

TINJAUAN PUSTAKA

3.1. Tinjauan Umum

Pengendalian banjir merupakan suatu yang kompleks. Dimensi rekayasannya 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”)

3.2. Pengertian Banjir

3.2.1. Definisi Banjir

Banjir adalah suatu kondisi di mana tidak tertampungnya air dalam saluran pembuang (palung sungai) atau terhambatnya aliran air di dalam saluran pembuang, sehingga meluap menggenangi daerah (dataran banjir) sekitarnya. (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.

TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa karakteristik yang berkaitan dengan banjir, di antaranya 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. Faktor 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 di antaranya adalah :

1. Curah hujan

Curah hujan dapat mengakibatkan banjir apabila turun dengan intensitas tinggi, durasi lama, dan terjadi pada daerah yang luas.

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

TINJAUAN PUSTAKA

mengurangi kapasitas saluran, sehingga timbul genangan dan banjir di sungai.

4. Menurunnya 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. 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 ini terjadi di Kota Semarang dan Jakarta. Genangan ini dapat terjadi sepanjang tahun baik di musim hujan dan maupun di musim kemarau.

6. 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.

Sedangkan sebab-sebab yang timbul akibat faktor manusia adalah :

1. Menurunnya fungsi DAS di bagian hulu sebagai daerah resapan

Kemampuan DAS, khususnya di bagian hulu untuk meresapkan air / menahan air hujan semakin berkurang oleh berbagai sebab, seperti penggundulan hutan, usaha pertanian yang kurang tepat, perluasan kota, dan perubahan tata guna lahan lainnya. Hal tersebut dapat memperburuk masalah banjir karena dapat meningkatkan kuantitas dan kualitas banjir.

2. Kawasan kumuh

Perumahan kumuh yang terdapat di sepanjang tepian sungai merupakan penghambat aliran. Luas penampang aliran sungai akan berkurang akibat pemanfaatan bantaran untuk pemukiman kumuh warga. Masalah

TINJAUAN PUSTAKA

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

3. Sampah

Ketidaksiplinan masyarakat yang membuang sampah langsung ke sungai bukan pada tempat yang ditentukan dapat mengakibatkan naiknya muka air banjir.

4. Bendung dan bangunan lain

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

5. Kerusakan bangunan pengendali banjir

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

6. 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. 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

TINJAUAN PUSTAKA

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.

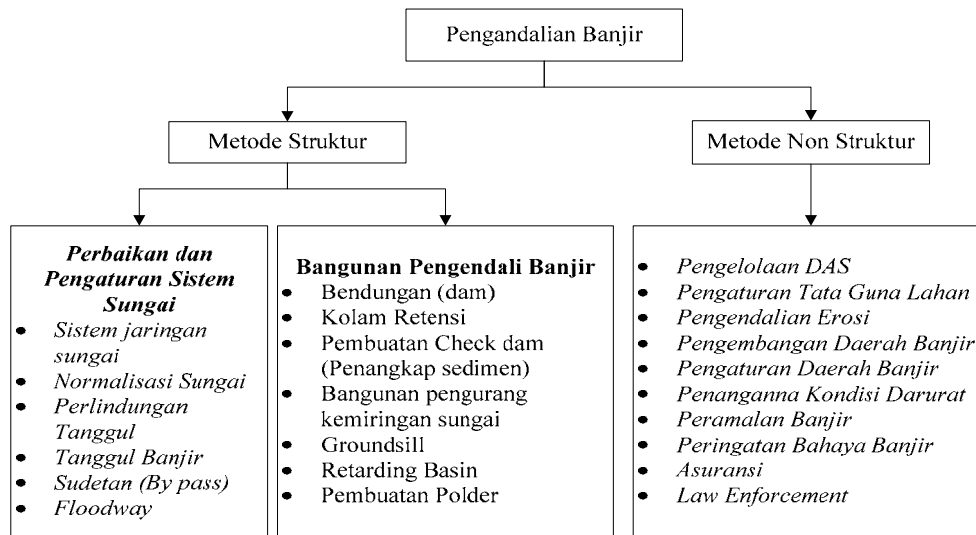
3.2.4. Sistem Pengendalian Banjir (*Flood Control System*)

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 & pengembangan sumber daya air 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 3.1. (*Robert J.Kodoatie, "Banjir"*)

TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 3.1. Pengendalian Banjir Metode Struktur dan Non Struktur.
(Sumber : Robert J. Kodoatie, Sugiyanto, "Banjir")

3.2.4.1. Pengendalian Banjir Metode Struktur

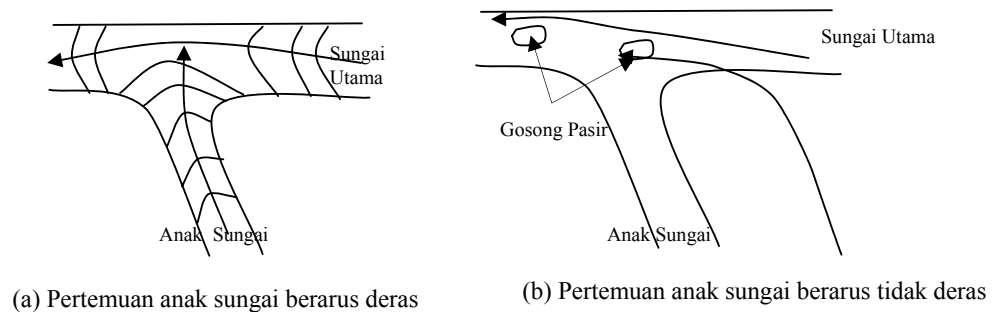
Cara – cara pengendalian banjir dalam metode struktur dapat dibagi menjadi 2 yaitu :

A. Perbaikan dan pengaturan sistem sungai

1. 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 3.2a.

TINJAUAN PUSTAKA

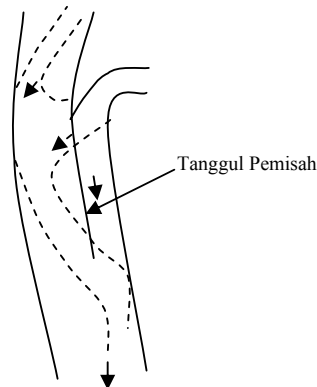


Gambar 3.2. Bentuk-bentuk Pertemuan Sungai
(Suyono Sosrodarsono, "Perbaikan dan Pengaturan Sungai")

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 3.2 b. Guna mencegah terjadinya hal – hal di atas, maka pada pertemuan sungai dilakukan penanganan sebagai berikut :

- a. 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 3.3.) dan pertemuannya digeser agak ke hilir apabila sebuah anak sungai yang kemiringannya curam bertemu dengan sungai utamanya, maka dekat pertemuannya dapat dibuatkan ambang bertangga.
- b. Pada lokasi pertemuan 2 (dua) buah sungai diusahakan supaya formasi pertemuannya membentuk garis singgung.

TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 3.3. Contoh Penanganan Pertemuan Sungai
(Suyono Sosrodarsono, “Perbaikan dan Pengaturan Sungai”)

2. Normalisasi alur sungai dan tanggul

Usaha pengendalian banjir dengan normalisasi alur sungai dimaksudkan untuk memperbesar kapasitas pengaliran saluran. Kegiatan tersebut meliputi :

- a. Normalisasi *cross section*
- b. Perbaikan kemiringan dasar saluran
- c. Memperkecil kekasaran dinding alur saluran
- d. Melakukan rekonstruksi bangunan di sepanjang saluran yang tidak sesuai dan mengganggu aliran air banjir.
- e. Menstabilkan alur saluran
- f. Pembuatan tanggul banjir

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 saluran maupun erosi tebing dan elevasi muka air banjir.

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

TINJAUAN PUSTAKA

dengan debit dominan untuk penampang bawah, perencanaan alur stabil terhadap proses erosi dan sedimentasi dasar sungai maupun erosi tebing dan elevasi muka banjir.

