosi dan sedimentasi dasar sungai maupun erosi tebing dan elevasi muka banjir.

c. Pembuatan alur pengendali banjir (*Floodway*)

Pada cara ini dimaksudkan untuk mengurangi debit banjir pada alur sungai utama, dengan mengalirkan sebagian debit banjir melalui *flood way*. Hal ini dapat dilakukan apabila kondisi setempat sangat mendukung. Misalnya terdapat alur alam yang dapat dipakai untuk jalur *floodway*, tidak ada masalah dengan pembebasan tanah dan lain-lain.

d. Pembuatan sudetan (*by pass*)

Pada alur sungai yang berbelok-belok sangat kritis, sebaiknya dilakukan sudetan agar air banjir dapat mencapai bagian hilir atau laut dengan cepat, karena jarak yang ditempuh oleh aliran air banjir tersebut lebih pendek dan kapasitas pengaliran bertambah. Namun yang perlu diperhatikan adalah, bahwa akibat sudetan tidak menimbulkan problem banjir di tempat lain.

2. Bangunan pengendali banjir

a. Bendungan

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 memadai, dengan membentuk tampungan yang besar
- Kondisi Geologi tanah
- Ketersediaan bahan bangunan
- Tujuan serbaguna
- Pengaruh bendungan terhadap lingkungan
- Umumnya bendungan terletak di sebelah hulu daerah yang dilindungi

b. Kolam Retensi

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 surut.

Dengan manajemen yang tepat, penanggulangan sementara dapat berakibat positif dari segi pertanian, seperti berikut ini:

- Melunakkan tanah
 - Mencuci tanah dari unsur racun
 - Mengendapkan lumpur yang kaya akan unsur hara
- c. Pembuatan *Check Dam* (Penangkap Sedimen)

Check Dam (Penangkap Sedimen) 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 suatu kolam penampung
- Mengatur jumlah sedimen yang bergerak secara fluvial dalam kepekaan yang tinggi, sehingga 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. Pembuatan *Retarding basin*

Dalam cara ini daerah depresi sangat diperlukan untuk menampung volume air banjir yang datang dari hulu untuk sementara waktu dan dilepaskan kembali pada waktu banjir surut. Dengan kondisi lapangan sangat menentukan dan berdasarkan survey lapangan, peta topografi dan foto udara dapat diidentifikasi lokasi untuk *retarding basin*.

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 didalam 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* dari 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.

B. Pengendalian Banjir Metode Non Struktur

Analisis pengendalian banjir dengan tidak menggunakan bangunan pengendali akan memberikan pengaruh cukup baik terhadap regim sungai. Contoh aktifitas penanganan tanpa bangunan adalah sebagai berikut :

1. Pengelolaan DAS

Pengelolaan DAS berhubungan erat dengan peraturan, pelaksanaan dan pelatihan. Kegiatan penggunaan 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 dan erosi tanah.
- Pemeliharaan vegetasi alam, atau penanaman vegetasi tahan air yang tepat, sepanjang tanggul drainasi, saluran-saluran dan daerah lain untuk pengendalian aliran yang berlebihan atau erosi tanah.
- Mengatur secara khusus bangunan-bangunan pengendali banjir (misal *check-dam*) sepanjang dasar aliran yang mudah tererosi.
- Pengelolaan khusus untuk mengatisipasi aliran sedimen yang dihasilkan dari kegiatan gunung berapi.

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 DPS dan daerah 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, lamtorong, buah-buahan).
- Pemilihan cara penanaman yang dapat memperlambat aliran dan erosi.
- Pertanian bergaris (sistim 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, dapat mengacu pada daftar di bawah ini.

Debit Rata-rata (Q)	Lebar Penyangga Minimal
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

Tabel 3.1 Hubungan debit dan lebar penyangga

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

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 normalisasi 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 bertujuan untuk :

- Meminimumkan korban jiwa, kerugian maupun kesulitan yang diakibatkan oleh banjir yang akan terjadi.
- 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:

- Evaluasi kondisi fisik dan konsep ekonomi yang diharapkan untuk melindungi investasi yang ada.
- 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:

- a. 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.
- b. 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.
- c. 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.
- Dampak sosiologi dan 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 :

- 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. Peramalan Banjir dan Peringatan Bahaya Banjir

a. Peramalan banjir

Pada suatu sungai perlu adanya flood warning system, terutama untuk sungai yang melewati daerah yang padat penduduk dan mempunyai sifat banjir yang membahayakan. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi kerugian akibat banjir yang lebih besar. Pada tingkat awal untuk flood warning system adalah peramalan akan datangnya banjir.

Untuk mengetahui terhadap datangnya banjir, dapat diketahui dengan cara yang sederhana melalui gejala alam yang terjadi. Misalnya, banyak serangga yang keluar dari persembunyian / dalam tanah, suara katak yang riuh bersahutan, dsb. Cara ini biasanya diketahui baik oleh penduduk setempat dan akan

mempersiapkan segala persiapan untuk menghadapi hal-hal yang membahayakan dari banjir.

Berdasarkan perkembangan kehidupan masyarakat yang semakin modern dan bahaya banjir yang semakin meningkat, maka perlu adanya peramalan datangnya banjir secara tepat dan cepat. Maka secara teknis dapat dilakukan antara lain :

a. Pengamatan tinggi muka air pada pos-pos pengamat

Cara ini dilakukan dengan melakukan pengamatan tinggi muka air sungai pada beberapa pos pengamatan tinggi muka air sungai. Pos duga muka air sungai diperlukan minimum 2 buah, pertama pos duga di sebelah hulu dan pos kedua pada daerah yang diamankan. Pada kedua pos tersebut mempunyai hubungan tinggi muka air sungai dan debit banjir yang berupa tabel atau grafik. Jadi apabila tinggi muka air banjir pada pos di hulu diketahui, dapat menentukan besarnya tinggi muka air banjir dan debit banjir yang akan datang dan waktu tiba banjir pada pos di sebelah hilir. Pembacaan pada pos tersebut dapat dilakukan secara manual ataupun automatic.

b. Telemetering / pengamatan curah hujan

Untuk daerah yang bahaya banjirnya tinggi, biasanya menggunakan sistem peramalan yang lebih dini, yaitu menggunakan radar pencatat hujan di daerah aliran sungai. Berdasarkan radar tersebut, informasi tinggi hujan dikirimkan pada pos pengolah data, yang akan meramalkan besarnya banjir dan waktu tiba banjir pada daerah yang akan diamankan. Cara ini bekerjanya secara otomatis dan menggunakan peralatan yang cukup modern, sehingga hanya dipakai pada sungai-sungai tertentu yang bahaya.

b. Pemberitaan banjir

Pada saat banjir tiba, perlu adanya persiapan penanggulangan banjir, diantaranya kegiatan pemberitaan bahaya banjir. Untuk menjamin ketepatan berita banjir, perlu diperhatikan :

- Kesamaan bahasa komunikasi

- Pemakaian bahasa yang singkat dan jelas
- Penyampaian berita pada saat yang tepat terhadap banjir
- Adanya jalur komunikasi yang jelas
- Sarana komunikasi yang memadai
- Ada pembagian tugas dan tanggung jawab yang jelas

a. Sarana pemberitaan

Sebagai sarana untuk pemberitaan banjir dapat berupa : kentongan, peluit, radio pemancar dan penerima, telepon, dsb. Untuk alat komunikasi sederhana hanya digunakan untuk petugas lapangan, sedangkan untuk pemberitaan ke pos pusat atau petugas yang lain digunakan alat komunikasi dua arah. Pemeliharaan dan pemeriksaan peralatan sebaiknya dilakukan sebelum terjadinya banjir, bahwa semua peralatan lengkap dan berfungsi baik.

b. Saat dan selang pemberitaan

Gejala awal akan terjadinya banjir pada umumnya dapat diketahui dari kedudukan tinggi muka air sungai dan kondisi banjir terhadap tanggul. Maka tingkat bahaya suatu sungai dapat ditentukan berdasarkan kedua hal tersebut. Pada saat gejala awal terjadinya banjir, petugas harus siap melaksanakan tugasnya masing-masing. Sedangkan pemberitaan dilakukan pada awal masing-masing tingkat siaga (1, 2 dan 3) seperti pada Tabel 3.2.

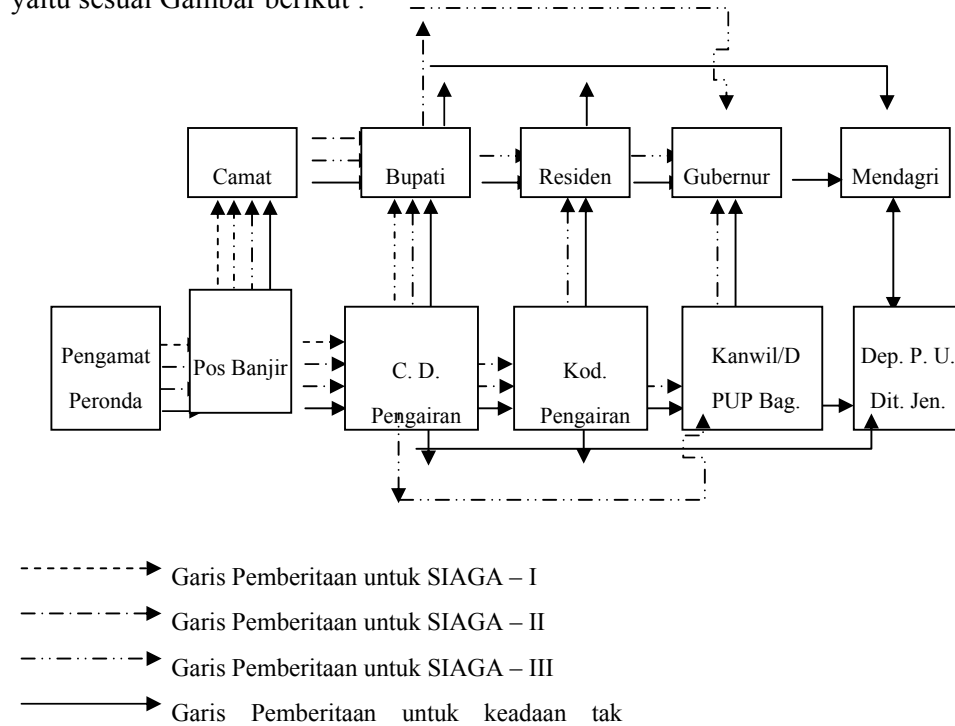
No.	Tingkat Bahaya	Tingkat Siaga	Tinggi Jagaan	Selang Waktu Pengamatan	Pemberitaan	
					Selang Waktu	Isyarat
1.	Bahaya 1	Siaga 1	1,75 – 1,25 m	2 jam	6 jam	
2.	Bahaya 2	Siaga 2	1,25 – 0,75 m	1 jam	3 jam
3.	Bahaya 3	Siaga 3	0,75–0,50 m. Atau saat bangunan pengendali kritis	Terus	0,25 sampai 1 jam
				menerus	

Tabel 3.2 *Tingkat siaga dan pemberitaan banjir*

(Robert J. Kodoatie, Sugiyanto, "Banjir")

c. Bagan alur pemberitaan

Pada pemberitaan banjir, perlu memanfaatkan potensi yang ada, misalnya: Orari, Pramuka, organisasi pemuda dan instansi yang berpotensi. Untuk menghindari kesimpangsiuran pemberitaan banjir, perlu adanya alur yang jelas, yaitu sesuai Gambar berikut :



Gambar 3.5 Bagan Alur Pemberitaan Banjir

(Robert J. Kodoatie, Sugiyanto, "Banjir")

8. 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.

9. 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 (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 ijin 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 ijin 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.

3.2.6 Penanggulangan Banjir

Penanggulangan banjir perlu dilakukan untuk menangani penanggulangan banjir dalam keadaan darurat, terutama untuk bangunan pengendalian banjir yang rusak dan kritis. Hal ini terutama untuk menangani banjir tahunan yang perlu penanganan tahunan pada waktu musim hujan atau banjir.

Perencanaan penanggulangan banjir perlu dibuat sebelumnya, berdasarkan pengalaman yang telah lalu. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan penanggulangan banjir :

1. Identifikasi masalah

Sebelum terjadinya banjir pada musim kemarau, sebaiknya dilakukan pemeliharaan tanggul dan bangunan pengendali banjir. Namun di dalam survei perlu dilakukan pula identifikasi pada tempat-tempat tertentu di sepanjang sungai yang rawan terhadap banjir. Di samping itu perlu juga dibuat map untuk daerah rawan banjir di dataran rendah.

2. Kebutuhan bahan dan peralatan penanggulangan

Bahan dan peralatan yang diperlukan adalah untuk digunakan pada waktu penanggulangan banjir. Keperluan tersebut harus disiapkan sebelum banjir dan dalam keadaan baik.

Bahan yang dapat disiapkan sebelumnya antara lain, kawat lonjong, karung plastik, ijuk, kayu, dsb. Sedangkan peralatan meliputi :

- alat kerja (sekop, gergaji, cangkul dsb)
- alat transportasi
- alat komunikasi
- peralatan penerangan
- perlengkapan personil

3. Kebutuhan tenaga penanggulangan

Kebutuhan tenaga biasanya cukup banyak, maka diharapkan peran serta dari masyarakat dalam penanggulangan. Personil Kimpraswil yang terbatas sebaiknya dapat mengkoordinir para tenaga sukarela tersebut, supaya dapat lebih

efektif. Tenaga kerja tersebut harus jelas pembagiannya dan dibuat dalam kelompok, misalnya : kelompok ronda, pengamat, pekerja penanggulangan darurat dan regu cadangan. Disamping itu pengerahan tenaga, perlu didiskusikan dengan aparat pemerintahan setempat dan sesuai dengan tugas dan wewenang pada Satuan Koordinasi Pelaksana Penanggulangan Bencana Alam (Satkorlak PBA) tingkat I dan II.

Agar supaya dapat berjalan secara efektif, perlu adanya rencana pelaksanaan, yang meliputi :

- Penentuan lokasi pos dan daerah kerja
- Organisasi pelaksana teknis penanggulangan (berlaku satu musim saja)

Langkah-langkah penanggulangan banjir :

1. Persiapan penanggulangan banjir

Pada awal terjadinya gejala banjir yang didasarkan pada peramalan banjir, hendaknya diberitakan pada petugas / kepala regu, sehingga semua personil segera mempersiapkan diri. Perkembangan tahap berikutnya menjadi siaga I ataupun kondisi banjir menurun harus diberitakan pada para petugas, agar dapat dihindari hal-hal yang tak diinginkan. Apabila keadaan akan meningkat pada siaga I, hendaknya dilakukan pemeriksaan bahan, peralatan dan prasarana yang lain yang diperlukan.

2. Inspeksi banjir

Pada saat keadaan meningkat menjadi bahaya, maka tenaga hendaknya dikerahkan dalam beberapa regu peronda. Setiap regu peronda mengamati bagian ruas sungai tertentu dan mengamati tinggi muka air sungai serta kondisi bangunan pengendali banjir terutama tanggul. Apabila keadaan pada siaga tertentu, hendaknya segera dikirimkan berita pada petugas sesuai diagram pemberitaan.

Pada saat terjadi kerusakan atau kondisi yang membahayakan, perlu segera dilakukan penanggulangan. Waktu dilaksanakan penanggulangan banjir, regu peronda tetap bertugas pada posisinya, untuk mengamati dan memonitor perkembangan keadaan. Semua data dan laporan dari berbagai pihak supaya

dikonfirmasikan pada pos banjir, supaya tidak terjadi kesimpangsiuran.

3. Koordinasi penanggulangan banjir

Karena penanggulangan banjir melibatkan banyak tenaga dan berbagai instansi, maka perlu pembagian tugas yang jelas dan koordinasi melalui forum Satkorlak PBA. Hal ini supaya ada kesatuan pendapat dan dapat bekerja secara efisien.

Cara penanganan penanggulangan banjir :

1. Penanggulangan limpasan banjir

Peristiwa terjadinya limpasan banjir, dapat diakibatkan muka air banjir melebihi elevasi puncak tanggul atau tanggul mengalami penurunan. Limpasan air banjir dapat membahayakan tanggul, karena adanya gerusan dan dapat mengakibatkan bobolnya tanggul. Penanggulangan limpasan dapat dilakukan :

- a. Timbunan tanah yang dipadatkan sederhana, dengan diperkuat sebelah dalam dengan batang kayu atau pohon pisang yang ada di tempat.
- b. Timbunan karung plastik yang diisi pasir atau tanah sebesar 60-70 %, supaya dapat rapat. Apabila persediaan karung sedikit, dapat dipasang satu baris pada sebelah dalam timbunan tanah yang dipadatkan.
- c. Timbunan tanah yang dipadatkan sederhana, dengan dua dinding perkuatan dan ini baik untuk tanah yang jelek. Dinding dapat dipakai dari papan sederhana atau anyaman bambu.

2. Penanggulangan rembesan air banjir

Apabila rembesan air pada kaki tanggul sebelah luar mulai tampak, maka harus segera dilakukan pengamanan. Hal ini dikarenakan material tanah halus dari tanggul akan terbawa dan akhirnya terjadi bocoran.

a. Apabila bocoran hanya satu lubang

Penanggulangannya dengan menutup lubang bocoran sebelah luar memakai drum yang sudah dibuang tutup dan alasnya. Sehingga air bocoran mengisi drum dan beda tinggi muka air banjir dan muka air di drum menjadi lebih kecil dan rembesan berkurang.