3. Pembuatan alur pengendali banjir (*Floodway*)

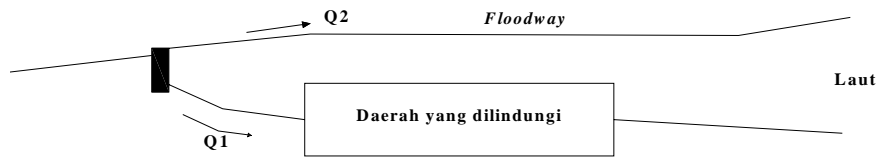
Apabila debit banjir terlalu besar dan tidak dimungkinkan peningkatan kapasitas tampung saluran di atas kapasitas yang sudah ada, maka penambahan kapasitasnya dapat dilakukan dengan pembuatan saluran baru langsung ke laut, danau atau saluran lain. Saluran baru ini disebut saluran banjir (*floodway*). Saluran banjir adalah saluran baru yang dibuat untuk mengalirkan air secara terpisah dari saluran utamanya. Saluran banjir dapat mengalirkan sebagian atau bahkan seluruh debit banjir.

Saluran banjir ini dibuat dengan berbagai tujuan antara lain menghindarkan pekerjaan saluran pada daerah pemukiman yang padat atau untuk memperpendek salah satu ruas saluran. Biasanya saluran banjir dilengkapi dengan pintu atau bendung untuk membagi debit sesuai dengan rencana. Perencanaan *floodway* meliputi : pembagian jalur *floodway*, jalur *floodway*, normalisasi *floodway*, dan bangunan pembagi banjir

Faktor – faktor yang perlu diperhatikan dalam perencanaan suatu saluran banjir (*floodway*) adalah :

- a. Normalisasi alur alam biasanya mengalami kesulitan lahan.
- b. *Head* alur lama tidak menguntungkan, alur jauh dan berkelok – kelok
- c. Terdapat alur alam untuk jalur *floodway*
- d. *Floodway* mempunyai *head* yang cukup
- e. Tidak mengganggu pemanfaatan sumber daya alam
- f. Dampak negatif sosial ekonomi.

TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 3.4. Sistem Pengendalian Banjir dengan *Floodway*
(Suyono Sosrodarsono, "Perbaikan dan Pengaturan Sungai")

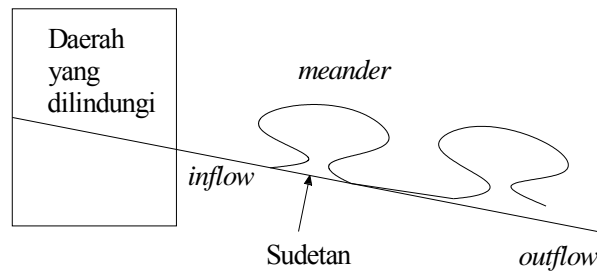
4. Pembuatan sudetan (*shortcut*)

Pada ruas sungai yang belok – beloknya (*meander*) tajam atau sangat kritis, maka tanggul yang akan dibangun biasanya akan lebih panjang. Selain itu pada ruas sungai yang demikian terjadi peningkatan gerusan pada belokan luar dan menyebabkan kerusakan tebing sungai yang pada akhirnya mengancam kaki tanggul. Pada belokan bagian dalam terjadi pengendapan yang intensif pula.

Alur sungai yang panjang dan mempunyai kondisi seperti di atas menyebabkan kelancaran air banjir menjadi terganggu. Untuk mengurangi keadaan yang kurang menguntungkan tersebut perlu dipertimbangkan pembuatan alur baru, agar pada ruas tersebut alur sungai mendekati garis lurus dan lebih pendek. Sungai baru seperti itu disebut sudetan. Sudetan ini akan menurunkan muka air di sebelah hulunya tetapi muka air di sebelah hilirnya biasanya naik sedikit. Tujuan dilakukannya sudetan ini antara lain :

- a. Perbaikan alur sungai yang pada mulanya panjang berbelok –belok dan tidak stabil menjadi lebih pendek dan lebih lurus.
- b. Dengan adanya sudetan akan terjadi hidrograf banjir antara di bagian hulu dan hilir sudetan, sehingga akan menguntungkan daerah di bagian hulunya.

TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 3.5. Sudetan Pada Sungai yang Berkelok – kelok (*meander*)

(Suyono Sosrodarsono, "Perbaikan dan Pengaturan Sungai")

5. *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 :

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

B. Bangunan pengendali banjir

1. Bendungan

Bendungan digunakan untuk menampung dan mengelola distribusi aliran sungai. Pengendalian diarahkan untuk mengatur debit air sungai di sebelah hilir bendungan.

2. 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 bagian hilir. Adapun fungsi *chek dam* antara lain :

TINJAUAN PUSTAKA

- a. Menampung sebagian angkutan sedimen dalam suatu kolam penampung
- b. 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.
- c. 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.

3. *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 (*shortcut*) maka panjang sungai lebih curam sehingga akan terjadi degradasi pada waktu yang akan datang.

4. Pembuatan *Retarding Pond*

Pengendalian banjir dengan cara ini adalah dengan membuat kolam penampungan air saluran atau saluran yang akan meluap. *Retarding pond* dibuat dengan cara menggali suatu daerah/area dengan tujuan menampung air limpasan dan pada saat banjir surut, air tersebut dapat dikeluarkan ke saluran pembuangan. Berkaitan dengan bangunan pengendali banjir ini maka diperlukan bangunan – bangunan air lainnya sebagai pelengkap antara lain : pintu air, pompa, saluran pengambilan, saluran pembuangan, dan lain sebagainya.

5. 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

TINJAUAN PUSTAKA

bawah permukaan tanah (gorong-gorong dan rembesan), serta mengendalikan ketinggian muka air banjir di dalam sistem sesuai dengan rencana. Drainase sistem polder digunakan apabila penggunaan drainase sistem gravitasi sudah tidak memungkinkan lagi, walaupun biaya investasi dan operasinya lebih mahal.

3.2.4.2. Pengendalian Banjir Metode Non Struktur

Analisis pengendalian banjir dengan tidak menggunakan bangunan pengendali akan memberikan pengaruh cukup baik terhadap regim sungai. Contoh aktivitas 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 :

- 1) Pemeliharaan vegetasi di bagian hulu DAS
- 2) Penanaman vegetasi untuk mengendalikan kecepatan aliran air dan erosi tanah.
- 3) 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.
- 4) Mengatur secara khusus bangunan-bangunan pengendali banjir (misal *chek dam*) sepanjang dasar aliran yang mudah tererosi.
- 5) Pengelolaan khusus untuk mengatisipasi aliran sedimen yang dihasilkan dari kegiatan gunung berapi.

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

TINJAUAN PUSTAKA

tadah hujan. Pada dasarnya pengaturan penggunaan lahan di daerah aliran sungai dimaksudkan untuk :

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

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 :

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

TINJAUAN PUSTAKA

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 :

- a. Meminimumkan korban jiwa, kerugian maupun kesulitan yang diakibatkan oleh banjir yang akan terjadi.
- b. Merupakan suatu usaha untuk mengoptimalkan penggunaan lahan di daerah dataran banjir dimasa mendatang, yaitu memperhatikan keuntungan individu ataupun masyarakat sehubungan dengan biaya yang dikeluarkan. *(Robert J. Kodoatie, "Penanganan Bencana Terpadu")*

3.3. Daerah Aliran Sungai (DAS)

3.3.1. Pemahaman Umum

Daerah Aliran Sungai (DAS) (*catchment, basin, watershed*) merupakan daerah di mana semua airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yang berarti ditetapkan berdasar aliran air permukaan. Batas ini tidak ditetapkan berdasar air bawah

TINJAUAN PUSTAKA

tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan pemakaian.

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

Dari peta topografi, ditetapkan titik-titik tertinggi di sekeliling sungai utama (*main stream*) yang dimaksudkan, dan masing-masing titik tersebut dihubungkan satu dengan lainnya sehingga membentuk garis utuh yang bertemu ujung pangkalnya. Garis tersebut merupakan batas DAS di titik kontrol tertentu (Sri Harto Br., 1993).



Gambar 3.6. Contoh Bentuk DAS
(Sri Harto Br., 1993).

TINJAUAN PUSTAKA

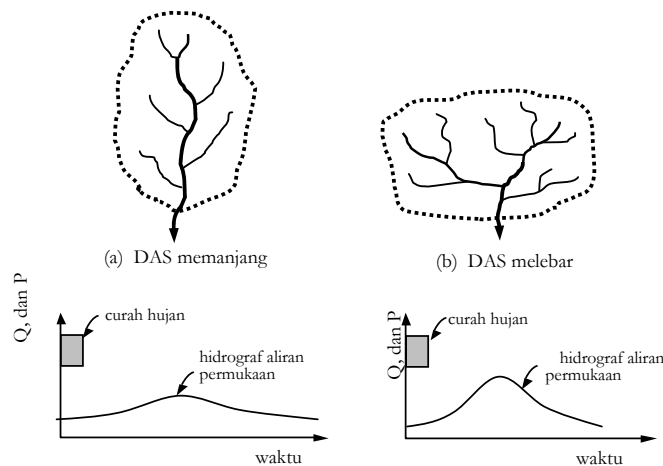
3.3.2. Karakteristik DAS

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

1. Luas dan bentuk DAS

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

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



Gambar 3.7. Pengaruh Bentuk DAS Pada Aliran Permukaan

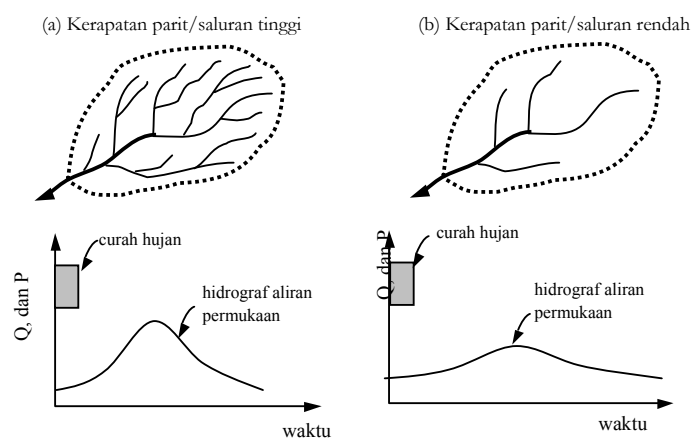
Bentuk DAS yang memanjang dan sempit cenderung menghasilkan laju aliran permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan DAS yang berbentuk melebar atau melingkar. Hal ini terjadi karena waktu konsentrasi DAS yang

TINJAUAN PUSTAKA

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

2. Topografi

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



Gambar 3.8. Pengaruh Kerapatan Parit/Saluran Pada Hidrograf Aliran Permukaan

TINJAUAN PUSTAKA

3. Tata guna lahan

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

3.4. Drainase Perkotaan

3.4.1. Pemahaman Umum

Drainase yang berasal dari kata *to drain* yang berarti mengeringkan atau mengalirkan air drainase, menurut *Dr. Ir. Suripin, M.Eng. (2004;7)* drainase mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air. Secara umum, drainase didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan /atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal. Drainase juga diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas.

Pemahaman secara umum mengenai drainase perkotaan adalah suatu ilmu dari drainase yang mengkhususkan pengkajian pada suatu kawasan perkotaan, yaitu merupakan suatu sistem pengeringan serta pengaliran air genangan (banjir) akibat adanya hujan lokal (hanya terjadi di kota tersebut) dari wilayah perkotaan yang meliputi pemukiman, kawasan industri dan perdagangan, sekolah, serta tempat-tempat lainnya yang merupakan bagian dari sarana kota, untuk kemudian dialirkan ke laut / saluran pengendali banjir, termasuk penanganan genangan yang terjadi pada daerah perkotaan yang

TINJAUAN PUSTAKA

mempunyai ketinggian muka tanah di bawah muka air laut maupun muka air banjir pada saluran / sungai pengendali banjir.

Adapun permasalahan air genangan/ banjir yang terjadi di suatu kota pada umumnya dapat dikelompokkan menjadi 3 macam, yaitu :

1. Banjir lokal yang disebabkan oleh hujan yang turun pada *catchment area* pada suatu sistem jaringan drainase.
2. Banjir kiriman yang disebabkan oleh limpasan kiriman dari daerah atas/ dari luar *catchment area* suatu sistem jaringan drainase kota, pada umumnya limpasan tersebut berasal dari limpasan saluran pengendali banjir (banjir kanal).
3. Banjir akibat genangan air laut pasang (*rob*) yang terjadi di kota pantai di mana elevasi muka tanahnya lebih rendah dari muka air laut pasang.

Sedangkan hal-hal yang menyebabkan terjadinya genangan air di suatu lokasi antara lain:

1. Dimensi saluran yang tidak sesuai.
2. Perubahan tata guna lahan yang menyebabkan terjadinya peningkatan debit banjir di suatu daerah aliran sistem drainase.
3. Elevasi saluran tidak memadai.
4. Lokasi merupakan daerah cekungan.
5. Lokasi merupakan tempat retensi air yang diubah fungsinya misalnya menjadi permukiman. Ketika berfungsi sebagai tempat retensi (parkir alir) dan belum dihuni adanya genangan tidak menjadi masalah. Problem timbul ketika daerah tersebut dihuni.
6. Tanggul kurang tinggi.
7. Kapasitas tampungan kurang besar.
8. Dimensi gorong-gorong terlalu kecil sehingga aliran balik (*backwater*).
9. Adanya penyempitan saluran.
10. Tersumbat saluran oleh endapan, sedimentasi atau timbunan sampah.

TINJAUAN PUSTAKA

3.4.2. Tujuan Utama dan Arah Pelaksanaan Sistem Drainase

Tujuan dengan adanya sistem drainase antara lain :

- a. Mengalirkan air lebih dari suatu kawasan yang berasal dari air hujan maupun air buangan, agar tidak terjadi genangan yang berlebihan (banjir) pada suatu kawasan tertentu
- b. Mengeringkan daerah becek dan genangan air sehingga tidak ada akumulasi air tanah.
- c. Menurunkan permukaan air tanah pada tingkat yang ideal.
- d. Mengendalikan erosi tanah, kerusakan jalan dan bangunan yang ada.

Karena suatu kota terbagi-bagi menjadi beberapa kawasan, maka drainase di masing-masing kawasan merupakan komponen yang saling terkait dalam suatu jaringan drainase perkotaan dan membentuk satu sistem drainase perkotaan

Sedangkan arahan dalam pelaksanaannya adalah :

- a. Harus dapat diatasi dengan biaya ekonomis.
- b. Pelaksanaannya tidak menimbulkan dampak sosial yang berat.
- c. Dapat dilaksanakan dengan teknologi sederhana.
- d. Memanfaatkan semaksimal mungkin saluran yang ada.
- e. Jaringan drainase harus mudah pengoperasian dan pemeliharannya.
- f. Mengalirkan air hujan ke badan sungai yang terdekat.

3.4.3. Jenis –jenis Sistem Drainase

- a. Menurut sejarah terbentuknya, drainase terbagi menjadi 2, yaitu :
 1. Drainase alamiah (*natural drainage*)
yaitu sistem drainase yang terbentuk secara alami dan tidak ada unsur campur tangan manusia.
 2. Drainase buatan
yaitu sistem drainase yang dibentuk berdasarkan analisis ilmu drainase, untuk menentukan debit akibat hujan, dan dimensi saluran.

TINJAUAN PUSTAKA

b. Menurut jenis buangnya, drainase terbagi menjadi 2, yaitu :

1. Drainase air hujan (*storm water drainage*)

Drainase air hujan terletak di atas permukaan tanah. Air hujan yang turun ke bumi masih dapat digunakan untuk kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya, karena tidak mengandung partikel-partikel atau zat-zat yang merugikan

2. Drainase air limbah (*waste water drainage*).

Drainase air limbah terletak di bawah permukaan tanah. Karena untuk air limbah yang mengandung partikel-partikel atau zat-zat yang merugikan harus dibuat sistem drainase tersendiri di bawah permukaan tanah, agar tidak mengganggu kelangsungan hidup makhluk hidup

c. Menurut letak saluran, drainase terbagi menjadi 2, yaitu :

1. Drainase permukaan tanah (*surface drainage*).

Yaitu saluran drainase yang berada di atas permukaan tanah yang berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan. Analisa alirannya merupakan analisa *open channel flow*.