- b. Apabila bocoran ada beberapa tempat
Beberapa lubang bocoran dapat dilokalisir dengan tumpukan karung yang diisi pasir / tanah yang dilapisi ijuk. Apabila di lokasi tak terdapat karung / drum, maka lubang bocoran pada kaki tanggul luar ditutup dengan batu atau tanah yang diperkuat dengan dinding.
3. Penanggulangan retakan tanggul
Retakan tanggul dapat membahayakan tanggul dan terjadinya bobolnya tanggul. Cara penanggulangannya dengan memasukkan tanah pada retakan tersebut lalu ditusuk-tusuk sampai rapat dan ditimbun agak tinggi.
4. Penanggulangan penurunan tanggul
Penurunan tanggul dapat diakibatkan adanya proses konsolidasi timbunan tanah ataupun rusaknya bagian puncak tanggul. Cara penanggulangannya menambah timbunan tanah pada bagian yang turun, supaya diperoleh tinggi jagaan yang cukup.
5. Penanggulangan gerusan akibat gelombang banjir
Arus dan gelombang banjir dapat mengakibatkan tergerusnya talud tanggul sebelah dalam. Apabila proses ini dibiarkan dapat membahayakan kestabilan tanggul. Maka untuk menanggulangi, talud tanggul dapat dilindungi dengan hamparan kericak. Apabila tidak ada kericak di lokasi, talud tanggul dapat dilindungi dengan batang pohon atau dinding bambu yang diperkuat dengan pancang kayu.
6. Penanggulangan longsornya talud tanggul
Longsoran tanggul yang terjadi, dapat mengakibatkan tidak stabilnya tanggul dan perlu dilakukan pengamanan segera. Penanggulangan dengan menambah timbunan di sebelah luar tanggul, bertalud lebih landai atau menggunakan berm. Apabila memungkinkan timbunan tanah tersebut diperkuat dengan dinding karung atau papan.
7. Penanggulangan bobolnya tanggul
Bobolnya tanggul perlu ditanggulangi sedini mungkin, supaya bobolnya

tanggul tidak bertambah dalam dan lebar. Apabila bobolnya tanggul belum terlalu dalam, dapat dibuat kistdam melingkar di sebelah dalam tanggul. Kistdam dibuat dari timbunan tanah / karung pasir yang diapit dinding pada kedua sisinya dan pada sebelah kistdam diisi timbunan tanah yang dipadatkan sederhana. Apabila bobolnya tanggul sudah terlalu dalam, dapat dibuat dua kistdam pada sebelah dalam dan luar tanggul dan diisi timbunan tanah pada antara kedua kistdam.

3.3 Aspek Penanganan Sungai

3.3.1 Pengertian 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 di atas 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 :

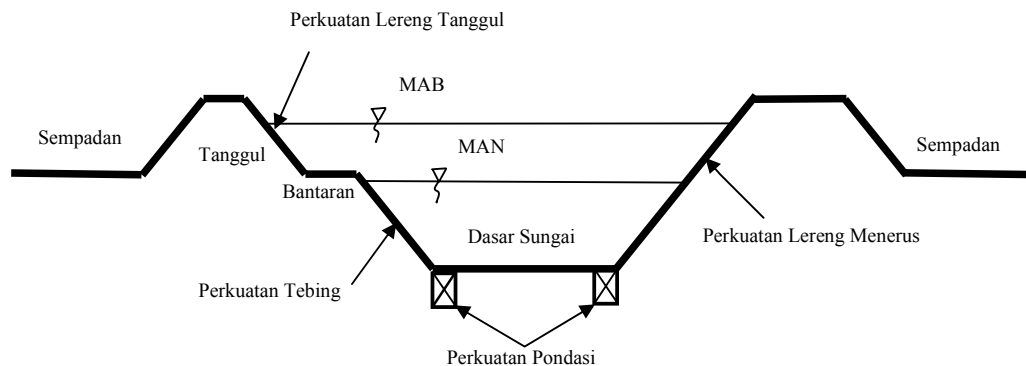
1. Suatu daerah yang di dalamnya terdapat air yang mengalir secara terus menerus
2. Suatu daerah yang kondisi topografinya, keadaan tanamannya, dan keadaan lainnya mirip dengan daerah yang di dalamnya terdapat air yang mengalir secara terus menerus (termasuk tanggul sungai, tetapi tidak termasuk bagian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

Jadi sungai adalah salah satu dari sumberdaya 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 *main river* (sungai utama), sedang cabang – cabangnya disebut *tributary* (anak sungai). Kadang – kadang sebelum alirannya berakhir di sebuah danau atau pantai laut, sungai membentuk beberapa buah cabang yang disebut *effluent* (cabang sungai). (Suyono Sosrodarsono, "Perbaikan dan Pengaturan Sungai")

Menurut penampang melintangnya, sungai terdiri dari bagian – bagian sebagai berikut seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Penampang Melintang Sungai (Saluran Ganda)

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.

A. 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.

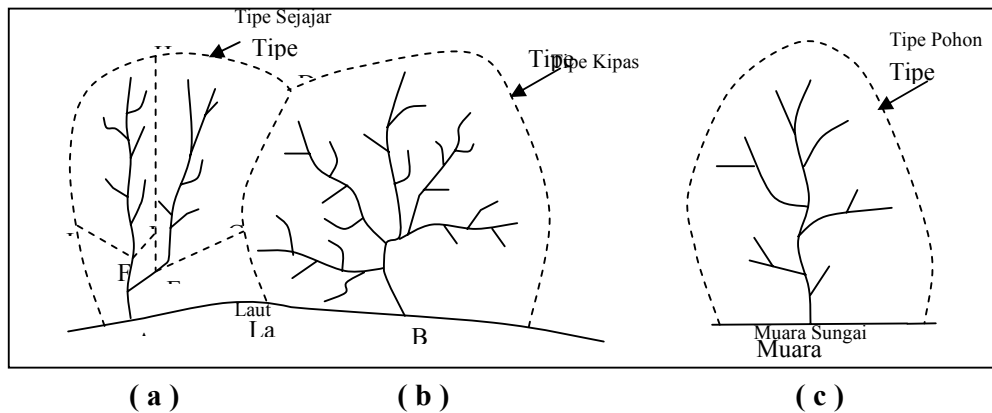
c. Bagian Hilir

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 3.7 a memperlihatkan 2 (dua) buah sungai yang mengalir ke laut. Sungai pada gambar 3.7 a 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 pada gambar 3.7 b yang disebut sungai tipe kipas. Ada pula tipe - tipe lainnya seperti tipe cabang pohon (lihat gambar 3.7 c) 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"*)



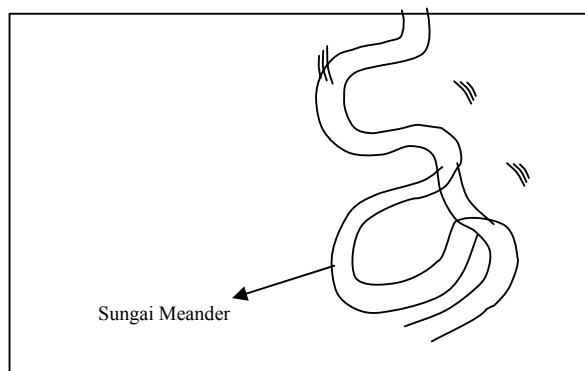
Gambar 3.7. Daerah Aliran Sungai dan Pola Susunan Anak – Anak Sungai

B. Perilaku Sungai

Sungai adalah suatu saluran drainase yang terbentuk secara alamiah. Akan tetapi di samping 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 3.8



Gambar 3.8 *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")

c. 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")

3.3.2 Jenis Pengendalian 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 :

1. *Levee* (Tanggul)

Tanggul harus dibangun dengan bahan yang memenuhi persyaratan, dilaksanakan dengan persyaratan teknis, dan dibangun di atas tanah pondasi yang cukup baik.

2. *Revertment* (Lapisan Pelindung Lereng)

Perkuatan lereng adalah bangunan yang ditempatkan pada permukaan suatu lereng untuk melindungi lereng 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 tiga jenis yaitu *levee revertment* (perkuatan lereng tanggul), *low water revertment* (perkuatan lereng sungai) dan *high water revertment* (perkuatan lereng menerus).

3. *Training Wall* (Dinding Kendali)

Dinding kendali / pengarah ini biasanya digunakan untuk pengarah aliran, pembetulan belokan – belokan sungai dan penyempitan alur sungai. Dinding kendali juga digunakan untuk melindungi konstruksi jembatan, bendung dan sebagainya. Dinding kendali ini dibangun pada belokan – belokan tajam.

4. *Groyne* (Tanggul Tangkis)

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

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

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. Maka perlu dilakukan pengerukan sungai yang bertujuan untuk mengembalikan alur dan pola aliran sungai.

3.4 Aspek Perencanaan

Dalam pengendalian banjir, data yang akurat sangat dibutuhkan, dimana data tersebut selanjutnya akan dianalisis dan dipelajari sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan suatu pengendalian banjir.

3.4.1 Topografi

Topografi merupakan keterangan secara terperinci (dengan peta) tentang daerah atau tempat, gunung – gunung, lembah – lembah, jalan – jalan, dataran tinggi, datran rendah, dan sebagainya. Kondisi corak, elevasi, dan gradien topografi dari daerah pengaliran mempunyai pengaruh terhadap sungai dan hidrologi daerah tersebut. Elevasi daerah pengaliran berhubungan erat dengan suhu dan curah hujan. Gradien kemiringan daerah adalah salah satu faktor yang mempengaruhi waktu mengalirnya aliran permukaan, waktu konsentrasi curah hujan ke sungai dan mempunyai hubungan langsung dengan debit banjir.

(Suyono Sosrodarsono, " Perbaikan dan Pengendalian Banjir")

3.4.2 Kondisi Tanah

Tanah selalu mempunyai peranan yang sangat penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Tanah adalah pondasi pendukung pada suatu bangunan atau bahkan konstruksi dari bangunan itu sendiri, seperti pada tanggul dan bendungan ataupun sebagai sumber penyebab gaya luar pada bangunan. Tanah selalu berperan pada setiap bangunan teknik sipil. (*Suyono Sosrodarsono, " Perbaikan dan Pengendalian Banjir "*)

Maksud dari penyelidikan dan penelitian tanah adalah untuk melakukan penyelidikan atau investigasi pondasi rencana bangunan untuk dapat mempelajari lapisan tanah yang ada, serta sifat – sifat yang berkaitan dengan bangunan yang akan dibangun di atasnya. Tujuannya adalah untuk memberikan data parameter tanah untuk perencanaan pondasi bangunan yang akan dibuat. Pekerjaan dan penelitian ini merupakan penyelidikan di lapangan dengan menggunakan bor tangan serta serangkaian penelitian di laboratorium.

Dari hasil tanah *undisturbed sample* dan *disturbed sample*, kemudian di selidiki di laboratorium mengenai sifat – sifat fisik dan sifat mekanis tanahnya. Adapun besaran – besaran yang di cari meliputi :

- *Specific Gravity* (Gs)
- *Bulk Density* (ρ_b , gram / cm³)
- *Dry Density* (ρ_d , gram / cm³)
- *Water Content* (w, %)
- *Void Ratio* (e)
- *Porosity* (n, %)
- *Atterberg Limit* (LL, PL, PI)
- *Angle of Internal Friction* (ϕ , derajat)
- *Cohesion* (c, gram / cm²)
- *Grain Size Accumulation Curve* (grafik)

3.4.3 Morfologi Sungai

Morfologi sungai adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang geometri, jenis, sifat, dan perilaku sungai dengan segala aspek perubahannya

dalam dimensi ruang dan waktu. Dengan demikian menyangkut sifat dinamik dan lingkungan yang saling berkaitan.

Dalam mencari data masukan tentang morfologi sungai ada beberapa faktor yang harus diperhatikan adalah :

1. Geometri sungai.

Geometri sungai meliputi alur, palung, dan lembah sungai secara vertikal dan horizontal. Parameter yang diperlukan adalah panjang, lebar, kemiringan (elevasi) dan kekasaran dasar sungai.

2. Hidrolika.

Hidrolika yang berkaitan dengan perubahan morfologi sungai dengan parameter debit, tinggi air dan kecepatan aliran.

3. Hidrograf.

Hidrograf dengan gejalannya yaitu aliran besar dan aliran kecil mempunyai parameter untuk kebutuhan desain yaitu :

- Parameter aliran besar atau banjir yang meliputi debit banjir puncak, jangka waktu tercapainya puncak aliran, kecepatan naik turunnya aliran, volume banjir, dan tinggi muka air.
- Aliran kecil atau sedang perlu dipertimbangkan dalam hal pengaruhnya terhadap geometri sungai serta ketersediaan air untuk rencana pemanfaatan dan operasinya.

4. Angkutan Muatan.

Gejala angkutan muatan yang biasa dijumpai antara lain adalah :

- Angkutan muatan berupa muatan dasar dan muatan layang dengan parameter jenis material, diameter butir, dan volume.
- Degradasi dengan penurunan dasar alur maupun palung sungai dengan parameter panjang, lebar, dan kedalaman.
- Agradasi atau sedimentasi dengan parameter panjang, lebar, dan kedalaman.
- Penggerusan lokal sebagai akibat gangguan terhadap aliran sungai oleh struktur alam dengan parameter panjang, lebar, dan kedalaman.
- Penggerowongan tebing akibat aliran spiral maupun pusaran air yang dapat mengakibatkan longsoran tebing dengan parameter panjang, lebar, dan

kedalaman.

- Meander, yaitu gejala berliku – likunya sungai di daerah yang memanjang dengan parameter panjang, lebar, dan kedalaman.
- Berjalina, yaitu kombinasi gejala meander dan pengendapan setempat dalam jumlah banyak.
- Benturan dan abrasi oleh material keras yang terangkut aliran terhadap struktur bangunan, tebing, dan dasar sungai.
- Penghanyutan material oleh rembesan pada tebing kiri dan kanan sungai.
- Angkutan material lainnya berupa biotik, abiotik, dan bahan kimia.

5. Geoteknik.

Geoteknik memberikan informasi tentang keadaan batuan. Hal ini berkaitan dengan potensi angkutan muatan dan gerakan tanah di alur palung, tebing sungai, dan di DAS. Parameternya adalah jenis gradasi butir, kekerasan, kepadatan, homogenitas, perlapisan dan struktur material pembentuk.

6. Faktor – faktor lain.

- Tempat dan jenis semua bangunan yang mempengaruhi morfologi sungai.
- Pengaruh lingkungan yang dapat mengubah morfologi sungai antara lain penambangan bahan galian, pekerjaan pengerukan, perbaikan alur sungai, dan transportasi sungai.
- Pengaruh kelautan antara lain : sedimentasi dan erosi akibat gelombang, arus, dan pasang surut.

3.4.4 Hidrologi

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi, seperti besarnya : curah hujan, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran, konsentrasi sedimen sungai dan lain – lain yang akan selalu berubah terhadap waktu.

Data hidrologi digunakan untuk menentukan besarnya debit banjir rencana. Debit banjir rencana merupakan debit yang dijadikan dasar perencanaan, yaitu debit maksimum rencana di sungai atau saluran alamiah dengan periode ulang tertentu (Q_{th}) yang dapat dialirkan tanpa membahayakan lingkungan sekitar dan stabilitas sungai. Debit banjir rencana adalah debit banjir yang rata – rata

terjadi satu kali dalam periode ulang yang ditinjau. Untuk mendapatkan debit banjir rencana dapat dilakukan melalui dua cara yaitu melalui pengolahan data debit dan melalui pengolahan data hujan.

Data curah hujan didapatkan dari stasiun hujan yang tersebar di daerah pengaliran sungai. Data yang tercatat merupakan data curah hujan harian, yang kemudian akan diolah menjadi data curah hujan harian maksimum tahunan. Baru setelah itu diubah menjadi debit banjir rencana periode ulang tertentu.

Data curah hujan ini lebih lengkap dibandingkan dengan data debit, sebab agar dapat menggunakan data debit harus tersedia *rating curve* yang dapat mencakup debit banjir saat muka air banjir rendah sampai dengan maksimum. Pengukuran tinggi muka air banjir dan kecepatan air banjirnya dilakukan per segmen dalam suatu penampang melintang sungai (*cross section*). Hal ini sangat sulit dilakukan dalam prakteknya dan membutuhkan waktu yang lama serta biaya yang tidak sedikit, antara lain : petugas pencatat seringkali mengalami kesulitan pembacaan *peilschale* dalam pengukuran ketinggian muka air banjir pada saat banjir terlalu tinggi/terlalu deras, perlu adanya konstruksi jembatan, dan terkadang sukar memprediksi kapan waktu terjadi banjir sehingga terkadang *timing* pengukuran tidak tepat. Selain itu untuk daerah yang belum berkembang dimana peralatan minimal, sangat sulit untuk melakukan pengukuran elevasi muka air dan kecepatan saat banjir.

Data debit banjir yang terukur tersebut sahnya harus 20 tahun, namun kendalanya adalah data debit tersebut terkadang tidak lengkap, mahal biayanya dan sulit dilaksanakan. Bagian tempat pengamatan yang memiliki tekanan yang tinggi atau bagian kecepatan aliran yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya kesalahan pengukuran permukaan air yang tinggi dan juga alat tersebut mudah menjadi rusak oleh aliran.

Dari pencatatan tinggi muka air banjir di atas, dibuat menjadi kurva hubungan antara tinggi muka air dengan debit banjir. Sehingga dapat dicari besarnya debit banjir dari ketinggian air tertentu. Selain diperlukan *rating curve* untuk mengubah data debit menjadi debit banjir, harus pula didukung oleh data yang menerus yang bisa diperoleh dari AWLR.