2. Drainase bawah tanah (*sub surface drainage*).

Yaitu saluran drainase yang bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media di bawah permukaan tanah (pipa-pipa), dikarenakan alasan-alasan tertentu. Alasan tersebut antara lain tuntutan artistik, tuntutan fungsi permukaan tanah yang tidak membolehkan adanya saluran di permukaan tanah seperti lapangan sepak bola, lapangan terbang, taman, dan lain-lain.

d. Menurut konstruksinya, drainase terbagi menjadi 2, yaitu :

1. Saluran terbuka.

Yaitu sistem saluran yang biasanya direncanakan hanya untuk menampung dan mengalirkan air hujan (sistem terpisah), namun kebanyakan sistem saluran ini berfungsi sebagai saluran campuran. Pada pinggiran kota, saluran terbuka ini biasanya tidak diberi lining

TINJAUAN PUSTAKA

(lapisan pelindung). Akan tetapi saluran terbuka di dalam kota harus diberi lining dengan beton, pasangan batu (*masonry*) ataupun dengan pasangan bata.

2. Saluran tertutup.

Yaitu saluran untuk air kotor yang mengganggu kesehatan lingkungan. Sistem ini cukup bagus digunakan di daerah perkotaan terutama dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi seperti kota Metropolitan dan kota-kota besar lainnya.

e. Menurut fungsinya, drainase dibagi menjadi 2 yaitu :

1. *Single Purpose.*

Yaitu saluran yang berfungsi mengalirkan satu jenis air buangan saja.

2. *Multy Purpose,*

Yaitu saluran yang berfungsi mengalirkan beberapa jenis buangan, baik secara bercampur maupun bergantian.

3.4.4. Pola Jaringan Drainase

Pola jaringan drainase menurut *Sidharta Karmawan (1997:1-8)* terdiri dari enam macam, antara lain :

1. Siku

Digunakan pada daerah yang mempunyai topografi sedikit lebih tinggi daripada sungai. Sungai sebagai saluran pembuangan akhir berada di tengah kota.

2. Paralel

Saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang. Dengan saluran cabang (sekunder) yang cukup banyak dan pendek-pendek, apabila terjadi perkembangan kota, saluran-saluran akan dapat menyesuaikan diri. Saluran ini biasa dijumpai pada daerah dengan topografi yang cenderung datar dan terletak jauh dari sungai dan danau.

TINJAUAN PUSTAKA

3. *Grid Iron*

Pola jaringan ini terjadi pada daerah dimana sungai terletak di pinggir kota, saluran-saluran cabang dikumpulkan terlebih dahulu pada saluran pengumpul.

4. Alamiah

Pola jaringan alamiah sama seperti pola siku, hanya beban sungai pada pola alamiah lebih besar.

5. Radial

Pola jaringan radial terjadi pada daerah berbukit, sehingga pola aliran memencar ke segala arah.

6. Jaring-jaring

Pola ini mempunyai saluran-saluran pembuang yang mengikuti arah jalan raya, dan cocok untuk daerah dengan topografi datar.

3.4.5. Bangunan-bangunan Sistem Drainase dan Pelengkapannya

1. Bangunan-bangunan Sistem Saluran Drainase

Bangunan-bangunan dalam sistem drainase adalah bangunan-bangunan struktur dan bangunan-bangunan non struktur.

a. Bangunan Struktur

Bangunan struktur adalah bangunan pasangan disertai dengan perhitungan-perhitungan kekuatan tertentu. Contoh bangunan struktur adalah : rumah pompa, bangunan tembok penahan tanah, bangunan terjunan, dan jembatan.

b. Bangunan Non-Struktur

Bangunan non struktur adalah bangunan pasangan atau tanpa pasangan, tidak disertai dengan perhitungan-perhitungan kekuatan tertentu yang biasanya berbentuk siap pasang. Contoh bangunan non struktur adalah : Pasangan (saluran kecil tertutup, tembok talud saluran, *manhole*, *street inlet*). Tanpa pasangan (saluran tanah dan saluran tanah berlapis rumput).

TINJAUAN PUSTAKA

2. Bangunan Pelengkap Saluran Drainase

Bangunan pelengkap saluran drainase diperlukan untuk melengkapi suatu sistem saluran untuk fungsi-fungsi tertentu. Adapun bangunan-bangunan pelengkap sistem drainase antara lain :

a. *Catch Basin*

Bangunan di mana air masuk ke dalam sistem saluran tertutup dan air mengalir bebas di atas permukaan tanah menuju *catch basin*. *Catch basin* dibuat pada tiap persimpangan jalan, pada tempat-tempat yang rendah, tempat parkir.

b. *Inlet*

Apabila terdapat saluran terbuka dimana pembuangannya akan dimasukkan ke dalam saluran tertutup yang lebih besar, maka dibuat suatu konstruksi khusus *inlet*. *Inlet* harus diberi saringan agar sampah tidak masuk ke dalam saluran tertutup.

c. *Headwall*

Headwall adalah konstruksi khusus pada outlet saluran tertutup dan ujung gorong-gorong yang dimaksudkan untuk melindungi dari longsor dan erosi.

d. *Shipon*

Shipon dibuat bilamana ada persilangan dengan sungai. *Shipon* dibangun bawah dari penampang sungai, karena tertanam di dalam tanah maka pada waktu pembuangannya harus dibuat secara kuat sehingga tidak terjadi keretakan ataupun kerusakan konstruksi. Sebaiknya dalam merencanakan drainase dihindarkan perencanaan dengan menggunakan *shipon*, dan sebaiknya saluran yang debitnya lebih tinggi tetap untuk dibuat *shipon* dan saluran drainasenya yang dibuat saluran terbuka atau gorong-gorong.

TINJAUAN PUSTAKA

e. *Manhole*

Untuk keperluan pemeliharaan sistem saluran drainase tertutup di setiap saluran diberi *manhole* pertemuan, perubahan dimensi, perubahan bentuk selokan pada setiap jarak 10-25 m. Lubang *manhole* dibuat sekecil mungkin supaya ekonomis, cukup, asal dapat dimasuki oleh orang dewasa. Biasanya lubang *manhole* berdiameter 60 cm dengan tutup dari besi tulang.

f. Lain-lainnya

Meliputi gorong-gorong, bangunan terjun, dan bangunan got miring.

3.4.6. Perencanaan Sistem Drainase

1. Landasan perencanaan

Perencanaan drainase perkotaan perlu memperhatikan fungsi drainase perkotaan sebagai parasarana kota yang dilandaskan pada konsep pembangunan yang berwawasan lingkungan. Konsep ini antara lain berkaitan dengan sumberdaya air, yang ada prinsipnya adalah mengendalikan air hujan supaya banyak meresap dalam tanah dan tidak banyak terbuang sebagai aliran, antara lain membuat : bangunan resapan buatan, kolam tandon, penataan landscape dan sempadan.

2. Tahap perencanaan

Tahap perencanaan drainase perkotaan meliputi :

a. Tahapan dilakukan melalui pembuatan rencana induk, studi kelayakan

dan perencanaan detail dengan penjelasan :

- ❖ Studi kelayakan dapat dibuat sebagai kelanjutan dari pembuatan rencana induk.
- ❖ Perencanaan detail perlu dibuat sebelum pekerjaan konstruksi drainase dilaksanakan.

TINJAUAN PUSTAKA

- b. Drainase perkotaan di kota raya dan kota besar perlu direncanakan secara menyeluruh melalui tahapan rencana induk.
- c. Drainase perkotaan di kota sedang dan kota kecil dapat direncanakan melalui tahapan rencana kerangka sebagai pengganti rencana induk.
- d. Data dan Persyaratan

Perencanaan sistem drainase perkotaan memerlukan data dan persyaratan sebagai berikut :

❖ Data primer, merupakan data dasar yang dibutuhkan dalam perencanaan yang diperoleh baik dari lapangan maupun dari pustaka, mencakup :

1. Data permasalahan dan data kuantitatif pada setiap lokasi genangan atau banjir yang meliputi luas, lama, kedalaman rata-rata dan frekuensi genangan.
2. Data keadaan fungsi, sistem, geometri dan dimensi saluran
3. Data daerah pengaliran sungai atau saluran meliputi topografi, hidrologi, morfologi sungai, sifat tanah, tata guna tanah dan sebagainya.
4. Data prasarana dan fasilitas kota yang telah ada dan yang direncanakan.