Sehubungan data debit susah dicari juga sering tidak lengkap, maka digunakan pengolahan data curah hujan harian menjadi curah hujan harian maksimum tahunan. Sebab data curah hujan lebih mudah didapatkan dan tersimpan pada stasiun pengamatan hujan yang letaknya tersebar di daerah pengaliran sungai yang ditinjau.

Dari data hujan harian maksimum tahunan ini, kemudian dilakukan pemilihan distribusi, dimana dapat diolah dengan dua cara yaitu cara analisis dan cara grafis. Cara analisis menggunakan perbandingan parameter statistik untuk mendapatkan jenis sebaran (distribusi) yang sesuai. Cara grafis adalah dengan mengplot di kertas probabilitas. Plotting ini kemudian harus dicek dengan melakukan uji keselarasan *Chi Square* dan *Smirnov Kolmogorov*.

A. Debit Banjir Rencana

Pemilihan debit banjir rencana untuk bangunan air adalah suatu masalah yang sangat bergantung pada analisis statistik dari urutan kejadian banjir baik berupa debit air di sungai maupun hujan. Dalam pemilihan suatu teknik analisis penentuan banjir rencana tergantung dari data - data yang tersedia dan macam dari bangunan air yang akan dibangun.

Hal yang penting dalam perhitungan banjir rencana adalah distribusi curah hujan. Distribusi curah hujan berbeda sesuai dengan jangka waktu yang ditinjau yaitu :

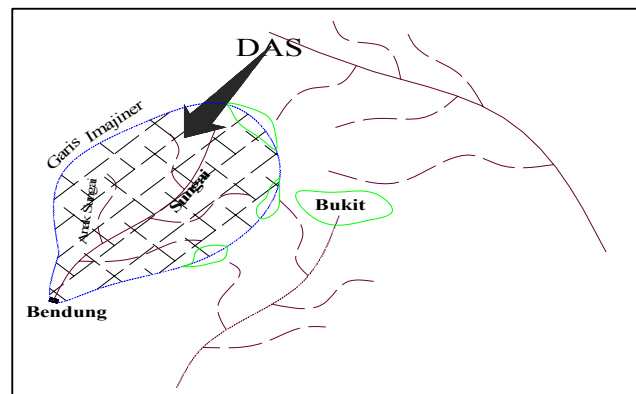
- $R_{jam-jaman}$ = curah hujan yang turun tiap jam.
- R_{24} = curah hujan maksimum yang terjadi dalam 24 jam.
- R_{harian} = curah hujan dalam satu hari (24 jam) yang didapat dari curah hujan tiap jam (R_{jam}).
- $R_{mingguan}$ = curah hujan dalam satu minggu (7 hari) yang didapat dari curah hujan harian (R_{harian}) tiap hari dalam satu minggu.
- $R_{bulanan}$ = curah hujan dalam satu bulan yang didapat dari curah hujan mingguan ($R_{mingguan}$) tiap minggu dalam satu bulan.
- $R_{tahunan}$ = curah hujan dalam satu tahun yang didapat dari curah hujan bulanan ($R_{bulanan}$) tiap bulan dalam satu tahun.

I = tinggi curah hujan yang terjadi dalam periode / waktu tertentu,
 $\left(\frac{R}{T}\right)$ dinyatakan dalam mm/jam. Intensitas curah hujan (I) yang didapatkan

nantinya akan digunakan dalam perhitungan debit banjir rencana.

B. Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai ditentukan berdasarkan topografi daerah tersebut, di mana daerah aliran sungai adalah daerah yang dibatasi oleh punggung - punggung bukit dimana air hujan di daerah tersebut mengalir menuju ke satu sungai. Pada peta topografi dapat ditentukan cara membuat garis *imajiner* yang menghubungkan titik yang mempunyai elevasi kontur tertinggi di sebelah kiri dan kanan sungai yang ditinjau. Untuk menentukan luas daerah aliran sungai dapat digunakan alat planimeter. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Sketsa Penentuan DAS

C. Curah Hujan Daerah / Wilayah

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata - rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah wilayah / daerah dan dinyatakan dalam mm.

Untuk memperoleh data curah hujan, maka diperlukan alat untuk mengukurnya yaitu penakar hujan dan pencatat hujan. Data hujan yang diperoleh dari alat ukur curah hujan adalah data curah hujan lokal (*Point Rainfall*) yang

kemudian diolah terlebih dahulu menjadi data curah hujan daerah / wilayah aliran sungai (*Areal Rainfall*) untuk perhitungan dalam perencanaan.

Dalam perencanaan Pengendalian Banjir di Kecamatan Patebon ini data curah hujan diperoleh dari stasiun - stasiun sekitar lokasi DAS Bodri di mana stasiun hujan tersebut masuk dalam DAS.

D. Penentuan Curah Hujan Maksimum Rata-rata Daerah Aliran

Pengamatan curah hujan dilakukan pada stasiun - stasiun penakar yang terletak di dalam atau di sekitar Daerah Aliran Sungai (DAS) untuk mendapatkan curah hujan maksimum harian(R_{24}). Penentuan curah hujan maksimum harian(R_{24}) rata - rata wilayah DAS dari beberapa stasiun penakar tersebut dapat dihitung dengan beberapa metode antara lain :

▪ **Metode Rata – Rata Aljabar**

Tinggi rata - rata curah hujan yang didapatkan dengan mengambil nilai rata - rata hitung (*arithmetic mean*) pengukuran hujan di pos penakar - penakar hujan di dalam areal tersebut. Jadi cara ini akan memberikan hasil yang dapat dipercaya jika pos - pos penakarnya ditempatkan secara merata di areal tersebut, dan hasil penakaran masing - masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari nilai rata - rata seluruh pos di seluruh areal. Nilai curah hujan daerah / wilayah ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

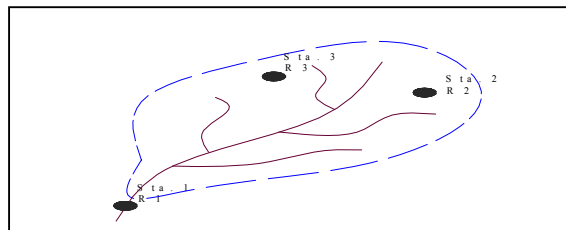
$$\bar{R} = \frac{1}{n}(R_1 + R_2 + \dots + R_n) \dots \dots \dots (3.1)$$

dimana :

\bar{R} = besar curah hujan rerata daerah (mm).

n = jumlah titik – titik pengamatan (Sta. Hujan).

R_1, R_2, \dots, R_n = besar curah hujan di tiap titik pengamatan (Sta. Hujan)



Gambar 3.10 DAS Untuk Metode Rata - Rata Aljabar

▪ **Metode Polygon Thiessen**

Metode ini sering digunakan pada analisis hidrologi karena metode ini lebih baik dan obyektif dibanding dengan metode lainnya. Cara poligon *thiessen* ini dipakai apabila daerah pengaruh dan curah hujan rata-rata tiap stasiun berbeda-beda, dipakai stasiun hujan minimum 3 buah dan tersebar tidak merata. Cara ini memperhitungkan luas daerah yang mewakili dari pos-pos hujan yang bersangkutan, untuk digunakan sebagai faktor bobot dalam perhitungan curah hujan rata-rata.

Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Tentukan stasiun penakar curah hujan yang berpengaruh pada daerah pengaliran.
2. Tarik garis hubungan dari stasiun penakar hujan /pos hujan.
3. Tarik garis sumbunya secara tegak lurus dari tiap-tiap garis hubung.
4. Hitung luas DAS pada wilayah yang dipengaruhi oleh stasiun penakar curah hujan tersebut.

Cara ini dipandang cukup baik karena memberikan koreksi terhadap kedalaman hujan sebagai fungsi luas daerah yang diwakili. Dimana rumus yang digunakan untuk menghitung curah hujannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Rumus: } R = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(3.2)$$

dimana:

R_1, \dots, R_n = curah hujan di tiap stasiun pengukuran (mm)

A_1, \dots, A_n = luas bagian daerah yang mewakili tiap stasiun pengukuran (km²)

R = besarnya curah hujan rata-rata DAS (mm).

Setelah luas pengaruh pada tiap-tiap stasiun didapat, koefisien *thiessen* dapat dihitung:

$$C_i = \frac{A_i}{A} * 100\% \dots\dots\dots(3.3)$$

dimana:

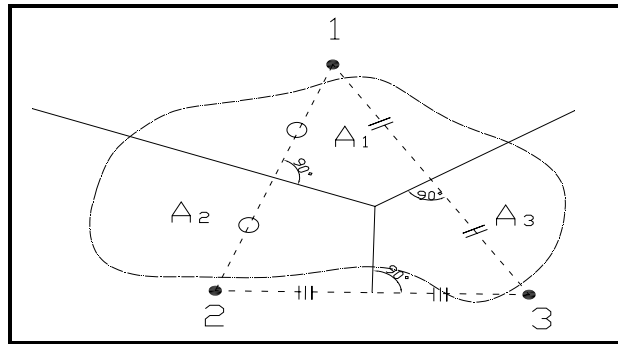
C_i = koefisien *thiessen*

A = luas total DAS (km²)

A_i = luas bagian daerah di tiap stasiun pengamatan (km^2)

$$R = (R_1 * C_1) + (R_2 * C_2) + \dots + (R_n * C_n) \dots\dots\dots(3.4)$$

(Sumber: Sri Harto, Analisis Hidrologi, 1993)



Gambar 3.11 Polygon Thiessen

▪ **Metode Isohyet**

Dengan cara ini, kita dapat menggambar dulu kontur tinggi hujan yang sama (*isohyet*) seperti terlihat pada gambar 2.11. Setelah itu diluas bagian diantara dua garis *isohyet* yang berdekatan diukur dengan planimeter, dan nilai rata – rata dihitung sebagai nilai rata – rata timbang nilai kontur. Curah hujan daerah itu dapat dihitung menurut persamaan sebagai berikut seperti pada halamn II – 64.

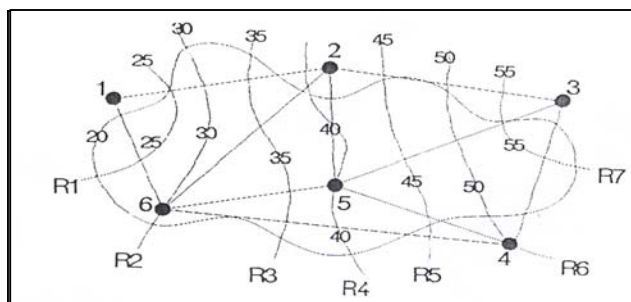
$$\bar{R} = \frac{A_1.R_1 + A_2.R_2 + \dots\dots\dots + A_n.R_n}{A_1 + A_2 + \dots\dots\dots + A_n} \dots\dots\dots(3.5)$$

dimana :

\bar{R} = Besar curah hujan rerata daerah (mm).

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas bagian DAS yang terpengaruh di tiap titik pengamatan (Sta.Hujan).

R_1, R_2, \dots, R_n = Besar curah hujan rata – rata pada bagian A_1, A_2, \dots, A_n .



Gambar 3.12 Metode Isohyet

Cara ini adalah cara rasional yang terbaik jika garis – garis *isohyet* dapat digambar dengan teliti. Akan tetapi jika titik pengamatan itu banyak dan variasi curah hujan di daerah bersangkutan besar, maka pada pembuatan peta *isohyet* ini akan terjadi kesalahan personal (*invidual error*). Pada waktu menggambar garis – garis *isohyet* sebaiknya juga memperhatikan pengaruh bukit atau gunung terhadap distribusi hujan (*hujan orografik*).

Metode yang akan dipakai dalam perhitungan curah hujan rerata dalam kaitannya dengan rencana pengendalian banjir ini adalah dengan menggunakan metode *Polygon Thiessen* karena lebih baik dan objektif dan dapat digunakan untuk daerah yang stasiun hujannya tidak merata.

E. Penentuan Curah Hujan Harian Rencana

Analisis curah hujan rencana ini ditujukan untuk mengetahui besarnya curah hujan maksimum dalam periode ulang tertentu yang nantinya dipergunakan untuk perhitungan debit banjir rencana.

Untuk perhitungan hujan rencana digunakan analisa frekuensi, cara yang dipakai adalah dengan menggunakan metode kemungkinan (*Probability Distribution*) teoritis yang ada. Beberapa jenis distribusi yang digunakan antara lain :

1. Distribusi Log Pearson Type III.
2. Distribusi Log Normal.
3. Distribusi Gumbel.

Dalam penentuan metode yang akan digunakan, terlebih dahulu ditentukan parameter-parameter statistik sebagai berikut :

a. Deviasi Standar (δx)

Deviasi standar (*Standard Deviation*) merupakan ukuran sebaran yang paling banyak digunakan. Apabila penyebaran sangat besar terhadap nilai rata-rata, maka nilai δx akan besar, akan tetapi jika penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka nilai δx akan kecil pula. Deviasi standar dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\delta x = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}{(n - 1)} \dots\dots\dots(3.6)$$

b. Koefisien Variasi (Cv)

Koefisien variasi (*Variation of Coefficient*) adalah nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi normal. Koefisien variasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Cv = \frac{\delta x}{\bar{X}} \dots\dots\dots(3.7)$$

c. Koefisien Skewness (Cs)

Koefisien *skewness* (kecondongan) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan (asimetri) dari suatu bentuk distribusi. Apabila kurva frekuensi dari suatu distribusi mempunyai ekor memanjang ke kanan atau ke kiri terhadap titik pusat maksimum, maka kurva tersebut tidak akan berbentuk simetri. Keadaan tersebut disebut condong ke kanan atau ke kiri. Pengukuran kecondongan adalah untuk mengukur seberapa besar kurva frekuensi dari suatu distribusi tidak simetri atau condong. Ukuran kecondongan dinyatakan dengan besarnya koefisien kecondongan atau koefisien *skewness*, dan dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$Cs = \frac{n * \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1) * (n-2) * S^3} \dots\dots\dots(3.8)$$

d. Koefisien Kurtosis (Ck)

Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi dan sebagai pembandingnya adalah distribusi normal. Koefisien kurtosis (*Coefficient of Kurtosis*) dirumuskan sebagai berikut:

$$Ck = \frac{n^2 * \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1) * (n-2) * (n-3) * S^4} \dots\dots\dots(3.9)$$

Dari harga parameter statistik tersebut akan dipilih jenis distribusi yang sesuai. Dengan menggunakan cara penyelesaian analisa frekuensi, penggambaran ini dimungkinkan lebih banyak terjadinya kesalahan. Maka untuk mengetahui tingkat pendekatan dari hasil penggambaran tersebut, dapat dilakukan pengujian kecocokan data dengan menggunakan cara Uji Chi Kuadrat (*Chi Square Test*) dan plotting data.

1. Distribusi Log Pearson Type III

Diantara 12 tipe metode *pearson, type III* merupakan metode yang banyak digunakan dalam analisis hidrologi. Berdasarkan kajian Benson 1986, disimpulkan bahwa metode *log pearson type III* dapat digunakan sebagai dasar dengan tidak menutup kemungkinan pemakaian metode yang lain, apabila pemakaian sifatnya sesuai. (Sri Harto, 1981).

Langkah-langkah yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- a. Gantilah data $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ menjadi data dalam logaritma, yaitu: $\log X_1, \log X_2, \log X_3, \dots, \log X_n$.
- b. Hitung rata-rata dari logaritma data tersebut:

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \dots\dots\dots(3.10)$$

- c. Hitung standar deviasi

$$\delta x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(3.11)$$

- d. Hitung koefisien *skewness*

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3}{(n - 1) * (n - 2) * S^3} \dots\dots\dots(3.12)$$

- e. Hitung logaritma data pada interval pengulangan atau kemungkinan prosentase yang dipilih.

$$\text{Log} X_{Tr} = (\log \overline{X}) + S \log^* K(Tr, Cs) \dots\dots\dots(3.13)$$

dimana:

$\text{Log} X_{Tr}$ = logaritma curah hujan rencana (mm)

$\log \overline{X}$ = logaritma curah hujan rata-rata (mm)

δx = standar deviasi (mm)

$K(Tr, Cs)$ = faktor frekuensi *pearson* tipe III yang tergantung pada harga Tr (periode ulang) dan Cs (koefisien *skewness*), yang dapat dibaca pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Harga K untuk Distribusi Log Pearson III

Kemencengan (Cs)	Periode Ulang (Tahun)							
	2	5	13	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,3986	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,652	6,600
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-0,132	0,780	1,336	2,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	2,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-0,099	0,800	1,328	2,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	2,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	2,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	2,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	2,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	2,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0	0,000	0,842	1,282	2,751	2,054	2,3269	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	2,761	2,000	2,262	2,482	3,950
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,488	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,200	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,089	1,197	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	1,959	0,980	0,990	0,995	1,000
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

(Sumber : CD Soemarto, 1999)

2. Distribusi Log Normal

Rumus yang digunakan dalam perhitungan dengan metode ini adalah sebagai berikut (Soewarno, *Jilid 1, 1995*) :

$$\log X_t = \log X_r + S * K_t \dots \dots \dots (3.14)$$

dimana :

X_t = besarnya curah hujan yang mungkin terjadi dengan periode ulang T tahun.

X_r = curah hujan rata – rata.

S = standar deviasi data hujan maksimum tahunan.