❖ Data sekunder, merupakan data tambahan yang digunakan dalam perencanaan drainase perkotaan yang sifatnya menunjang dan melengkapi data primer, terdiri atas :

1. Rencana Pengembangan Kota
2. Geoteknik
3. Pembiayaan
4. Kependudukan
5. Institusi / kelembagaan
6. Sosial ekonomi

TINJAUAN PUSTAKA

7. Peran serta masyarakat
8. Keadaan kesehatan lingkungan pemukiman

3.5. Analisa Hidrologi

Analisis data hidrologi dimaksudkan untuk memperoleh besarnya debit banjir rencana. Debit banjir rencana merupakan debit maksimum rencana di sungai atau saluran alamiah dengan periode ulang tertentu yang dapat dialirkan tanpa membahayakan lingkungan sekitar dan stabilitas sungai.

Dalam mendapatkan debit banjir rencana yaitu dengan menganalisis data curah hujan maksimum pada daerah aliran sungai yang diperoleh dari beberapa stasiun hujan terdekat. (Sri Eko Wahyuni, 2000)

3.5.1. Perhitungan Curah Hujan Rata-Rata DAS

Ada tiga metode yang biasa digunakan untuk mengetahui besarnya curah hujan rata-rata pada suatu DAS, yaitu sebagai berikut :

3.5.1.1. Cara Rata-rata Aljabar (*Aritmethic Mean Method*)

Cara ini adalah cara yang paling sederhana. Metode rata-rata hitung dengan menjumlahkan curah hujan dari semua tempat pengukuran selama satu periode tertentu dan membaginya dengan banyaknya tempat pengukuran. Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n}$$

Rumus :

Di mana :

\bar{R} = curah hujan rata-rata (mm).

R_1, \dots, R_n = besarnya curah hujan pada masing-masing stasiun (mm).

n = banyaknya stasiun hujan.

3.5.1.2. Cara Poligon *Thiessen*

Metode perhitungan ini berdasarkan rata-rata timbang (*weighted average*) dan memberikan proporsi luasan daerah pengaruh stasiun hujan untuk

TINJAUAN PUSTAKA

mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua stasiun hujan terdekat. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa variasi hujan antara stasiun hujan yang satu dengan lainnya adalah linear dan stasiun hujannya dianggap dapat mewakili kawasan terdekat (Suripin, 2004). Metode ini cocok jika :

- Jumlah stasiun pengamatan minimal tiga buah.
- Penambahan stasiun akan mengubah seluruh jaringan.
- Topografi daerah tidak diperhitungkan.
- Stasiun hujan tidak tersebar merata.

Cara ini adalah dengan memasukkan faktor pengaruh daerah yang mewakili oleh stasiun hujan yang disebut faktor pembobot atau koefisien *Thiessen*. Untuk pemilihan stasiun hujan yang dipilih harus meliputi daerah aliran sungai yang akan dibangun. Besarnya koefisien *Thiessen* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (CD.Soemarto, 1999) :

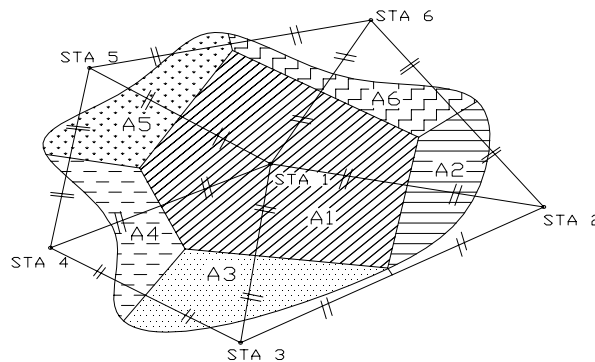
$$C = \frac{A_i}{A_{total}}$$

Di mana :

C = Koefisien *Thiessen*

A_i = Luas daerah pengaruh dari stasiun pengamatan i (km^2)

A_{total} = Luas total dari DAS (km^2)



Gambar 3.9. Pembagian Daerah Dengan Cara Poligon *Thiessen*

(CD.Soemarto, 1999)

TINJAUAN PUSTAKA

Langkah-langkah metode *Thiessen* sebagai berikut :

1. Lokasi stasiun hujan di plot pada peta DAS. Antar stasiun dibuat garis lurus penghubung.
2. Tarik garis tegak lurus di tengah-tengah tiap garis penghubung sedemikian rupa, sehingga membentuk poligon Thiessen. Semua titik dalam satu poligon akan mempunyai jarak terdekat dengan stasiun yang ada di dalamnya dibandingkan dengan jarak terhadap stasiun lainnya. Selanjutnya, curah hujan pada stasiun tersebut dianggap representasi hujan pada kawasan dalam poligon yang bersangkutan.
3. Luas areal pada tiap-tiap poligon dapat diukur dengan planimeter dan luas total DAS (A) dapat diketahui dengan menjumlahkan luas poligon.
4. Hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan rumus :

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

Di mana :

\bar{R} = Curah hujan rata-rata DAS (mm)

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah pengaruh dari setiap stasiun hujan (km^2)

R_1, R_2, \dots, R_n = Curah hujan pada setiap stasiun hujan (mm)

n = Banyaknya stasiun hujan

3.5.1.3. Cara Isohyet (*Isohyet Method*)

Isohyet adalah garis lengkung yang merupakan harga curah hujan yang sama. Umumnya sebuah garis lengkung menunjukkan angka yang bulat. *Isohyet* ini diperoleh dengan cara interpolasi harga-harga curah hujan yang tercatat pada penakar hujan lokal (*R_{nt}*). Metode ini ialah sebuah metode perhitungan dengan memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap stasiun hujan dengan kata lain asumsi metode *Thiessen* yang menganggap bahwa tiap-tiap stasiun hujan mencatat kedalaman yang sama untuk daerah sekitarnya dapat dikoreksi. Metode ini cocok untuk daerah berbukit dan tidak teratur (*Suripin, 2004*).

TINJAUAN PUSTAKA

Prosedur penerapan metode ini meliputi langkah-langkah sebagai berikut :

1. Plot data kedalaman air hujan untuk tiap stasiun hujan pada peta.
2. Gambar kontur kedalaman air hujan dengan menghubungkan titik-titik yang mempunyai kedalaman air hujan yang sama. Interval *Isohyet* yang umum dipakai adalah 1 cm.
3. Hitung luas area antara dua garis *Isohyet* yang berdekatan dengan menggunakan planimeter. Kalikan masing-masing luas areal dengan rata-rata hujan antara dua *Isohyet* yang berdekatan.
4. Hitung hujan rata-rata DAS dengan rumus :

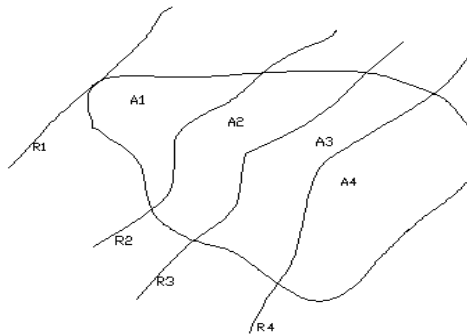
$$\bar{R} = \frac{\frac{R_1 + R_2}{2} A_1 + \frac{R_3 + R_4}{2} A_2 + \dots + \frac{R_n + R_{n-1}}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Di mana :

\bar{R} = Curah hujan rata-rata (mm)

R_1, R_2, \dots, R_n = Curah hujan di garis *Isohyet* (mm)

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas bagian yang dibatasi oleh *Isohyet-Isohyet*
(km^2)



Gambar 3.10. Metode Isohyet

Jika stasiun hujannya relatif lebih padat dan memungkinkan untuk membuat garis *Isohyet* maka metode ini akan menghasilkan hasil yang lebih teliti. Peta *Isohyet* harus mencantumkan sungai-sungai utamanya, garis-garis kontur dan mempertimbangkan topografi, arah angin, dan lain-lain di daerah bersangkutan.

TINJAUAN PUSTAKA

Jadi untuk membuat peta *Isohyet* yang baik, diperlukan pengetahuan, keahlian dan pengalaman yang cukup (Sosrodarsono, 2003).

3.5.2. Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi adalah kejadian yang diharapkan terjadi, rata-rata sekali setiap N tahun atau dengan perkataan lain tahun berulangnya N tahun. Kejadian pada suatu kurun waktu tertentu tidak berarti akan terjadi sekali setiap 10 tahun akan tetapi terdapat suatu kemungkinan dalam 1000 tahun akan terjadi 100 kali kejadian 10 tahunan.

Data yang diperlukan untuk menunjang teori kemungkinan ini adalah minimum 10 besaran hujan atau debit dengan harga tertinggi dalam setahun jelasnya diperlukan data minimum 10 tahun. Hal ini dapat dilihat dari koefisien '*Reduced Mean*' untuk data 10 tahun mencapai 0,5 atau 50 % penyimpangan dari harga rata-rata seluruh kejadian.

Analisis frekuensi dapat dilakukan dengan seri data yang diperoleh dari rekaman data baik data hujan maupun data debit. Analisis ini sering dianggap sebagai cara analisis yang paling baik, karena dilakukan terhadap data yang terukur langsung yang tidak melewati pengalihragaman terlebih dahulu. Lebih lanjut, cara ini dapat dilakukan oleh siapapun, walaupun yang bersangkutan tidak sepenuhnya memahami prinsip-prinsip hidrologi. Dalam kaitan yang terakhir ini, kerugiannya adalah apabila terjadi kelainan dalam analisis yang bersangkutan tidak akan dapat mengetahui dengan tepat.

Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data yang tersedia untuk memperoleh probabilitas besaran debit banjir di masa yang akan datang. Berdasarkan hal tersebut maka berarti bahwa sifat statistik data yang akan datang diandaikan masih sama dengan sifat statistik data yang telah tersedia. Secara fisik dapat diartikan bahwa sifat klimatologis dan sifat hidrologi DAS diharapkan masih tetap sama. Hal terakhir ini yang tidak akan dapat diketahui sebelumnya, lebih-lebih yang berkaitan dengan tingkat aktivitas manusia.

TINJAUAN PUSTAKA

Hujan rencana merupakan kemungkinan tinggi hujan yang terjadi dalam periode ulang tertentu sebagai hasil dari suatu rangkaian analisis hidrologi yang biasa disebut analisis frekuensi. Analisis frekuensi merupakan prakiraan (*forecasting*) dalam arti probabilitas untuk terjadinya suatu peristiwa hidrologi dalam bentuk hujan rencana yang berfungsi sebagai dasar perhitungan perencanaan hidrologi untukantisipasi setiap kemungkinan yang akan terjadi. Analisis frekuensi ini dilakukan dengan menggunakan sebaran kemungkinan teori *probability distribution*, dan yang biasa digunakan adalah sebaran Normal, sebaran Log Normal, sebaran Gumbel tipe I, dan sebaran Log Pearson tipe III.

Secara sistematis metode analisis frekuensi perhitungan hujan rencana ini dilakukan secara berurutan sebagai berikut:

- a. parameter statistik.
- b. pemilihan jenis sebaran.
- c. pengeplotan data.
- d. uji kecocokan sebaran.
- e. perhitungan hujan rencana.

3.5.2.1. Parameter Statistik

Parameter yang digunakan dalam perhitungan analisis frekuensi meliputi parameter nilai rata-rata (\bar{X}), standar deviasi (S_d), koefisien variasi (Cv), koefisien kemiringan (Cs), dan koefisien kurtosis (Ck). Perhitungan parameter tersebut didasarkan pada data catatan tinggi hujan harian rata-rata maksimum 15 tahun terakhir. Untuk memudahkan perhitungan, maka proses analisisnya dilakukan secara matriks dengan menggunakan tabel. Sementara untuk memperoleh harga parameter statistik dilakukan perhitungan dengan rumus dasar sebagai berikut:

- a. Nilai rata-rata :

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

TINJAUAN PUSTAKA

Di mana:

\bar{X} = nilai rata-rata curah hujan (mm)

X_i = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke-i (mm)

n = jumlah data curah hujan

b. Standar deviasi

Apabila penyebaran data sangat besar terhadap nilai rata-rata, maka nilai standar deviasi (S_d) akan besar, akan tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata, maka S_d akan kecil. Standar deviasi dapat dihitung dengan rumus :

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{X_i - \bar{X}\}^2}{n}}$$

Di mana:

S_d = standar deviasi curah hujan

\bar{X} = nilai rata-rata curah hujan (mm)

X_i = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke-i(mm)

n = jumlah data curah hujan

c. Koefisien variasi

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

$$Cv = \frac{S_d}{\bar{X}}$$

Di mana:

Cv = koefisien variasi curah hujan

S_d = standar deviasi curah hujan

\bar{X} = nilai rata-rata curah hujan (mm)

d. Koefisien kemencengan

Koefisien kemencengan (*coefficient of skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan (*assymetry*) dari suatu bentuk

TINJAUAN PUSTAKA

distribusi. Besarnya koefisien kemencengan (*coefficient of skewness*) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut ini :

$$\text{Untuk populasi} : C_s = \frac{\alpha}{S_d^3} \quad \rightarrow \quad \alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^3$$

$$\text{Untuk sampel} : C_s = \frac{a}{S_d^3} \quad \rightarrow \quad a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3$$

Di mana:

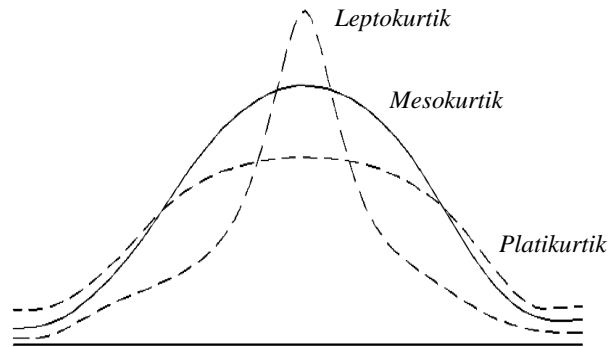
- C_s = koefisien kemencengan curah hujan
- S_d = standar deviasi curah hujan
- μ = nilai rata-rata dari data populasi curah hujan
- \bar{X} = nilai rata-rata dari data sampel curah hujan
- X_i = curah hujan ke i
- n = jumlah data curah hujan
- a, α = parameter kemencengan

Kurva distribusi yang bentuknya simetris maka $C_s \approx 0,00$, kurva distribusi yang bentuknya menceng ke kanan maka C_s lebih besar nol, sedangkan yang bentuknya menceng ke kiri maka C_s kurang dari nol.

e. Koefisien kurtosis

Koefisien *kurtosis* adalah suatu nilai yang menunjukkan keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal yang mempunyai $C_k \approx 3$ yang dinamakan *mesokurtik*, $C_k < 3$ berpuncak tajam yang dinamakan *leptokurtik*, sedangkan $C_k > 3$ berpuncak datar dinamakan *platikurtik*.

TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 3.11. Koefisien Kurtosis

Koefisien *Kurtosis* biasanya digunakan untuk menentukan keruncingan kurva distribusi, dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C_k = \frac{MA(4)}{S_d^4}$$

Di mana:

C_k = koefisien kurtosis

$MA(4)$ = momen ke-4 terhadap nilai rata-rata

S_d = standar deviasi

Untuk data yang **belum** dikelompokkan, maka :

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S_d^4}$$

dan untuk data yang **sudah** dikelompokkan,

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 f_i}{S_d^4}$$

Di mana:

C_k = koefisien kurtosis curah hujan

n = jumlah data curah hujan

X_i = curah hujan ke i

TINJAUAN PUSTAKA

\bar{X} = nilai rata-rata dari data sampel

f_i = nilai frekuensi variat ke i

S_d = standar deviasi

3.5.2.2. Pemilihan Jenis Sebaran

Dalam analisis frekuensi data hidrologi baik data hujan maupun data debit sungai sangat jarang dijumpai seri data yang sesuai dengan sebaran normal. Sebaliknya, sebagian besar data hidrologi sesuai dengan jenis sebaran yang lainnya.