K_t = standar variable untuk periode ulang t tahun yang besarnya diberikan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 *Standard Variable (K_t)*

T	K_t	T	K_t	T	K_t
1	-1,86	20	1,89	90	3,34
2	-0,22	25	2,10	100	3,45
3	0,17	30	2,27	110	3,53
4	0,44	35	2,41	120	3,62
5	0,64	40	2,54	130	3,70
6	0,81	45	2,65	140	3,77
7	0,95	50	2,75	150	3,84
8	1,06	55	2,86	160	3,91
9	1,17	60	2,93	170	3,97
10	1,26	65	3,02	180	4,03
11	1,35	70	3,08	190	4,09
12	1,43	75	3,60	200	4,14
13	1,50	80	3,21	221	4,24
14	1,57	85	3,28	240	4,33
15	1,63	90	3,33	260	4,42

(Sumber : CD Soemarto, 1999)

Tabel 3.5 Koefisien untuk metode sebaran Log Normal

Cv	Periode Ulang T tahun					
	2	5	10	20	50	100
0,0500	-0.2500	0.8334	1.2965	1.6863	2.1341	2.4370
0,1000	-0.0496	0.8222	1.3078	1.7247	2.2130	2.5489
0,1500	-0.0738	0.8085	1.3156	1.7598	2.2899	2.6607
0,2000	-0.0971	0.7926	1.3200	1.7911	2.3640	2.7716
0,2500	-0.1194	0.7748	1.3209	1.8183	2.4348	2.8805
0,3000	-0.1406	0.7547	1.3183	1.8414	2.5316	2.9866
0,3500	-0.1604	0.7333	1.3126	1.8602	2.5638	3.0890
0,4000	-0.1788	0.7100	1.3037	1.8746	2.6212	3.1870
0,4500	-0.1957	0.6870	1.2920	1.8848	2.6734	3.2109
0,5000	-0.2111	0.6626	1.2778	1.8909	2.7202	3.3673
0,5500	-0.2251	0.6129	1.2513	1.8931	2.7615	3.4488
0,6000	-0.2375	0.5879	1.2428	1.8916	2.7974	3.5241
0,6500	-0.2485	0.5879	1.2226	1.8866	2.8279	3.5930
0,7000	-0.2582	0.5631	1.2011	1.8786	2.8532	3.6568
0,7500	-0.2667	0.5387	1.1784	1.8577	2.8735	3.7118
0,8000	-0.2739	0.5184	1.1584	1.8543	2.8891	3.7617
0,8500	-0.2801	0.4914	1.1306	1.8388	2.9002	3.8056
0,9000	-0.2852	0.4886	1.1060	1.8212	2.9071	3.8437
0,9500	-0.2895	0.4466	1.0810	1.8021	2.9102	3.8762
1,000	-0.2929	0.4254	1.0560	1.7815	2.9098	3.9036

(Sumber : Soewarno, *Jilid I*, 1995)

3. Distribusi Gumbel

Metode ini merupakan metode dari nilai-nilai ekstrim (maksimum atau minimum). Fungsi metode gumbel merupakan fungsi eksponensial ganda. (Sri Harto, 1991).

Rumus Umum:

$$X_{Tr} = \bar{x} + \delta x * Kr \dots\dots\dots(3.15)$$

(Soewarno, *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik ntuk Analisis Data, Jilid 1*)

dimana:

X_{Tr} = tinggi hujan untuk periode ulang T tahun (mm)

\bar{x} = harga rata-rata data hujan (mm)

δx = standar deviasi bentuk normal (mm)

Kr = faktor frekuensi gumbel.

Faktor frekuensi gumbel merupakan fungsi dan masa ulang dari distribusi

$$K_r = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots(3.16)$$

(Soewarno, *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik ntuk Analisis Data, Jilid 1*)

dimana:

Y_t = *Reduced Variate* (fungsi periode ulang T tahun) (Tabel 3.3)

Y_n = harga rata-rata *Reduced Mean* (Tabel 3.4)

S_n = *Reduced Standard Deviation* (Tabel 3.5)

Tabel 3.6 *Harga Reduced Variate Pada Periode Ulang Hujan T tahun*

Periode Ulang Hujan T tahun	<i>Reduced Variate</i>
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001

(*Joesron Loebis, 1987*)

Tabel 3.7 *Hubungan Reduced mean (Yn) dengan jumlah data (n)*

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5520
20	0,5236	0,5252	0,5269	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5402	0,5402	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5463	0,5472	0,5477	0,5481
50	0,5486	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5530	0,5533	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5557	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5572	0,5572	0,5574	0,5576	0,5576	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5573	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5586									

(*Joesron Loebis, 1987*)

Tabel 3.8 Hubungan reduced standart deviasi (S_n) dengan jumlah data (n)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0315	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0664	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1086
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1638	1,1667	1,1681	1,1696	1,1706	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1770	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1873	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1953	1,9670	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065									

(Joesron Loebis, 1987)

F. Pemilihan Jenis Sebaran

Pemilihan jenis sebaran dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan metode analitis dan metode grafis.

▪ Metode Analitis

Metode analitis yaitu dengan membandingkan parameter statistik untuk menentukan jenis sebaran yang sesuai dengan kriteria yang dipersyaratkan.

Untuk memilih jenis sebaran, ada beberapa macam distribusi yang sering dipakai yaitu :

1. Distribusi Normal

Dalam analisis hidrologi distribusi normal sering digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata – rata tahunan. Distribusi tipe normal, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau $C_S = 0$ dan $C_K = 3$.

2. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal merupakan hasil transformasi dari distribusi Normal yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X. Distribusi ini dapat diperoleh juga dari distribusi Log Pearson Tipe III apabila nilai koefisien kemencengan $C_S = 0$. Distribusi tipe Log Normal mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau $C_S = 3 C_V + C_V^3$. Syarat lain distribusi sebaran Log Normal $C_V \sim 0,06$, $C_K = C_V^8 + 6 C_V^6 + 15 C_V^4 + 16 C_V^2 + 3$.

3. Distribusi Gumbel I

Distribusi Tipe I Gumbel atau Distribusi Extrim Tipe I digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekuensi banjir. Distribusi Tipe I Gumbel mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau $C_s = 1,139$.

4. Distribusi Log *Pearson* Tipe III

Distribusi Log *Pearson* Tipe III atau Distribusi Extrim Tipe III digunakan untuk analisis variable hidrologi dengan nilai varian minimum misalnya analisis frekuensi distribusi dari debit minimum (*low flows*). Distribusi Log *Pearson* Tipe III, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau $C_s \neq 0$ dan $C_v \sim 0,3$.

Kriteria Pemilihan Jenis Sebaran dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Jenis sebaran	Kriteria
Log Normal	$C_s = 3 C_v + C_v^3$ $C_v \sim 0,06$
Log <i>pearson</i> Tipe III	$C_s \neq 0$ $C_v \sim 0,3$
Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$

Tabel 3.9 Kriteria Penentuan Jenis Sebaran

(Sumber : CD Soemarto, 1999)

Setelah pemilihan jenis sebaran dilakukan maka prosedur selanjutnya yaitu mencari curah hujan rencana periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun.

▪ **Metode Grafis**

Metode grafis yaitu plotting data dengan kertas probabilitas. Sebelum menentukan distribusi yang mana yang cocok, perlu dilakukan plotting data dan uji kecocokan sebaran.

Data harus diurutkan dahulu, dari kecil ke besar baru dilakukan penggambaran pada masing – masing kertas probabilitas. Penggambaran posisi (*plotting positions*) yang dipakai adalah cara yang dikembangkan oleh Weinbull dan Gumbel, yaitu :

$$P(X_m) = \frac{m}{n+1} * 100\% \dots\dots\dots(3.17)$$

Dimana :

- P (X_m) = data sesudah dirangking dari kecil ke besar
- m = nomor urut
- n = jumlah data

Dari pengeplotan tersebut dapat ditarik garis yang mewakili titik yang diplotting hingga dapat mendekati garis regresi. Data yang mendekati garis regresi inilah yang sesuai dan terpilih. Selanjutnya hasil plotting yang sesuai akan dicek kebenarannya dengan metode smirnov kolmogorof dan chi kuadrat.

Setelah dilakukan plotting data pada kertas probabilitas Normal, Gumbel, Log Normal dan Log Pearson III kemudian dihitung besarnya curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu. Dalam kertas probabilitas titik-titik plotting merupakan nilai $P = m/(n+1)$ sedangkan garis lurus merupakan curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu ($X_t = X_{rt} + k.S$). Plotting data dilakukan pada kertas probabilitas Normal, Log Normal, Gumbel dan Log Pearson III bertujuan untuk mencocokkan rangkaian data dengan jenis sebaran yang dipilih, dimana kecocokan dapat dilihat dengan persamaan garis yang membentuk garis lurus. Perhitungan periode ulang dapat dilihat dibawah ini.

- Metode Gumbel

$$X_t = X_{rt} + k \times \bar{S} \dots\dots\dots(3.18)$$

Dimana :

k = faktor frekuensi untuk periode ulang t

$$k = \left(\frac{Y - Y_n}{S_n} \right) \dots\dots\dots(3.19)$$

X_t = curah hujan rencana untuk periode ulang Tr

\bar{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

- Metode Log normal

$$\text{Log}X_t = (\text{Log}\bar{X}_{rt}) + K \times S \dots\dots\dots(3.20)$$

Dimana :

- Harga K untuk setiap harga Cs diambil dari tabel.
- $\text{Log}X_t$ adalah logaritma besarnya hujan yang mempunyai interval pengulangan atau kemungkinan prosentase yang sama.

- Metode Log Pearson III

$$\text{Log}X_t = \bar{\text{Log}}X_{rt} + k \times S \dots\dots\dots(3.21)$$

Dimana :

- X_t = curah hujan rencana periode ulang t
- \bar{X}_{rt} = harga tengah (mean)
- k = faktor frekuensi (dari tabel)
- S = penyimpangan standar (standar deviasi)

G. Uji Keselarasan

Untuk menentukan pola distribusi dan curah hujan rata – rata yang paling sesuai dengan beberapa metode distribusi statistik yang telah dilakukan maka dilakukan uji keselarasan. Pada tes ini biasanya yang diamati adalah hasil perhitungan yang diharapkan. Ada dua jenis uji keselarasan (*Goodness of fit tes*), yaitu

- *Chi Square* (Chi-kuadrat).
- *Smirnov Kolmogorov*.

1. Uji Keselarasan Chi Kuadrat (*Chi Square Test*)

Prinsip pengujian dengan metode *chi* kuadrat didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas, dan ditentukan terhadap

jumlah data pengamatan yang terbaca didalam kelas tersebut. Atau bisa juga dengan membandingkan nilai *chi* kuadrat (χ^2) dengan *chi* kuadrat kritis (χ^2_{cr}).

Rumus:

$$\chi^2 = \sum \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(3.22)$$

(Soewarno, *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik ntuk Analisis Data, Jilid 1*)

dimana:

- χ^2 = harga *chi* kuadrat (*chi square*)
- O_i = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-i
- E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-i.

Dari hasil pengamatan yang didapat, dicari penyimpangannya dengan *chi* kuadrat kritis yang didapat dari Tabel 3.6. Untuk suatu nilai nyata tertentu (*level of significant*) yang sering diambil adalah 5%. Derajat kebebasan ini secara umum dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Dk = n - (P + 1) \dots\dots\dots(3.23)$$

dimana:

- Dk = derajat kebebasan
- n = banyaknya rata-rata
- P = banyaknya keterikatan (parameter).

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut :

- a. Apabila peluang lebih besar dari 5% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- b. Apabila peluang lebih kecil dari 1% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- c. Apabila peluang antara 1%-5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, maka perlu penambahan data.

Nilai kritis untuk distribusi Chi Kuadrat dapat dilihat pada Tabel 3.10.

dk	α derajat kepercayaan							
	0,995	0,990	0,975	0,950	0,050	0,025	0,010	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,1150	0,2160	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,2070	0,2970	0,4840	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,4120	0,5540	0,8310	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,400	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,891	10,851	31,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	22,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,773	46,979	50,892	53,672

Tabel 3.10 Nilai Kritis Untuk Distribusi Chi Kuadrat (*Chi Square*)

(Soewarno, 1995)

2. Uji keselarasan Smirnov - Kolmogorov

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

Rumus yang dipakai :

$$\alpha = \frac{P_{\max}}{P(x)} - \frac{P_{(xi)}}{\Delta_{Cr}} \dots\dots\dots(3.24)$$

(Soewarno, Jilid 1, 1995)

Prosedurnya adalah sebagai berikut:

- a. Urutkan data dari besar ke kecil atau sebaliknya dan tentukan peluangnya dari masing-masing data tersebut :

$$X_1 \rightarrow P(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P(X_2)$$

$$X_n \rightarrow P(X_n)$$

- b. Tentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data, persamaan distribusinya adalah :

$$X_1 \rightarrow P^1(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P^1(X_2)$$

$$X_n \rightarrow P^1(X_n)$$

- c. Dari kedua nilai peluang tersebut tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$D = \text{maksimum} [P(X_n) - P^1(X_n)]$$

- d. Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov-Kolmogorov test*) tentukan harga D_0 , seperti terlihat dalam Tabel 3.11.

n	α (derajat kepercayaan)			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,3	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,2	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
>50	$1,07/N^{0,5}$	$1,22/N^{0,5}$	$1,36/N^{0,5}$	$1,63/N^{0,5}$

Tabel 3.11 Nilai kritis (D_0) untuk Uji Smirnov-Kolmogorov
(Sumber: Soewarno, Hidrologi jilid 1, 1995)

Interpretasi dari hasil Uji Smirnov - Kolmogorov adalah :

- a. Apabila D lebih kecil dari Do, maka distribusi teoritis yang digunakan untuk persamaan distribusi dapat diterima.
- b. Apabila D lebih besar dari Do, maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

H. Analisis Intensitas Curah Hujan Rencana

Intensitas curah hujan adalah jumlah hujan yang dinyatakan dalam tinggi curah hujan atau volume hujan tiap satuan waktu. Besarnya intensitas hujan berbeda-beda tergantung dari lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya.

Metode – metode dalam menghitung intensitas curah hujan adalah :

1. Menurut Dr. Monnobe, Jika data curah hujan yang ada hanya curah hujan harian

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(3.25)$$

Dimana :

I = Intensitas curah hujan $\left(\frac{mm}{jam}\right)$

t = Lamanya curah hujan (jam)

R_{24} = Curah hujan maksimum dalam 24 jam(mm)

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

2. Menurut Prof. Talbot, untuk hujan dengan waktu < 2 jam :

$$I = \frac{a}{t + b} \dots\dots\dots(3.26)$$

Dimana :

I = Intensitas curah hujan $\left(\frac{mm}{jam}\right)$

t = Lamanya curah hujan (jam)

a dan b = Konstanta yang tergantung pada lamanya curah hujan yang terjadi di daerah aliran

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

3. Menurut Prof. Sherman, untuk hujan dengan waktu > 2 jam :

$$I = \frac{a}{t^n} \dots\dots\dots(3.27)$$

Dimana :

$$I = \text{Intensitas curah hujan } \left(\frac{\text{mm}}{\text{jam}} \right)$$

$$t = \text{Waktu curah hujan (jam)}$$

$$c, n = \text{Konstanta yang tergantung dari keadaan setempat}$$

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

4. Rumus – rumus diatas dikembangkan oleh Dr. Ishiguro menjadi :

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \dots\dots\dots(3.28)$$

Dimana :

$$I = \text{Intensitas curah hujan } \left(\frac{\text{mm}}{\text{jam}} \right)$$

$$t = \text{Waktu curah hujan (jam)}$$

$$a, b = \text{Konstanta yang tergantung dari keadaan setempat}$$

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

I. 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, antara lain terdiri dari Metode Melchior, Metode Weduwen dan Metode Haspers.
- Hidrograf Satuan
- Metode FSR Jawa - Sumatera.

1. Metode Rasional

Metode Rasional ada beberapa macam, diantaranya adalah

a. Metode Rasional Jepang

Perhitungan metode rasional menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Qt = \frac{1}{3,6} * \alpha * r * F \dots\dots\dots(3.29)$$

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

- intensitas curah hujan (I)

$$I = \frac{R_{24}}{24} * \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \dots\dots\dots(3.30)$$

- waktu konsentrasi (t)

$$t = \frac{L}{72 * (i)^{0.6}} \dots\dots\dots(3.31)$$

$$t = 0,0133L * i^{-0.6} \dots\dots\dots(3.32)$$

dimana :

- Qt = debit banjir rencana (m³/det).
- α = koefisien *run off*.
- r = intensitas curah hujan selama durasi t (mm/jam).
- F = luas daerah aliran (km²).
- R₂₄ = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm).
- i = 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 3.12.

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 diairi	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

Tabel 3.12 Koefisien Pengaliran

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

b. Metode Melchior

Rumus dari metode Melchior adalah sebagai berikut :

$$Qt = \alpha * \beta * q * F \dots\dots\dots(3.33)$$

(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)

$$f = \frac{1970}{\beta - 0,12} - 3960 + 1720\beta \dots\dots\dots(3.34)$$

- Waktu Konsentrasi (t)

$$t = \frac{1000L}{3600V} \dots\dots\dots(3.35)$$

Keterangan :

t = waktu konsentrasi (jam)

L = panjang sungai (Km)

V = kecepatan air rata – rata (m/dt)

$$V = 1,31 \cdot \sqrt[5]{\beta \cdot q \cdot f \cdot i^2} \dots\dots\dots(3.36)$$

$$i = \frac{H}{0,9L} \dots\dots\dots (3.37)$$

▪ Hujan Maksimum (q)

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

$$Qt = \alpha * q * F * \frac{Rt}{200} \dots\dots\dots (3.38)$$

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).

c. Metode Weduwen

Rumus dari metode Weduwen adalah sebagai berikut :

$$Qt = \alpha * \beta * q * F \dots\dots\dots (3.39)$$

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

▪ Koefisien *Runoff* (α)

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{\beta q_n + 7} \dots\dots\dots (3.40)$$

▪ Waktu Konsentrasi (t)

$$t = \frac{0,476 * F^{3/8}}{(\alpha * \beta * q)^{1/8} * i^{1/4}} \dots\dots\dots (3.41)$$

- Koefisien Reduksi (β)

$$\beta = \frac{120 + \left[\frac{t+1}{t+9} \right] * F}{120 + F} \dots\dots\dots(3.42)$$

- Hujan Maksimum (q)

$$q = \frac{67,65}{t+1,45} \dots\dots\dots(3.43)$$

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).

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

F = luas daerah pengaliran < 100 Km^2 .

t = 1/6 sampai 12 jam.

d. Metode Haspers

Untuk menghitung besarnya debit dengan metode Haspers digunakan

persamaan sebagai berikut :

$$Q_t = \alpha * \beta * q * F \dots\dots\dots(3.44)$$

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

- Koefisien *Runoff* (α)

$$\alpha = \frac{1 + 0.012 * F^{0.7}}{1 + 0.75 * F^{0.7}} \dots\dots\dots(3.45)$$

- Waktu Konsentrasi (t)

$$t = 0,1 L^{0,8} * i^{-0,3} \dots\dots\dots(3.46)$$

- Koefisien Reduksi (β)

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,7.10^{-0,4t}}{t^2 + 15} * \frac{F^{3/4}}{12} \dots\dots\dots(3.47)$$

- Intensitas Hujan

- a. Untuk t < 2 jam

$$Rt = \frac{t * R_{24}}{t + 1 - 0,0008.(260 - R_{24}) * (2 - t)^2} \dots\dots\dots(3.48)$$

- b. Untuk 2 jam ≤ t <= 19 jam

$$Rt = \frac{t * R_{24}}{t + 1} \dots\dots\dots(3.49)$$

- c. Untuk 19 jam ≤ t ≤ 30 jam

$$Rt = 0,707 R_{24} * \sqrt{t + 1} \dots\dots\dots(3.50)$$

- Hujan Maksimum (q)

$$q = \frac{Rt}{3,6 * t} \dots\dots\dots(3.51)$$

di mana :

Qt = debit banjir rencana (m³/det).

α = koefisien *runoff*.

β = koefisien reduksi daerah untuk curah hujan DAS.

q = hujan maksimum (m³/km²/det).

t = waktu konsentrasi (jam).

F = luas daerah pengaliran (km²).

Rt = intensitas curah hujan selama durasi t (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. Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Gama I

Menurut Sri Harto, 1993 Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Gama I biasa digunakan untuk mengukur debit banjir dengan parameter yang sesuai dengan keadaan di Indonesia. Parameter-parameter yang digunakan yaitu sebagai berikut :

- Faktor sumber (SF), yaitu perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat satu dengan jumlah panjang sungai-sungai semua tingkat.
- Frekuensi sumber (SN), yaitu perbandingan antara jumlah pangsa sungai-sungai tingkat satu dengan jumlah pangsa sungai-sungai semua tingkat.
- Faktor lebar (WF), yaitu perbandingan antara lebar DAS yang diukur di titik di sungai yang berjarak 0,75L dengan lebar DAS yang diukur di titik di sungai yang berjarak 0,25L dari stasiun hidrometri.
- Luas DAS sebelah hulu (RUA), yaitu perbandingan antara luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun hidrometri dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS, melewati titik tersebut.
- Faktor simetri (SIM), yaitu hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas DAS sebelah hulu.
- Jumlah pertemuan sungai (JN), yaitu jumlah pertemuan sungai di dalam DAS tersebut
- Kerapatan jaringan kuras (D), yaitu jumlah panjang sungai semua tingkat tiap satuan luas DAS.

Hidrograf satuan diberikan dengan empat variabel pokok, yaitu waktu naik (TR), debit puncak (QP), waktu dasar (TB) dan koefisien tampungan (K).

Persamaan-persamaan yang dipakai yaitu:

$$Qt = QP \times e^{-t/k} \quad (\text{m}^3/\text{dtk}) \quad \dots\dots\dots(3.52)$$

$$TR = 0,43(L/100SF)^3 + 1,0665SIM + 1,2775 \quad (\text{jam}) \quad \dots\dots\dots(3.53)$$

$$QP = 0,1836A^{0,5886} TR^{-0,4008} JN^{0,2381} \quad (\text{m}^3/\text{dtk}) \quad \dots\dots\dots(3.54)$$

$$TB = 27,4132TR^{0,1457} S^{-0,0986} SN^{0,7344} RUA^{0,2574} \quad (\text{jam}) \quad \dots\dots\dots(3.55)$$

$$K = 0,5617A^{0,1798} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452} \quad \dots\dots\dots(3.56)$$

Dalam pemakaian cara ini masih ada hal-hal lain yang perlu diperhatikan, diantaranya sebagai berikut :

- Penetapan hujan-mangkus untuk memperoleh hidrograf dilakukan dengan menggunakan indeks-infiltrasi. Perkiraan dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh parameter DAS yang secara hidrologik dapat diketahui pengaruhnya terhadap indeks-infiltrasi. Persamaan pendekatannya sebagai berikut :

$$\Phi = 10,4903 - 3,859 \cdot 10^{-6} A^2 + 1,6985 \cdot 10^{-13} (A/SN)^4 \dots\dots\dots(3.57)$$

- Untuk memperkirakan aliran dasar dipergunakan persamaan pendekatan berikut ini :

$$QB = 0,4751A^{-0,1491} D^{0,9430} (m^3/dtk) \dots\dots\dots(3.58)$$

- Dalam menetapkan hujan rata-rata DAS, perlu mengikuti cara-cara yang ada. Tetapi bila dalam praktek analisis tersebut sulit, maka disarankan menggunakan cara yang disebutkan dengan mengalikan hujan titik dengan faktor reduksi hujan, sebesar :

$$B = 1,5518A^{-0,1491} N^{-0,2725} SIM^{-0,0259} S^{-0,0733} \dots\dots\dots(3.59)$$

Berdasarkan persamaan di atas maka dapat dihitung besar debit banjir setiap jam dengan persamaan :

$$Qp = (Qt * Re) + QB (m^3/dtk) \dots\dots\dots(3.60)$$

Dimana :

- Qp = debit banjir setiap jam (m³/dtk)
- Qt = debit satuan tiap jam (m³/dtk)
- Re = curah hujan efektif (mm/jam)
- QB = aliran dasar (m³/dtk)

3. Metode FSR Jawa - Sumatera

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

$$Q = GF \times MAF \dots\dots\dots(3.61)$$

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

$$\text{MAF} = 8.10^{-6} \cdot (\text{AREA})^V \cdot \text{APBAR}^{2,445} \cdot \text{SIMS}^{0,117} \cdot (1+\text{LAKE})^{-0,85} \dots (3.62)$$

$$V = 1,02 - 0,0275 \text{ Log} (\text{AREA}) \dots (3.63)$$

$$\text{APBAR} = \text{PBAR} \cdot \text{ARF} \dots (3.64)$$

$$\text{SIMS} = \frac{H}{\text{MSL}} \dots (3.65)$$

$$\text{MSL} = 0,95 \cdot L \dots (3.66)$$

$$\text{LAKE} = \frac{\text{Luas DAS di hulu bendung}}{\text{Luas DAS total}} \dots (3.67)$$

dimana :

Q = debit banjir rencana (m³/dt)

AREA = luas DAS (km²)

PBAR = hujan 24 jam maksimum rerata tahunan (mm)

ARF = faktor reduksi (Tabel 2.16)

GF = *Growth factor* (Tabel 2.17)

SIMS = 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 3.13 *Faktor Reduksi (ARF)*

DAS (km ²)	ARF
1 - 10	0,99
10 - 30	0,97
30 - 3000	1,152 - 0,0123 log ₁₀ AREA

Tabel 3.14 *Growth Factor (GF)*

Return Period T	Luas <i>cathment area</i> (km ²)					
	<180	300	600	900	1200	>1500
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")

3.4.5 Hidrolika

Hidrolika adalah ilmu yang mempelajari tentang sifat-sifat zat cair dan menyelenggarakan pemeriksaan untuk mendapatkan rumus-rumus dan hukum-hukum zat cair dalam keadaan setimbang (diam) dan dalam keadaan bergerak. Analisis hidrolika dimaksud untuk mengetahui kapasitas alur sungai pada kondisi sekarang terhadap banjir rencana dari studi terdahulu dan hasil pengamatan yang diperoleh. Analisis hidrolika dilakukan pada seluruh saluran untuk mendapatkan dimensi saluran yang diinginkan, yaitu ketinggian muka air sepanjang alur sungai yang ditinjau.

A. Analisis Penampang Eksisting Sungai

Analisis penampang eksisting sungai dengan menggunakan program HEC-RAS. Komponen sistem modeling ini dimaksudkan untuk menghitung profil permukaan air untuk arus bervariasi secara berangsur-angsur tetap (*steady gradually varied flow*). Sistem mampu menangani suatu jaringan saluran penuh, suatu sistem *dendritic*, atau sungai tunggal. Komponen ini mampu untuk memperagakan *subcritical*, *supercritical*, dan campuran kedua jenis profil permukaan air.

Dasar perhitungan yang digunakan adalah persamaan energi satu dimensi. Kehilangan energi diakibatkan oleh gesekan (persamaan *manning*) dan kontraksi /ekspansi (koefisien dikalikan dengan perubahan tinggi kecepatan). Persamaan momentum digunakan dalam situasi dimana / jika permukaan air profil dengan cepat bervariasi. Situasi ini meliputi perhitungan jenis arus campuran yaitu lompatan hidrolis dan mengevaluasi profil pada pertemuan sungai (simpangan arus).

Efek berbagai penghalang seperti jembatan, parit bawah jalan raya, bendungan, dan struktur di dataran banjir tidak dipertimbangkan di dalam perhitungan ini. Sistem aliran tetap dirancang untuk aplikasi di dalam studi manajemen banjir di dataran dan kemampuan yang tersedia untuk menaksir perubahan di dalam permukaan profil air dalam kaitan dengan perubahan bentuk penampang, dan tanggul.

Fitur khusus yang dimiliki komponen aliran tetap meliputi: berbagai analisa rencana (*multiple plan analysis*); berbagai perhitungan profil (*multiple profile computations*). *HEC-RAS* mampu untuk melakukan perhitungan *one-dimensional* profil air permukaan untuk arus tetap bervariasi secara berangsur-angsur (*gradually varied flow*) di dalam saluran alami atau buatan. Berbagai jenis profil air permukaan seperti subkritis, superkritis, dan aliran campuran juga dapat dihitung. Topik dibahas di dalam bagian ini meliputi: persamaan untuk perhitungan profil dasar; pembagian potongan melintang untuk perhitungan saluran pengantar; Angka *manning* (*n*) komposit untuk saluran utama; pertimbangan koefisien kecepatan (α); evaluasi kerugian gesekan; evaluasi kerugian kontraksi dan ekspansi; prosedur perhitungan; penentuan kedalaman kritis; aplikasi menyangkut persamaan momentum; dan pembatasan menyangkut aliran model tetap.

Profil permukaan air dihitung dari satu potongan melintang kepada yang berikutnya dengan pemecahan persamaan energi dengan suatu interaktif prosedur disebut metode langkah *standard*. Persamaan energi di tulis sebagai berikut:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots\dots\dots(3.68)$$

dimana:

Y_1, Y_2 = elevasi air di penampang melintang (m)

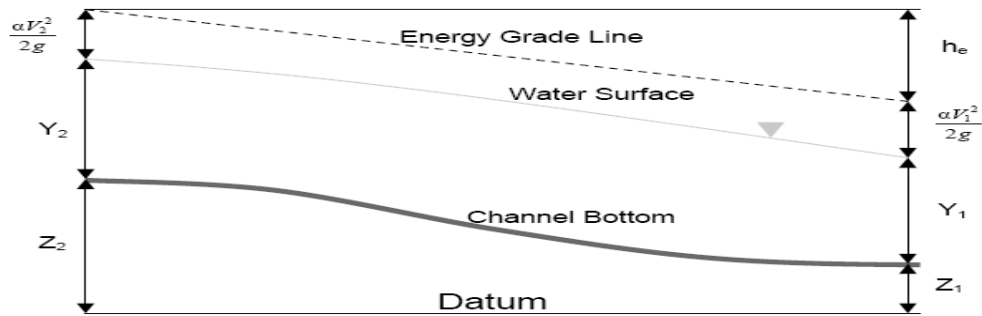
Z_1, Z_2 = elevasi penampang utama (m)

V_1, V_2 = kecepatan rata-rata (total pelepasan /total area aliran) (m/dtk)

α_1, α_2 = besar koefisien kecepatan

g = percepatan gravitasi (m/dtk²)

h_e = tinggi energi (m).



Gambar 3.13 Gambaran dari persamaan energi

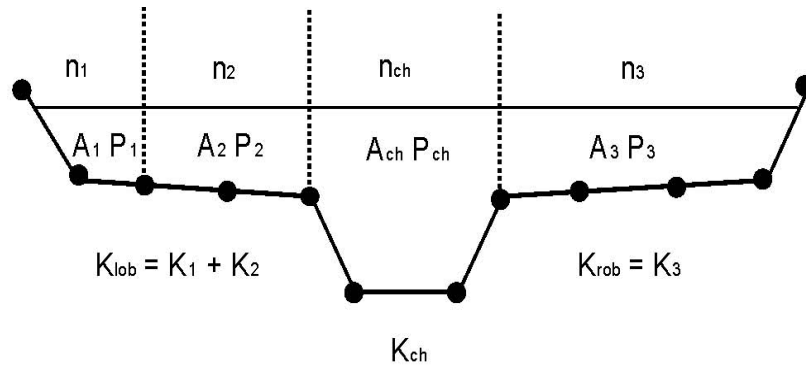
$$h_e = L \bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots \dots \dots (3.69)$$

$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \dots \dots \dots (3.70)$$

$$Q = K S_f^{1/2} \dots \dots \dots (3.71)$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \dots \dots \dots (3.72)$$

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1.5})}{P} \right]^{2/3} \dots \dots \dots (3.73)$$

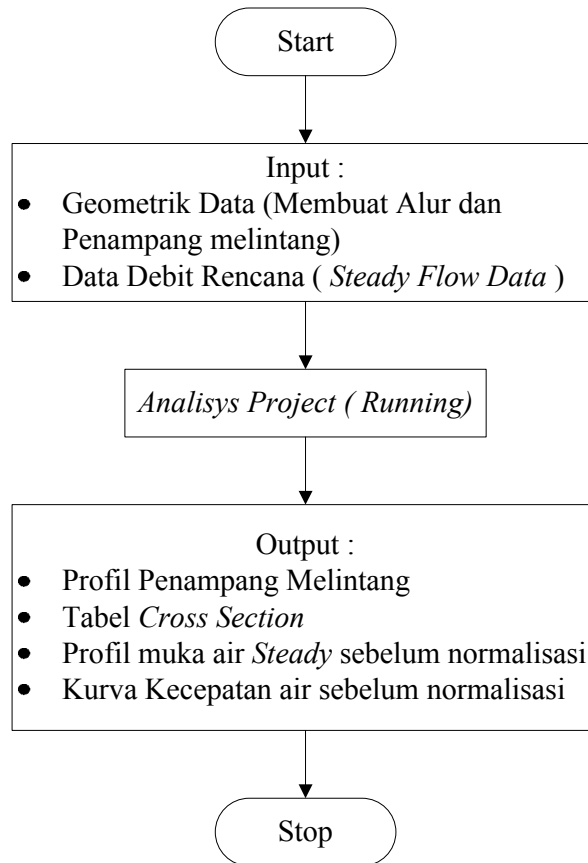


Gambar 3.14 Metode HEC-RAS tentang kekasaran dasar saluran

dimana:

L = panjangnya antar dua penampang melintang

\bar{S}_j	=	kemiringan energi antar dua penampang melintang
C	=	koefisien kontraksi atau ekspansi
L_{lob}, L_{ch}, L_{rob}	=	panjang jangkauan antar dua potongan melintang yang berturut-turut untuk arus di dalam tepi kiri, saluran utama, dan tepi kanan
$\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$	=	perhitungan rata-rata debit yang berturut-turut untuk arus antara bagian tepi kiri, saluran utama, dan tepi kanan
K	=	kekasaran dasar untuk tiap bagian
n	=	koefisien kekasaran <i>manning</i> untuk tiap bagian
A	=	area arus untuk tiap bagian
R	=	radius hidrolis untuk tiap bagian (area: garis keliling basah)
Nc	=	koefisien padanan atau gabungan kekasaran
P	=	garis keliling basah keseluruhan saluran utama
Pi	=	garis keliling basah bagian i
ni	=	koefisien kekasaran untuk bagian i.



Gambar 3.15 Flow chart Program HEC RAS

B. Perencanaan Penampang Sungai Rencana

Penampang melintang sungai perlu direncanakan untuk mendapatkan penampang ideal dan efisien dalam penggunaan lahan. Penampang yang ideal yang dimaksudkan merupakan penampang yang stabil terhadap perubahan akibat pengaruh erosi maupun pengaruh pola aliran yang terjadi. Sedang penggunaan lahan yang efisien dimaksudkan untuk memperhatikan lahan yang tersedia, sehingga tidak menimbulkan permasalahan terhadap pembebasan lahan.

Faktor yang harus diperhatikan dalam mendesain bentuk penampang melintang normalisasi sungai adalah perbandingan antara debit dominan dan debit banjir. Untuk menambah kapasitas pengaliran pada waktu banjir, dibuat penampang ganda, dengan menambah luas penampang basah dari pemanfaatan bantaran sungai.