Masing-masing sebaran memiliki sifat-sifat khas sehingga setiap data hidrologi harus diuji kesesuaiannya dengan sifat statistik masing-masing sebaran tersebut. Pemilihan sebaran yang tidak benar dapat mengundang kesalahan perkiraan yang cukup besar. Dengan demikian pengambilan salah satu sebaran secara sembarang untuk analisis tanpa pengujian data hidrologi sangat tidak dianjurkan.

Analisis frekuensi atas data hidrologi menuntut syarat tertentu untuk data yang bersangkutan, yaitu harus seragam (*homogeneous*), independent dan mewakili (*representative*). Data yang seragam berarti bahwa data tersebut harus berasal dari populasi yang sama. Dalam arti lain, stasiun pengumpul data yang bersangkutan, baik stasiun hujan maupun stasiun hidrometri harus tidak pindah, DAS tidak berubah menjadi DAS perkotaan (*urban catchment*), maupun tidak ada gangguan-gangguan lain yang menyebabkan data yang terkumpul menjadi lain sifatnya. Batasan '*independent*' di sini berarti bahwa besaran data ekstrim tidak terjadi lebih dari sekali. Syarat lain adalah bahwa data harus mewakili untuk perkiraan kejadian yang akan datang, misalnya tidak akan terjadi perubahan akibat ulah tangan manusia secara besar-besaran, tidak dibangun konstruksi yang mengganggu pengukuran, seperti bangunan sadap yang akan mengakibatkan perubahan tata guna tanah. Pengujian statistik dapat dilakukan untuk masing-masing syarat tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam statistik dikenal beberapa jenis distribusi, di antaranya yang banyak digunakan dalam hidrologi adalah:

- a. Distribusi normal
- b. Distribusi log normal
- c. Distribusi Gumbel
- d. Distribusi log Pearson III

Dengan mengikuti pola sebaran yang sesuai selanjutnya dihitung curah hujan rencana dalam beberapa metode ulang yang akan digunakan untuk mendapatkan debit banjir rencana.

Persyaratan metode distribusi untuk masing-masing jenis sebaran ditampilkan dalam Tabel 3.1. berikut ini :

Tabel 3.1. Pedoman pemilihan sebaran

Jenis Sebaran	Syarat
Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
Gumbel	$C_s \leq 1,1396$ $C_k \leq 5,4002$
Log Pearson Tipe III	$C_s \neq 0$
Log normal	$C_s \approx 3C_v + C_v^2 \approx 3$ $C_k \approx 5,383$

(Sumber : Sutiono. dkk)

Penentuan jenis sebaran yang akan digunakan untuk analisis frekuensi dapat dipakai beberapa cara sebagai berikut.

a. Metode Distribusi Normal

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

$$X_t = \bar{X} + z S_x$$

Di mana:

X_t = curah hujan rencana (mm/hari)

\bar{X} = curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

TINJAUAN PUSTAKA

$$S_x = \text{standar deviasi} = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum (X_1 - \bar{X})^2}$$

z = faktor frekuensi (Tabel 3.2.)

Tabel 3.2. Nilai Koefisien Untuk Distribusi Normal

Periode Ulang (tahun)					
2	5	10	25	50	100
0,00	0,84	1,28	1,71	2,05	2,33

(Sumber :Soewarno,1995)

b. Metode Distribusi Log Normal

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

Rumus yang digunakan dalam perhitungan metode ini adalah sebagai berikut:

$$X_t = \bar{X} + K_t \cdot S_x$$

Di mana:

X_t = besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun (mm/hari)

$$S_x = \text{Standar deviasi} = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum (X_1 - \bar{X})^2}$$

\bar{X} = curah hujan rata-rata (mm/hari)

K_t = Standar variabel untuk periode ulang tahun (Tabel 3.3.)

Tabel 3.3. Nilai Koefisien untuk distribusi Log Normal

Periode Ulang (tahun)						
2	5	10	20	25	50	100
-0,22	0,64	1,26	1,89	2,10	2,75	3,45

(Sumber : CD.Soemarto,1999)

c. Metode Distribusi Gumbel

Digunakan untuk analisis data maksimum, misal untuk analisis frekuensi banjir. Untuk menghitung curah hujan rencana dengan metode

TINJAUAN PUSTAKA

sebaran *Gumbel* digunakan persamaan distribusi frekuensi empiris sebagai berikut (CD.Soemarto, 1999) :

$$X_T = \bar{X} + \frac{S}{S_n}(Y_T - Y_n)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Hubungan antara periode ulang T dengan Y_T dihitung dengan rumus :

untuk $T \geq 20$, maka : $Y = \ln T$

$$Y = -\ln \left[-\ln \frac{T-1}{T} \right] \quad \text{Di mana :}$$

X_T = nilai hujan rencana dengan data ukur T tahun.

\bar{X} = nilai rata-rata hujan

S = standar deviasi (simpangan baku)

Y_T = nilai reduksi variat (*reduced variate*) dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang T tahun. Tabel 3.6.

Y_n = nilai rata-rata dari reduksi variat (*reduced mean*) nilainya tergantung dari jumlah data (n). Tabel 3.4.

S_n = deviasi standar dari reduksi variat (*reduced standart deviation*) nilainya tergantung dari jumlah data (n). Tabel 3.5.

Tabel 3.4. *Reduced mean* (Y_n) untuk Metode Sebaran *Gumbel*

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,495 2	0,499 6	0,503 5	0,507 0	0,510 0	0,512 8	0,515 7	0,518 1	0,520 2	0,522 0
20	0,523 6	0,525 2	0,526 8	0,528 3	0,529 6	0,530 0	0,582 0	0,588 2	0,534 3	0,535 3
30	0,536 3	0,537 1	0,538 0	0,538 8	0,539 6	0,540 0	0,541 0	0,541 8	0,542 4	0,543 0
40	0,546 3	0,544 2	0,544 8	0,545 3	0,545 8	0,546 8	0,546 8	0,547 3	0,547 7	0,548 1
50	0,548 5	0,548 9	0,549 3	0,549 7	0,550 1	0,550 4	0,550 8	0,551 1	0,551 5	0,551 8
60	0,552 1	0,552 4	0,552 7	0,553 0	0,553 3	0,553 5	0,553 8	0,554 0	0,554 3	0,554 5

TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 3.5. *Reduced mean (Y_n) untuk Metode Sebaran Gumbel (lanjutan)*

70	0,554 8	0,555 0	0,555 2	0,555 5	0,555 7	0,555 9	0,556 1	0,556 3	0,556 5	0,556 7
80	0,556 9	0,557 0	0,557 2	0,557 4	0,557 6	0,557 8	0,558 0	0,558 1	0,558 3	0,558 5
90	0,558 6	0,558 7	0,558 9	0,559 1	0,559 2	0,559 3	0,559 5	0,559 6	0,559 8	0,559 9
100	0,560 0									

(Sumber:CD. Soemarto,1999)