Bentuk penampang sungai sangat dipengaruhi oleh faktor bentuk penampang berdasarkan kapasitas pengaliran, yaitu:

$$Q_{\text{Banjir}} = A * V \dots\dots\dots(3.74)$$

$$V = \frac{1}{n} * I^{1/2} * R^{2/3} \dots\dots\dots(3.75)$$

$$Q_{\text{Banjir}} = \frac{1}{n} * I^{1/2} * R^{2/3} * A \dots\dots\dots(3.76)$$

$R^{2/3} * A \rightarrow$ merupakan faktor bentuk

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 :

Daftar nilai koefisien kekasaran Manning seperti pada Tabel 3.15.

Kondisi Sungai	n
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

Tabel 3.15 *Koefisien kekasaran sungai alam*

(*Suyono Sosrodarsono, 1984*)

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

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

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(3.77)$$

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

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

$$A = H \times (B + mH)$$

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

Q = Debit aliran (m^3/s)

A = Luas Penampang Basah (m^2)

V = Kecepatan aliran (m/s)

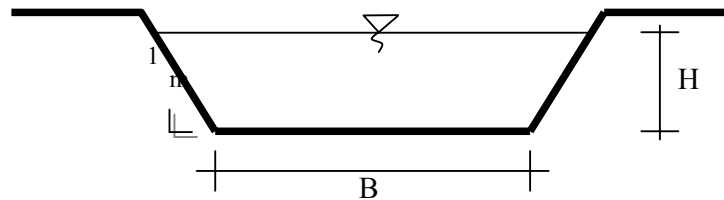
Dimana : n = Koefisien kekasaran manning

R = Keliling basah (m)

P = Keliling basah sungai (m)

I = Kemiringan hidraulik sungai

m = Kemiringan talud



Gambar 3.16 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.

$B_2 = 15H_1 \Rightarrow$ direncanakan berdasarkan debit dominan

$$B_1 = B_3$$

$$n_1 = n_3$$

$$A_1 = A_3 = \frac{1}{2} H_2 \times (B_1 + mH_2)$$

$$P = P_1 = B_1 + H_2 \times \sqrt{(1 + m^2)}$$

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

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

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

$$A_2 = \frac{1}{2} H_1 \times (B_2 + mH_1) + H_2 \times (B_2 + mH_2)$$

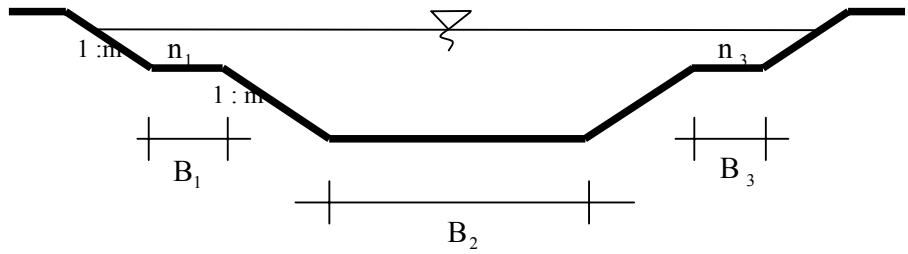
$$P_2 = B_2 + 2H_1 \times \sqrt{(1 + m^2)}$$

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

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

$$Q_2 = A_2 \times V_2 \dots\dots\dots(3.78)$$

- $Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3$
 Q = Debit aliran (m^3/s)
 A = Luas Penampang Basah (m^2)
 V = Kecepatan aliran (m/s)
 Dimana : n = Koefisien kekasaran manning
 R = Keliling basah (m)
 P = Keliling basah sungai (m)
 I = Kemiringan hidraulik sungai
 m = Kemiringan talud



Gambar 3.17 Saluran Penampang Ganda

Jenis penampang ganda digunakan untuk mendapatkan kapasitas saluran yang lebih besar, sehingga debit yang dialirkan melalui saluran tersebut dapat lebih besar. Penampang ini digunakan jika lahan yang tersedia cukup luas.

Untuk merencanakan dimensi penampang diperlukan tinggi jagaan. 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. Besarnya tinggi jagaan dapat dilihat pada Tabel 3.16.

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

Tabel 3.16 Hubungan Debit – Tinggi jagaan

(Suyono Sosrodarsono, “ Perbaikan dan Pengaturan banjir “)

3.4.6 Stabilitas Alur

Bila air mengalir dalam sebuah saluran, maka pada dasar saluran akan timbul suatu gaya bekerja searah dengan arah aliran. Gaya ini yang merupakan gaya tarik pada penampang basah disebut gaya seret (*tractive force*).

Butiran pembentuk alur sungai harus stabil terhadap aliran yang terjadi. Karena pengaruh kecepatan, aliran dapat mengakibatkan gerusan pada talud dan dasar sungai. Aliran air sungai akan memberikan gaya seret (τ_0) pada penampang sungai yang besarnya adalah: $\tau = \rho_w \times g \times h \times I$ (3.79)

dimana: ρ_w = rapat massa air (kg/m^3)

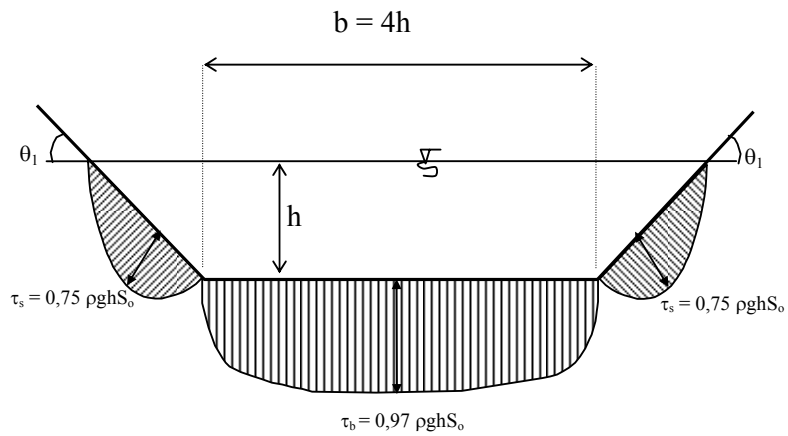
g = gaya gravitasi (m/dt^2)

h = tinggi air (m)

I = kemiringan alur dasar sungai

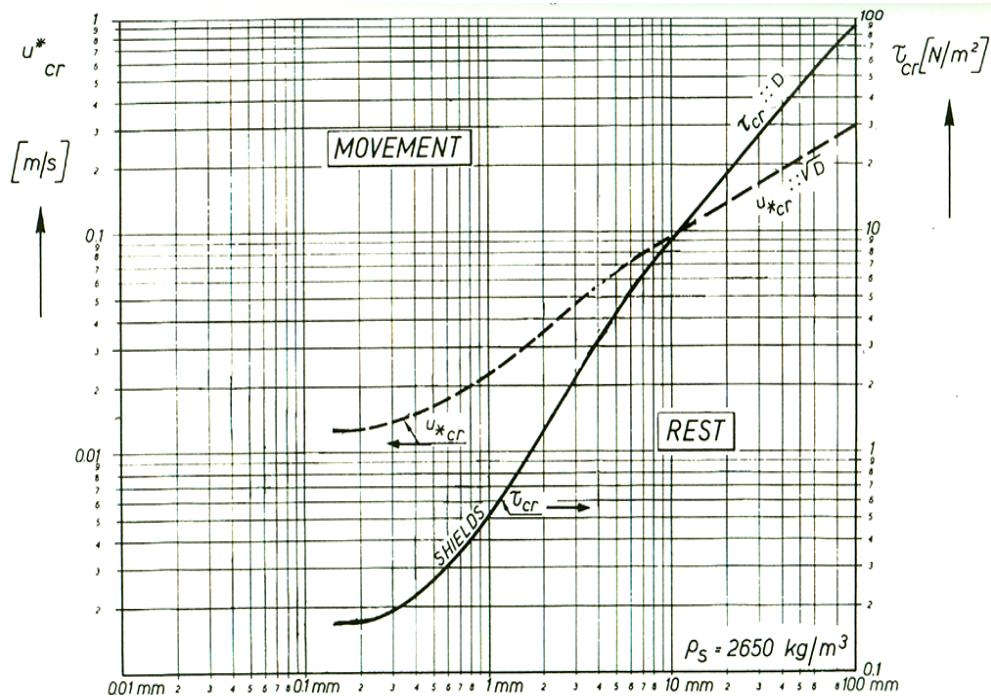
Kecepatan aliran sungai juga mempengaruhi terjadinya erosi sungai. Kecepatan aliran yang menimbulkan terjadinya tegangan seret kritis disebut kecepatan kritis (V_{Cr}). U.S.B.R. memberikan distribusi gaya seret pada saluran empat persegi panjang berdasarkan analogi *membrane* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.17.

Erosi dasar sungai terjadi jika τ_0 lebih besar dari gaya seret kritis (τ_{cr}) pada dasar dan tebing sungai. Gaya seret kritis adalah gaya seret yang terjadi tepat pada saat butiran akan bergerak. Besarnya gaya seret kritis didapatkan dengan menggunakan Grafik *Shield* (dapat dilihat pada Gambar 3.18) dengan menggunakan data ukuran butiran tanah dasar sungai.



Gambar 3.17 Gaya Seret Satuan Maksimum

(Sumber: Robert J. Kodoatie dan Sugiyanto, 2001 (Simons dan Senturk, 1992))



Gambar 3.18 Grafik Shield

(Sumber: Ven Te Chow, 1985)

A. Gaya Seret Pada Dasar Sungai

Besarnya gaya seret yang terjadi pada dasar sungai adalah:

$$\tau_b = 0,97 \times \rho_w \times g \times h \times I_b \dots \dots \dots (3.80)$$

dimana:

τ_b = gaya seret pada dasar sungai (kg/m^2)

ρ_w = rapat massa air (kg/m^3)

g = gaya gravitasi (m/dt^2)

h = tinggi air (m)

I_b = kemiringan alur dasar sungai

Kecepatan aliran kritis di dasar sungai terjadi pada saat $\tau_b = \tau_{cr.b}$. Maka:

$$0,97 \times \rho_w \times g \times h \times I_b = \tau_{cr.b} \dots \dots \dots (3.81)$$

$$I_b = \frac{\tau_{cr.b}}{0,97 \times \rho_w \times g \times h} \dots \dots \dots (3.82)$$

$$V_{cr.b} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I_b^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (3.83)$$

dimana:

$\tau_{cr.b}$ = gaya seret kritis pada dasar sungai (kg/m^2)

ρ_w = rapat massa air (kg/m^3)

g = gaya gravitasi (m/dt^2)

h = tinggi air (m)

I_b = kemiringan alur dasar sungai

$V_{cr.b}$ = kecepatan kritis dasar sungai (m/dt)

R = jari-jari hidrolik (m)

n = angka kekasaran *manning* (dapat dilihat kembali pada Tabel 3.16)

B. Gaya Seret Pada Tebing Sungai

Besarnya gaya seret yang terjadi pada tebing sungai adalah:

$$\tau_s = 0,75 \times \rho_w \times g \times h \times I_s \dots \dots \dots (3.84)$$

dimana:

τ_s = gaya seret pada tebing sungai (kg/m^2)

ρ_w = rapat massa air (kg/m^3)

g = gaya gravitasi (m/dt^2)

h = tinggi air (m)

I_s = kemiringan tebing sungai

Erosi dasar sungai juga dapat terjadi jika τ_s lebih besar dari gaya seret kritis pada lereng sungai ($\tau_{cr,s}$). Tegangan geser kritis pada lereng sungai tergantung pada besarnya sudut lereng.

$$\tau_{cr,s} = K_\beta \cdot \tau_{cr} \dots\dots\dots(3.85)$$

$$K_\beta = \cos \beta \sqrt{1 - \left(\frac{tg\beta}{tg\phi}\right)^2} \dots\dots\dots(3.86)$$

dimana: τ_{cr} = tegangan geser kritis

β = sudut lereng sungai ($^\circ$)

ϕ = 30-40 (tergantung diameter butiran dari grafik pada Gambar 3.18)

Kecepatan aliran kritis di dasar sungai terjadi pada saat $\tau_s = \tau_{cr,s}$ maka:

$$0,75 \times \rho_w \times g \times h \times I_s = \tau_{cr,s} \dots\dots\dots(3.87)$$

$$I_s = \frac{\tau_{cr,s}}{0,75 \times \rho_w \times g \times h} \dots\dots\dots(3.88)$$

$$V_{cr,s} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I_s^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(3.89)$$

dimana:

$\tau_{cr,s}$ = gaya seret kritis tebing sungai (kg/m^2)

ρ_w = rapat massa air (kg/m^3)

g = gaya gravitasi (m/dt^2)

h = tinggi air (m)

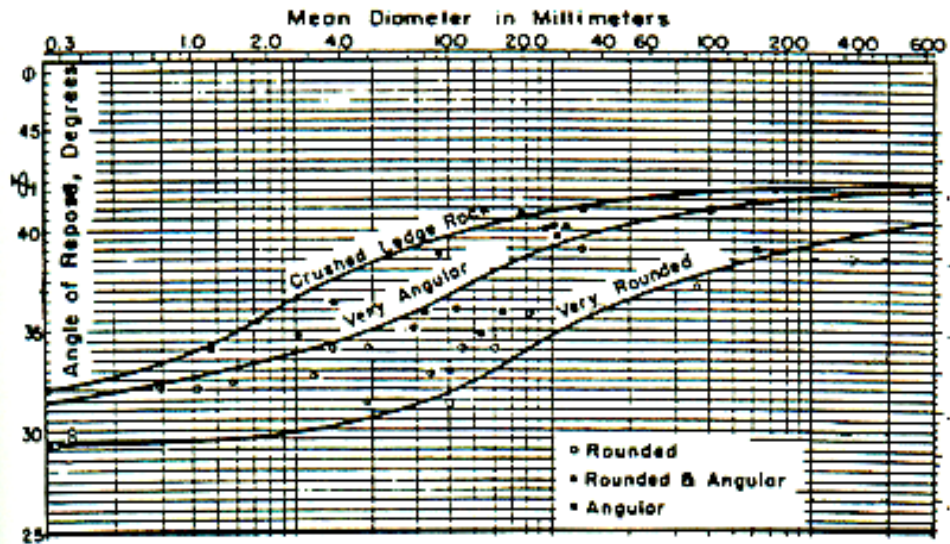
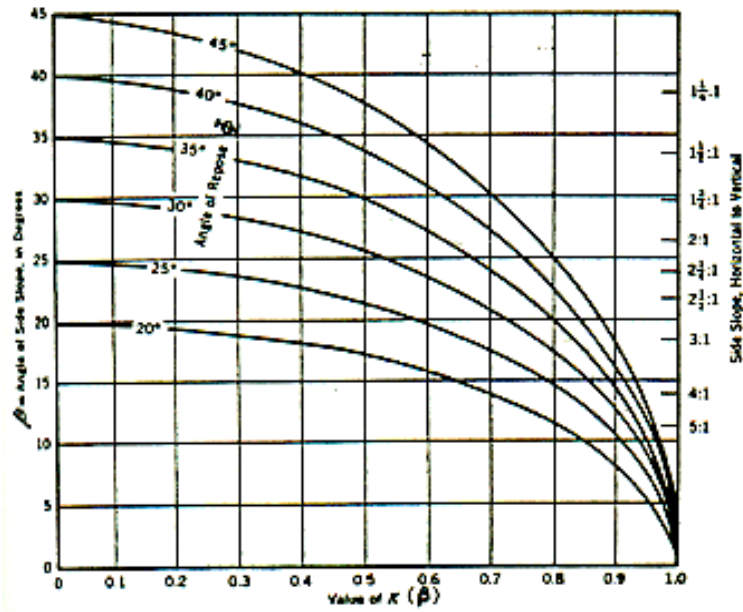
I_s = kemiringan alur dasar sungai

$V_{cr,s}$ = kecepatan kritis (m/dt)

R = jari-jari hidrolik (m)

n = angka kekasaran *manning* (dapat dilihat kembali pada Tabel 3.16)

Grafik Hubungan Antara Diameter Butiran dan ϕ dapat dilihat pada Gambar 3.19.



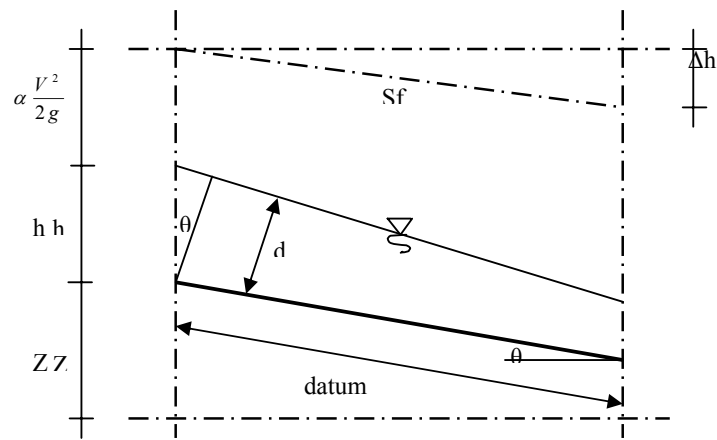
Gambar 3.19 Grafik Hubungan Antara Diameter Butiran Dan β
 (Sumber: Ven Te Chow, 1985)

3.4.7 Pasang Surut

Saat pasang terjadi maka air mencapai permukaan tertinggi (HWL = *High Water Level*) di pantai, sedangkan pada saat surut permukaan air akan menurun dan mencapai permukaan terendah (LWL = *Low Water Level*). Dengan adanya

peristiwa pasang surut ini akan mempengaruhi tingginya permukaan air pada sungai atau saluran serta sejauh mana air laut tersebut masuk ke arah hulu yang disebut dengan pengaruh *back water*. *Back Water* dihitung untuk kondisi muka air dihilir lebih tinggi dari muka air disaluran dan untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh *back water* pada Sungai Sengkarang.

Cara yang biasa digunakan dalam menghitung pengaruh *back water* adalah cara analisa hidrolis *steady non uniform flow*, terutama untuk sungai yang mempunyai bentuk penampang yang tidak beraturan maupun kemiringan dasar sungai yang bervariasi.



Gambar 3.20 *Steady Non Uniform Flow*

Tinggi tenaga total setiap titik dalam aliran :

$$H = \frac{dz}{dx} + \frac{dh}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\frac{V^2}{2g} \right) \dots \dots \dots (3.90)$$

Di integrasikan terhadap jarak (ds) :

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dh}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\frac{V^2}{2g} \right) \dots \dots \dots (3.91)$$

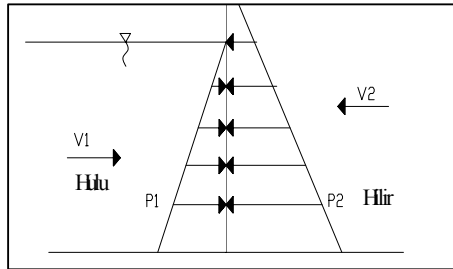
$$-Sf = -So + \frac{dh}{dx} - \frac{Q^2 T}{gA^3} \frac{dh}{dx} \dots \dots \dots (3.92)$$

$$\frac{dh}{dx} = \frac{So - Sf}{1 - \frac{Q^2 T}{gA^3}} \dots \dots \dots (3.93)$$

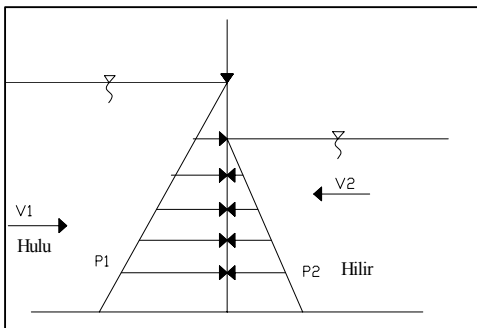
$$\frac{dh}{dx} = \frac{S_o - S_f}{1 - Fr^2} \dots\dots\dots(3.94)$$

Back water dapat terjadi karena adanya perbedaan tinggi tekanan aliran pada suatu titik (saluran) yang ditinjau.

- a. Terjadi back water (H hulu < H hilir)



- b. Tidak terjadi back water (H hulu > H hilir)



Gambar 3.21 Syarat Terjadinya Back Water

Dalam perhitungan panjang back water dapat digunakan dengan dua cara, yaitu :

1. Metode Tahapan Langsung (Direct Step Method)

Energi spesifik

$$E = h + \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(3.95)$$

$$\frac{V^2}{2g} + h_2 + S_o \cdot \Delta x = \frac{V_1^2}{2g} + h_1 + S_f \cdot \Delta x \dots\dots\dots(3.96)$$

$$E_2 + S_o \cdot \Delta x = E_1 + S_f \cdot \Delta x \dots\dots\dots(3.97)$$

$$\Delta x = \frac{E_2 - E_1}{S_f - S_o} \dots\dots\dots(3.98)$$

$$Sf = \frac{Sf_1 + Sf_2}{2} \dots\dots\dots(3.99)$$

2. Metode Tahapan Standar

Energi total

$$H = Z + h + \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(3.100)$$

$$Z_1 + h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H \dots\dots\dots(3.101)$$

$$H_1 = H_2 + \Delta H \dots\dots\dots(3.102)$$

$$\Delta H = Sf \cdot \Delta x \dots\dots\dots(3.103)$$

$$Z = S_o \cdot X \dots\dots\dots(3.104)$$

(DR. Ir. Suripin, M.Eng. Diktat Mekanika Fluida dan Hidrolika)

3.4.8 Sedimentasi

Sedimentasi yaitu proses terkumpulnya butir – butir tanah. Ini terjadi karena kecepatan aliran air yang mengangkut bahan sedimen mencapai kecepatan endapan (*settling Velocity*). Proses sedimentasi pada sungai dapat menyebabkan terjadinya pendangkalan sungai, penampang sungai berkurang sehingga daya tampung sungai menurun.

Untuk memperkecil akibat – akibat adanya sedimentasi maka perlu dilakukan tindakan pengendalian yang dimulai dari sumbernya, yaitu pengendalian erosi. Tindakan – tindakan pengendalian tersebut antara lain :

- Secara teknis dengan pengerukan sungai yang dilakukan secara kontinyu
- Secara non teknis dengan melakukan konservasi di daerah aliran sungai, melakukan cocok tanam secara terasiring, peraturan tata guna lahan.

Proses sedimentasi merupakan bagian dari proses erosi tanah. Faktor – faktor yang mempengaruhi sedimentasi antara lain adalah :

- a. Iklim
- b. Tanah
- c. Topografi
- d. Tanaman

- e. Tata guna lahan
- f. Kegiatan manusia
- g. Karakteristik hidrologi sungai
- h. Kegiatan gunung berapi

Persamaan pengangkutan sedimen

1. Perhitungan Debit Sedimen Melayang (*Suspended Load*)

Langkah – langkah Pengukuran sedimen melayang (*Suspended Load*) adalah :

- a. Pemilihan lokasi pos pengamatan / pengukuran sedimen melayang harus memenuhi syarat pos duga air (SK.SNI M 101-1990-03)
- b. Pengukuran kecepatan air dengan menggunakan *current meter*, dilakukan dengan menggunakan interval garis pengukur sesuai kriteria yang ada. Pengambilan contoh sedimen melayang dilaksanakan bersamaan dengan pengukuran kecepatan aliran sungai dengan menggunakan sedimen sampler dan pengambilan contoh sedimen melayang dilakukan dengan cara integrasi kedalaman (*depth integrated*)
- c. Pengukuran kecepatan aliran sungai pada setiap jalur vertikal adalah sebagai berikut :
 - Untuk kedalaman air (d) ≥ 1 m, dilakukan pada kedalaman 0,2 d dan 0,8 d.
 - Untuk kedalaman air (d) < 1 m, dilakukan pada kedalaman 0,6 d.
- d. Tempat pengambilan contoh sedimen pada setiap vertikal harus melalui titik berat $\frac{1}{3}$ debit atau tepatnya pada titik $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{2}$ dan $\frac{5}{6}$ debit seluruh penampang sungai.
- e. Pengambilan contoh sedimen pada masing – masing stasiun minimal 12 kali pada tinggi muka air yang berbeda.
- f. Sampel dari survey lapangan dilakukan analisa laboratorium dengan cara mengendapkan sedimen melayang dengan tabung kerucut. Lama pengendapan sangat ditentukan oleh diameter butiran sedimen, pada umumnya waktu pengendapan antara 4 – 12 jam. Volume sampel sedimen melayang antara 1-2 liter.

- g. Melalui pengendapan dapat dipisahkan antara sedimen dan air, kemudian sedimen dikeringkan dan ditimbang beratnya, sehingga didapat kandungan sedimen dalam gram / liter.

Metode perhitungan berdasarkan pengukuran sesaat.

$$\text{Rumus : } Q_s = 0,0864 \times C \times Q_w \dots\dots\dots(3.105)$$

(Gregory L. Morris, Reservoir Sedimentation Handbook)

Dimana :

Q_s = Debit sedimen melayang rata-rata harian (ton/hari)

C = Kosentrasi rata-rata harian (mg/l)

Q_w = Debit rata-rata harian (m^3 /detik)

Ada beberapa metode yang digunakan untuk menentukan besarnya nilai C (konsentrasi rata-rata harian), antara lain yaitu

a. Metode Laursen

Berdasarkan data hasil ekperimen, Laursen (1958) mengusulkan sebuah persamaan transport sedimen dari hubungan antara kondisi aliran dan hasil debit sedimennya. Persamaannya untuk fraksi ukuran yang diketahui ditulis (ASCE Task Committee, 1971)

$$C_t = 0.01\gamma \sum_i p_i \left(\frac{d_i}{d}\right)^{7/6} \left(\frac{\tau_o'}{\tau_{ci}} - 1\right) f\left(\frac{u_*}{\omega_i}\right) \dots\dots\dots(3.106)$$

dimana:

C_t = konsentrasi sedimen rata-rata total (mg/l)

γ = berat jenis air

p_i = fraksi dari material dasar untuk ukuran partikel diameter d_i

u_* = kecepatan geser

d_i = diameter partikel untuk fraksi ukuran i

d = kedalaman aliran

G = gravitasi spesifik

τ_o' = tegangan geser dasar karena ukuran butiran

τ_{ci} = tegangan geser kritis untuk ukuran sedimen d_i

ω_i = kecepatan jatuh dari ukuran d_i

$\frac{u_*}{\omega_i}$ = perbandingan gaya geser terhadap kecepatan jatuh

$f\left(\frac{u_*}{\omega_i}\right)$ = hubungan fungsi untuk nilai-nilai $\frac{u_*}{\omega_i}$ (Gambar 3.22)

tegangan geser dasar karena ukuran butiran, τ_o' dalam lb/ft^2 (tegangan geser dasar saluran Laursen) yang ditunjukkan dalam persamaan 3.98.

$$\tau_o' = \frac{\rho u^2}{58} \left(\frac{d_{50}}{d}\right)^{1/3} \dots\dots\dots(3.107)$$

dimana:

ρ = kerapatan air

u = kecepatan rata-rata

d_{50} = diameter rata-rata dari sedimen

Dalam Persamaan 3.98, parameter $(\tau_o'/\tau_{ci} - 1)$ adalah penting untuk penentuan beban dasar dan parameter (u_*/ω_i) berhubungan dengan beban melayang.

Untuk ukuran partikel median antara 0.088 mm dan 4.08 mm dengan $G = 2.65$ (Yang, 1996)

$$\tau_{ci} = 4d_i \dots\dots\dots(3.108)$$

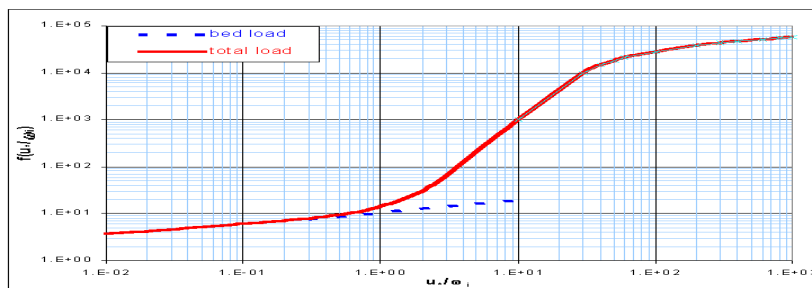
dimana :

τ_{ci} dalam satuan lb/ft^2 dan d_i dalam satuan ft.

Maka, berat kering total debit sedimen per satuan waktu dan lebar q_T adalah

$$q_T = qC_t \dots\dots\dots(3.109)$$

dimana: q = satuan debit air



Gambar 3.22 Fungsi $f(u^*/\omega)$ untuk Metode Laursen (Laursen 1958)

b. Metode Toffaletti

Toffaletti (1969) mengembangkan sebuah prosedur untuk menghitung persamaan beban total berdasarkan konsep dari Einstein (1950) dan Einstein & Chien (1953). Ada tiga perbedaan utama antara metode Toffaletti dan metode Einstein methods (Simons dan Senturk, 1992), yaitu:

1. Toffaletti memanfaatkan distribusi kecepatan ke arah vertikal
2. Toffaletti mengembangkan faktor-faktor koreksi Einstein dalam satu kombinasi
3. Toffaletti memakai hubungan fungsi transport tak berdimensi ϕ^* dan the fungsi intensitas aliran ψ^* dari metode Einstein yang lain daripada kedua diameter-diameter butiran di atas dasar ($d_s = 28.65$ mm dan $d_s = 0.785$ mm).

Kedalaman muka air dibagi menjadi 4 zona: atas, tengah dan bawah serta zona dasar seperti dalam Gambar 3.23. Profil kecepatan direpresentasikan oleh hubungan pangkat,

$$u_x = (1 + \eta_v)u(y/d)^{\eta_v} \dots\dots\dots(3.110)$$

dimana:

- u = kecepatan rata-rata
- y = kedalaman aliran yang diselidiki
- d = seluruh kedalaman aliran

Eksponen η_v diberikan dari hubungan empiris

$$\eta_v = 0.1198 + 0.00048T \dots\dots\dots(3.111)$$

dimana:

T = temperatur air °F

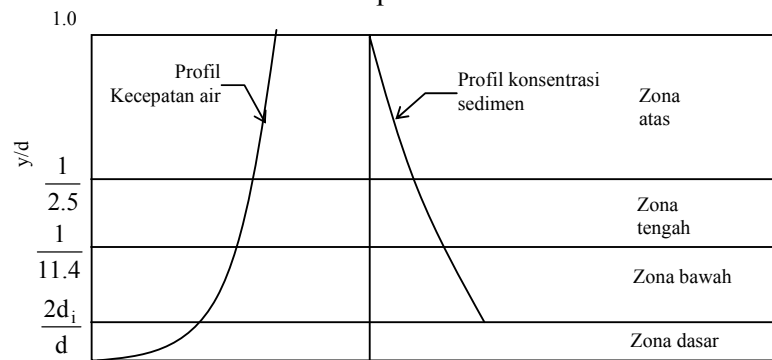
Distribusi konsentrasi dari zona-zona atas, tengah, bawah adalah

$$C_i = C_{ui} \left(\frac{y}{d} \right)^{-1.5z_i} \dots\dots\dots(3.112)$$

$$C_i = C_{mi} \left(\frac{y}{d} \right)^{-z_i} \dots\dots\dots(3.113)$$

$$C_i = C_{li} \left(\frac{y}{d} \right)^{-0.756z_i} \dots\dots\dots(3.114)$$

Koefisien C_{ui} dan C_{mi} dalam persamaan-persamaan 3.112 dan 3.113 di atas dapat diekspresikan dalam bentuk C_{li} dalam Persamaan 3.114 berdasarkan distribusi menerus dari profil konsentrasi sedimen.



Gambar 3.23 Kecepatan, konsentrasi dan hubungan debit sedimen Toffaleti's

Eksponen z_i diberikan oleh

$$z_i = \frac{\omega_i u}{C_z d S} \dots\dots\dots(3.115)$$

dimana:

$$C_z = 260.67 - 0.667T \dots\dots\dots(3.116)$$

ω_i = kecepatan jatuh dari sedimen dengan ukuran d_i

S = slope dari sungai

Perlu diperhatikan bahwa harga $z_i = 1.5\eta_v$ bila $< \eta_v$.

Satuan debit sedimen q_s untuk sungai diberikan

$$q_s = \int_a^d u C dy \dots\dots\dots(3.117)$$

Dengan memakai kombinasi persamaan (3.116) dan Persamaan (3.117), dapat diperoleh debit beban melintang per satuan lebar pada zona-zona atas,

tengah, bawah dalam bentuk

$$q_{sui} = \frac{M_i}{\eta_1} \left(\frac{d}{11.24} \right)^{0.244z_i} \left(\frac{d}{2.5} \right)^{0.5z_i} \left[d^{\eta_1} - \left(\frac{d}{2.5} \right)^{\eta_1} \right] \dots\dots\dots(3.118)$$

$$q_{smi} = \frac{M_i}{\eta_2} \left(\frac{d}{11.24} \right)^{0.244z_i} \left[\left(\frac{d}{2.5} \right)^{\eta_2} - \left(\frac{d}{11.24} \right)^{\eta_2} \right] \dots\dots\dots(3.119)$$

$$q_{sli} = \frac{M_i}{\eta_3} \left[\left(\frac{d}{11.24} \right)^{1+\eta_v-0.758z_i} - (2d_i)^{\eta_3} \right] \dots\dots\dots(3.120)$$

dimana:

$$M_i = 43.2p_i C_{li} (1 + \eta_v) u d^{0.758z_i - \eta_v} \dots\dots\dots(3.121)$$

$$\eta_1 = 1 + \eta_v - 1.5z_i \dots\dots\dots(3.122)$$

$$\eta_2 = 1 + \eta_v - z_i \dots\dots\dots(3.123)$$

$$\eta_3 = 1 + \eta_v - 0.758z_i \dots\dots\dots(3.124)$$

p_i = fraksi berat dari material dasar dengan diameter rata-rata d_i

Sebuah persamaan empiris untuk q_{sli} adalah

$$q_{sli} = \frac{0.600p_i}{(T_t A_c k/u^2)^{5/3} (d_i/0.00058)^{5/3}} \dots\dots\dots(3.125)$$

Bila $d_i < 0.00029$ ft, persamaan ini berubah menjadi

$$q_{sli} = \frac{1.095}{(T_t A_c k/u^2)^{5/3}} \dots\dots\dots(3.126)$$

dimana:

$$T_t = 1.10(0.051+0.00009T) \dots\dots\dots(3.127)$$

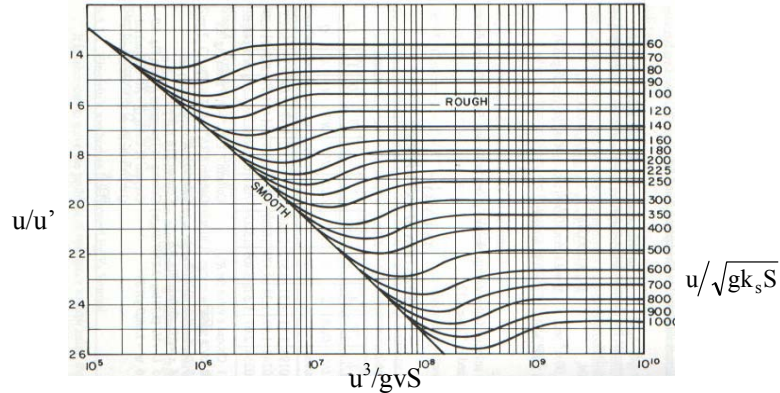
$A_c = \text{fungsi } (10^5 v)^{1/3} / 10u_*'$, ditunjukkan dalam Gambar 3.25a.

u_*' = kecepatan geser akibat kekasaran butiran dan merupakan fungsi dari u^3/gvS

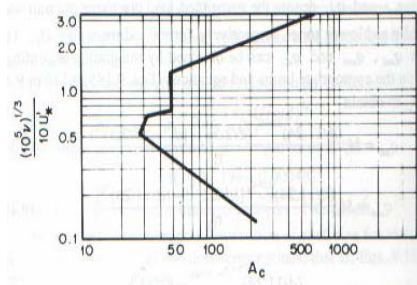
dan $u/\sqrt{gd_{65}S}$ dengan $d_{65} \cong k_s$ seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.24

k = faktor koreksi seperti dalam Gambar 3.25b.

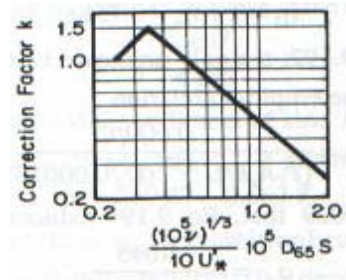
C_{Li} diperoleh dari menentukan q_{sLi} dari persamaan 3.119 sama dengan harga yang diberikan persamaan 3.125 atau persamaan 3.126 karena C_{Li} adalah satu-satunya parameter yang tidak diketahui.



Gambar 3.24 Kurva untuk solusi grafik dari Persamaan Einstein-Barbarossa dalam menentukan R'



a. Evaluasi faktor A_c



b. Faktor koreksi k

Gambar 3.25 Evaluasi faktor A_c dan faktor koreksi k (Toffaletti)

Debit beban dasar q_{bi} diberikan oleh

$$q_{bi} = M_i (2d_i)^{\eta_3} \dots \dots \dots (3.128)$$

dimana

M_i dari persamaan 3.112

η_3 dari persamaan 3.115

Sehingga satuan debit beban material dasar untuk sedimen dengan ukuran d_i adalah

$$q_{ti} = q_{bi} + q_{sui} + q_{smi} + q_{sli} \dots \dots \dots (3.129)$$

c. **Metode Ackers dan White**

Ackers tahun 1972 mengembangkan teori untuk transpor sedimen beban total berdasarkan konsep kuat arus Bagnold. Analisis dimensi dan argumen fisik dalam penjabaran bentuk dari hubungan fungsional dipakai. Ackers dan White meringkas teori tersebut tahun 1973. Teori mereka dianalisis dengan data lab dan sedikit data lapangan. Mereka mengusulkan beban total umum yang menentukan laju transpot dalam 3 parameter tak berdimensi: mobilitas sedimen, ukuran butiran dan transpot sedimen.

Mobilitas sedimen diuraikan oleh rasio antara gaya geser efektif pada satuan luas dari dasar sungai dengan berat basah dari lapisan butiran-butiran (Ackers & White, 1973 dan 1980). Mereka menyatakan bahwa hanya sebagian dari tegangan geser pada dasar sungai yang efektif menyebabkan gerakan sedimen kasar. Untuk sedimen halus, gerakan beban melayang mendominasi dan tegangan geser total memberikan kontribusi secara efektif kepada gerakan sedimen. Oleh karena itu mobilitas sedimen dijelaskan oleh persamaan

$$C_{AW5} = u_*^{C_{AW1}} \left[\frac{u}{\sqrt{32} \log(10 d/d_s)} \right]^{1-C_{AW1}} \dots\dots\dots(3.130)$$

dimana :

C_{AW1} , tergantung pada ukuran sedimen, menjadi nol untuk sedimen kasar dan satu untuk sedimen halus.

Variabel ukuran butiran tak berdimensi d_* diuraikan dari eliminasi gaya geser dari 2 parameter Shields; atau dari koefisien tarik (drag) dan angka Reynolds dari suatu partikel yang mengendap dengan cara eliminasi kecepatan endap atau dapat dikatakan variabel-variabelnya adalah berat basah yang berdimensi dari butiran, kerapatan fluida, kekentalan (Ackers & White, 1973 dan 1980). Oleh karena itu variabel umumnya aplikatif untuk sedimen kasar, transisi (dari kasar ke halus) dan sedimen halus yang diekspresikan sebagai

$$d_* = \left[\frac{(G-1)g}{\nu^2} \right]^{1/3} \dots\dots\dots(3.131)$$

Maka konsentrasi total sedimen (berdasarkan berat) ditunjukkan oleh

$$C_W = C_{AW2} G \frac{d_s}{d} \left(\frac{u}{u_*} \right)^{C_{AW1}} \left(\frac{C_{AW5}}{C_{AW3}} - 1 \right)^{C_{AW4}} \dots\dots\dots(3.132)$$

dimana :

C_{AW1} , C_{AW2} , C_{AW3} , dan C_{AW4} tergantung dari diameter partikel tak berdimensi d_* .

Hubungan untuk C_{AW1} , C_{AW2} , C_{AW3} , dan C_{AW4} yang diperoleh dari data eksperimen untuk ukuran partikel dengan jangkauan dari 0.04 mm sampai 4.0 mm adalah

Untuk $1.0 < d_* < 60.0$,

$$C_{AW1} = 1.0 - 0.56 \log d_* \dots\dots\dots(3.133)$$

$$\text{Log} C_{AW2} = 2.86 \log d_* - (\log d_*)^2 - 3.53 \dots\dots\dots(3.134)$$

$$C_{AW3} = \frac{0.23}{d_*^{1/2}} + 0.14 \dots\dots\dots(3.135)$$

$$C_{AW4} = \frac{9.66}{d_*} + 1.34 \dots\dots\dots(3.136)$$

Untuk $d_* > 60.0$,

$$C_{AW1} = 0, C_{AW2} = 0.025, C_{AW3} = 0.17, C_{AW4} = 1.50$$

Gerakan awal terjadi pada waktu $C_{AW3} = C_{AW5}$. Kondisi ini sesuai dengan kriteria dari Shield untuk sedimen kasar, namun material halus kondisi berada antara Shields dan White (Julien, 1995). Untuk gerakan pasir sangat halus metode ini cenderung memberikan perkiraan konsentrasi yang berlebih (*overestimate*).

d. Metode Shen dan Hung

Asumsi dari metode ini adalah bahwa transpor sedimen adalah sebuah fenomena yang kompleks bahwa tak ada satu angka pun dari bilangan-bilangan Reynolds, Froude atau kombinasi dari parameter-parameter tersebut dapat dipakai untuk menguraikan gerakan sedimen pada semua kondisi (Simons dan Senturk, 1992). Shen & Hung merekomendasikan sebuah persamaan regresi berdasarkan data yang tersedia untuk analisis rekayasa transpor sedimen. Mereka memilih konsentrasi sedimen sebagai variabel yang dicari dan kecepatan jatuh (ft/detik) dari diameter rata-rata dasar saluran, kecepatan aliran u dalam ft/detik, dan slope energi sebagai variabel-variabel yang independen. Konsentrasi sedimen dalam ppm diberikan sebagai sei pangkat dari parameter aliran berdasarkan 587 data set dalam jangkauan ukuran pasir dari diameter partikel dasar saluran.

$$\log C_{ppm} = (-107,404.459 + 324,214.747Sh - 326,309.589Sh^2 + 109,503.872Sh^3) \dots\dots\dots(3.137)$$

dimana :

$$Sh = \left(\frac{uS^{0.57159}}{\omega^{0.31988}} \right)^{0.00750189} \dots\dots\dots(3.138)$$

e. Metode Brownlie

Brownlie mengusulkan persamaan berikut ini untuk konsentrasi sedimen, C_{ppm} :

$$C_{ppm} = 7115c_B \left(\frac{u - u_c}{\sqrt{(G-1)gd_s}} \right)^{1.978} S_f^{0.6601} \left(\frac{R_h}{d_s} \right)^{-0.3301} \dots\dots\dots(3.139)$$

dan

$$F_{go} = \frac{u_c}{\sqrt{(G-1)gd_s}} = 4.596\tau_{*c}^{0.529} S_f^{-0.1405} \sigma_g^{-0.1606} \dots\dots\dots(3.140)$$

dimana :

- u = kecepatan rata-rata
- u_c = kecepatan yang diberikan dalam tegangan geser kritis *Shields dimensionless* τ_{*c} ,
- F_{go} = angka Froude butiran kritis
- τ_{*c} = parameter Shield kritis
- R_h = radius hidraulik
- S_f = kemiringan geser
- σ_g = standar deviasi geometris dari material dasar saluran dan besarnya = 1 untuk material seragam
- c_B = koefisien, bernilai satu untuk data lab dan 1.268 untuk data lapangan

Parameter Shields kritis dihitung dari persamaan berikut ini seperti yang didefinisikan oleh Brownlie,

$$\tau_{*c} = 0.22Y + 0.06(10)^{-7.7Y} \dots\dots\dots(3.141)$$

dimana :

$$Y = \left(\sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho}} R_g \right)^{-0.6} \dots\dots\dots(3.142)$$

dimana :

R_g = angka Reynolds butiran yang didefinisikan sebagai,

$$R_g = \frac{\sqrt{gd_{50}^3}}{\nu} \dots\dots\dots(3.143)$$

ν = viskositas kinematik air.

2. Perhitungan Sedimen Dasar (*Bed Load*)

a. Pengukuran secara langsung

Pengukuran secara langsung adalah metode pengukuran dengan cara mengambil sampel secara langsung dari sungai dengan menggunakan alat ukur sedimen dasar. Sampel yang diperoleh dianalisa di laboratorium dengan cara mengendapkan sampel dengan tabung kerucut. Lama pengendapan sangat ditentukan oleh diameter butiran sedimen, pada umumnya waktu pengendapan antara 4 – 12 jam. Volume sampel sedimen antara 1-2 liter. Melalui pengendapan dapat dipisahkan antara sedimen dan air, kemudian sedimen dikeringkan dan ditimbang beratnya, sehingga didapat kandungan sedimen dalam gram / liter.

b. Pengukuran secara tidak langsung

▪ Proses sedimentasi

Pengukuran muatan sedimen dasar secara tidak langsung dapat dilakukan dengan cara pemetaan endapan sedimen secara berkala. Pada evaluasi muatan sedimen dasar maka material halus terutama yang berasal dari endapan muatan sedimen melayang dipisahkan dari total volume endapan, berat jenis endapan harus ditentukan dengan teliti, data sedimen melayang juga dapat diperoleh dari pengukuran lokasi pos duga air, yang alirannya masuk dan keluar waduk. Volume endapan sedimen dasar, diperoleh dengan cara mengurangi volume endapan sedimen melayang yang masuk dan keluar waduk.

▪ Pemetaan dasar sungai

Laju dari muatan sedimen dasar dapat diperoleh dengan cara memperkirakan propogasi gugus pasir (*propogation of dune*) yang dihitung dengan cara pemetaan dasar sungai secara berkala. Pemetaan dapat dilakukan dengan cara :

- Teknik perahu bergerak, untuk pemetaan profil penampang longitudinal.
- Dengan menggunakan *echo sounding*, untuk pengukuran kedalaman di suatu titik tetap atau beberapa titik di suatu penampang untuk memantau kedalaman dan pergerakan gugus pasir.
- Perkiraan muatan sedimen dengan rumus empiris.

Untuk perhitungan volume sedimen dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$P_s = R_s \times \frac{F}{A} \dots\dots\dots(3.144)$$

dimana :

P_s = Volume sedimen (m^3)

$R_s = \frac{V}{F}$ (sedimentasi tahun – tahun yang telah lalu)

F = Kapasitas waduk (m^3 / tahun)

V = Volume sedimen seluruhnya (m^3)

A = Luas daerah pengaliran (Km^2)

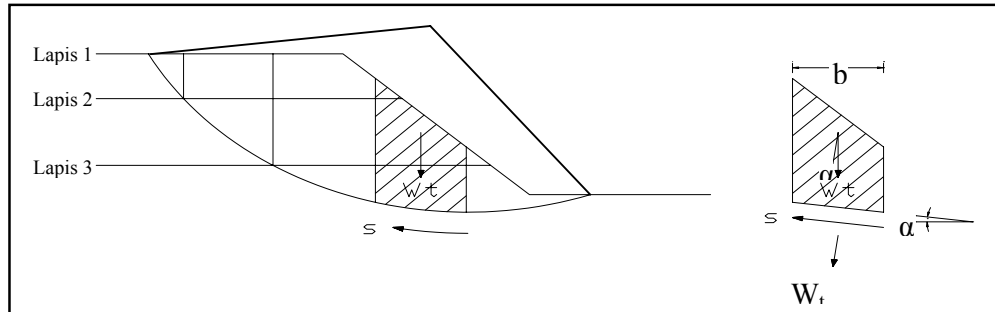
c. Volume Sedimen Total

Volume sedimen total adalah hasil penjumlahan *suspended load* dan *bed load*.

3.4.9 Stabilitas Lereng

Pada perhitungan stabilitas lereng disini lebih ditekankan apakah terjadi longoran baik di lereng bawah maupun di tanggulnya itu sendiri. Pengecekannya disini dengan menggunakan program *GeoStudio 2004 Slope/W Analysis* dengan ketentuan faktor keamanan kritis $F_k \text{ min} > 1$. Untuk menghasilkan model penampang tanah sebagai *input* pada program *GeoStudio 2004 Slope/W Analysis*, maka data pengeboran harus diolah terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), berat volume (γ) serta ketebalan masing-masing lapisan tanah tersebut.

Secara skematis gaya – gaya yang bekerja pada bidang longsor yang terbagi dalam beberapa segmen dapat dilihat pada Gambar 3.26 dan 3.27.



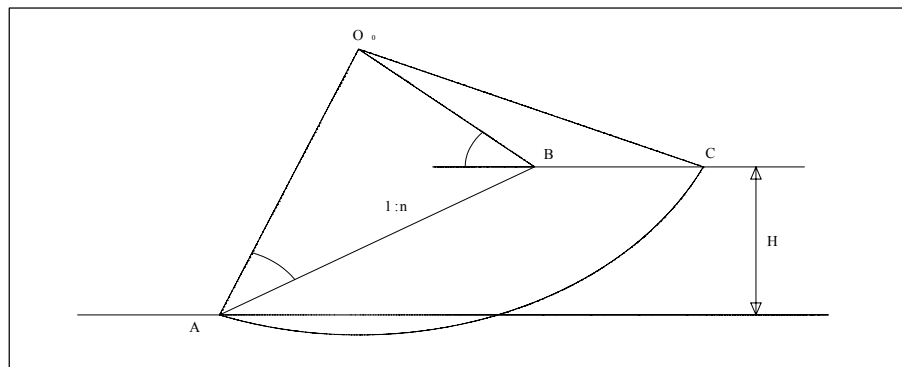
Gambar 3.26 Gaya yang bekerja pada bidang longsor

Dimana :

W_t = Berat Segmen

S = Gaya tangensial yang bekerja pada bidang longsor

L = Lebar Bidang Longsor per Segmen



Gambar 3.27 Lokasi Pusat Busur Longsor Kritis Pada Tanah Kohesif
(K.R. Arora, 2002)

Faktor keamanan (F_k) adalah perbandingan antara kekuatan geser yang ada dengan kekuatan geser yang diperlukan untuk mempertahankan kemantapan.

$$\text{Maka } F_k = \frac{\sum (c' \beta \cos \alpha + (N - \nu \beta) \tan \phi \cos \alpha)}{\sum N \sin \alpha - \sum D \cos \omega} \dots \dots \dots (3.145)$$

Dimana :

N = Gaya Normal

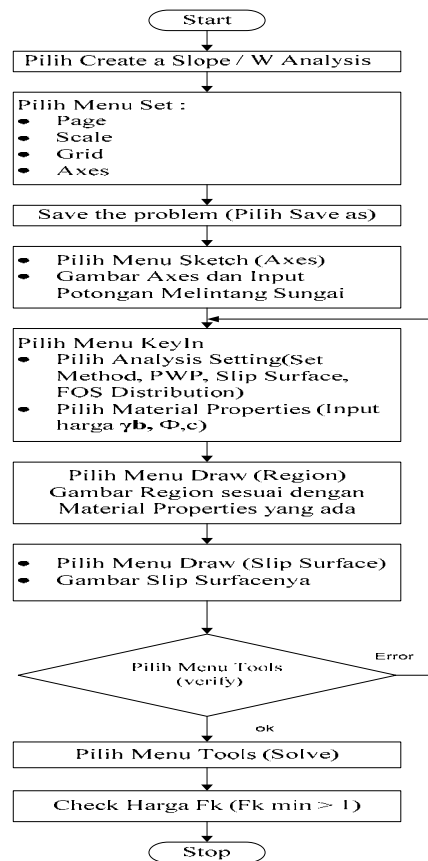
D = Beban Garis

c' = Kohesi efektif

\emptyset = Sudut Geser Tanah

β, α, ω = Parameter Geometrik

Flow chart program *GeoStudio 2004 Slope/W Analysis* dapat dilihat pada Gambar 3.29



Gambar 3.29 Flow Chart Program *GeoStudio 2004 Slope/W Analysis*