Tabel 3.6. *Reduced Standard Deviation (S_n) untuk Metode Sebaran Gumbel*

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,949 6	0,967 6	0,983 3	0,997 1	1,009 5	1,020 6	1,031 6	1,041 1	1,049 3	1,056 5
20	1,062 8	1,069 6	1,075 4	1,081 1	1,086 4	1,031 5	1,096 1	1,100 4	1,104 7	1,108 0
30	1,112 4	1,115 9	1,119 3	1,122 6	1,125 5	1,128 5	1,131 3	1,133 9	1,136 3	1,138 8
40	1,141 3	1,143 6	1,145 8	1,148 0	1,149 9	1,151 9	1,153 8	1,155 7	1,157 4	1,159 0
50	1,160 7	1,192 3	1,163 8	1,165 8	1,166 7	1,168 1	1,169 6	1,170 8	1,172 1	1,173 4
60	1,174 7	1,175 9	1,177 0	1,178 2	1,179 3	1,180 3	1,181 4	1,182 4	1,183 4	1,184 4
70	1,185 4	1,186 3	1,187 3	1,188 1	1,189 0	1,189 8	1,190 6	1,191 5	1,192 3	1,193 0
80	1,193 8	1,194 5	1,195 3	1,195 9	1,196 7	1,197 3	1,198 0	1,198 7	1,199 4	1,200 1
90	1,200 7	1,201 3	1,202 6	1,203 2	1,203 8	1,204 4	1,204 6	1,204 9	1,205 5	1,206 0
100	1,206 5									

(Sumber:CD. Soemarto,1999)

Tabel 3.7. *Reduced Variate (Y_T) untuk Metode Sebaran Gumbel*

Periode Ulang (tahun)	Reduced Variate	Periode Ulang (tahun)	Reduced Variate
2	0,3665	100	4,6001
5	1,4999	200	5,2960
10	2,2502	500	6,2140
20	2,9606	1.000	6,9190
25	3,1985	5.000	8,5390
50	3,9019	10.000	9,9210

(Sumber:CD. Soemarto,1999)

TINJAUAN PUSTAKA

d. Metode Distrobusi Log Pearson tipe III

Digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrim. Bentuk sebaran *Log-Pearson* tipe III merupakan hasil transformasi dari sebaran *Pearson* tipe III dengan menggantikan varian menjadi nilai logaritmik. Metode *Log-Pearson* tipe III apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan sebagai berikut (CD.Soemarto, 1999) :

$$Y = \bar{Y} + K.S$$

Di mana :

Y = nilai logaritmik dari X atau log (X)

X = data curah hujan

\bar{Y} = rata-rata hitung (lebih baik rata-rata geometrik) nilai Y

S = deviasi standar nilai Y

K = karakteristik distribusi peluang *Log-Pearson* tipe III

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Mengubah data curah hujan sebanyak n buah $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ menjadi log (X_1), log (X_2), log (X_3), ..., log (X_n).
2. Menghitung harga rata-ratanya dengan rumus :

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

Di mana : $\overline{\log(X)}$ = harga rata-rata logaritmik

n = jumlah data

X_i = nilai curah hujan tiap-tiap tahun (R_{24} maks)

TINJAUAN PUSTAKA

3. Menghitung harga standar deviasinya dengan rumus berikut :

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \overline{\log(X)}\}^2}{n-1}} \quad \text{Di mana : Sd = standar deviasi}$$

4. Menghitung koefisien *skewness* (Cs) dengan rumus :

$$Cs = \frac{\sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \overline{\log(X)}\}^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \quad \text{Di mana : Cs = koefisien skewness}$$

5. Menghitung logaritma hujan rencana dengan periode ulang T tahun dengan rumus :

$$\text{Log}(X_T) = \overline{\log(X)} + K \cdot Sd$$

Di mana : X_T = curah hujan rencana periode ulang T tahun

K = harga yang diperoleh berdasarkan nilai Cs

6. Menghitung koefisien *kurtosis* (Ck) dengan rumus :

$$Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \overline{\log(X)}\}^4}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4} \quad \text{Di mana : Ck = koefisien kurtosis.}$$

7. Menghitung koefisien variasi (Cv) dengan rumus :

$$Cv = \frac{Sd}{\overline{\log(X)}}$$

Di mana : Cv = koefisien variasi

Sd = standar deviasi

Tabel 3.8. Distribusi *Log Pearson III* untuk Koefisien Kemencengan Cs

Kemencengan	Periode Ulang (tahun)							
	2	5	10	20	50	100	200	1000
(CS)	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,396	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	1,840	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

TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 3.9. Distribusi Log Pearson III untuk Koefisien Kemencengan Cs (lanjutan)

Kemencengan	Periode Ulang (tahun)							
	2	5	10	20	50	100	200	1000
(CS)	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
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	1,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,831	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,761	2,000	2,252	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	0,830	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	1,097	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	1,995	1,000
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	1,798	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)

3.5.2.3. Pengeplotan Data

Pengeplotan data distribusi frekuensi dalam kertas probabilitas bertujuan untuk mencocokkan rangkaian data dengan jenis sebaran yang dipilih, dimana kecocokan dapat dilihat dengan persamaan garis yang membentuk garis lurus. Hasil pengeplotan juga dapat digunakan untuk menaksir nilai tertentu dari data baru yang kita peroleh.

TINJAUAN PUSTAKA

Ada dua cara untuk mengetahui ketepatan distribusi probabilitas data hidrologi, yaitu data yang ada diplot pada kertas probabilitas yang sudah didesain khusus atau menggunakan skala plot yang melinierkan fungsi distribusi. Posisi pengeplotan data merupakan nilai probabilitas yang dimiliki oleh masing-masing data yang diplot. Banyak metode yang telah dikembangkan untuk menentukan posisi pengeplotan yang sebagian besar dibuat secara empiris. Untuk keperluan penentuan posisi ini, data hidrologi (hujan atau banjir) yang telah ditabelkan diurutkan dari besar ke kecil (berdasarkan peringkat m), dimulai dengan $m = 1$ untuk data dengan nilai tertinggi dan $m = n$ (n adalah jumlah data) untuk data dengan nilai terkecil. Periode ulang T_r dapat dihitung dengan beberapa persamaan yang telah terkenal, yaitu Weibull, California, Hazen, Gringorten, Cunnane, Blom, dan Turkey. Data yang telah diurutkan dan periode ulangnya telah dihitung dengan salah satu persamaan di atas diplot di atas kertas probabilitas sehingga diperoleh garis T_r vs P (hujan) atau Q (debit banjir) yang berupa garis lurus.

Perkiraan kasar periode ulang atau curah hujan yang mungkin, lebih mudah dilakukan dengan menggunakan kertas kemungkinan. Kertas kemungkinan normal (*normal probability paper*) digunakan untuk curah hujan tahunan yang mempunyai distribusi yang hampir sama dengan distribusi normal, dan kertas kemungkinan logaritmis normal (*logarithmic-normal probability paper*) digunakan untuk curah hujan harian maksimum dalam setahun yang mempunyai distribusi normal logaritmis.

Dalam hal ini harus dipilih kertas kemungkinan yang sesuai dengan distribusi data secara teoritis maupun empiris dan bentuk distribusi ditentukan dengan menggambarannya.

Penggambaran posisi (*plotting positions*) yang dipakai adalah cara yang dikembangkan oleh *Weibull dan Gumbel*, yaitu:

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

TINJAUAN PUSTAKA

Di mana:

$P(X_m)$ = data yang telah diurutkan dari besar ke kecil

m = nomor urut

n = jumlah data

3.5.2.4. Uji Kecocokan Sebaran

Uji kecocokan sebaran dilakukan untuk mengetahui jenis sebaran yang paling sesuai dengan data hujan. Uji sebaran dilakukan dengan uji kecocokan distribusi yang dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan sebaran peluang yang telah dipilih dapat menggambarkan atau mewakili dari sebaran statistik sampel data yang dianalisis tersebut. (Soemarto, 1999).

Ada dua jenis uji kecocokan (*Goodness of fit test*) yaitu uji kecocokan *Chi-Square* dan *Smirnov-Kolmogorof*. Umumnya pengujian dilaksanakan dengan cara menggambarkan data pada kertas peluang dan menentukan apakah data tersebut merupakan garis lurus, atau dengan membandingkan kurva frekuensi dari data pengamatan terhadap kurva frekuensi teoritisnya. (Soewarno, 1995).

a. Uji Kecocokan *Chi-Square*

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}). Rumusnya adalah:

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

Di mana:

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.

Prosedur perhitungan uji *chi* kuadrat adalah:

1. Urutkan data pengamatan dari besar ke kecil.

TINJAUAN PUSTAKA

2. Hitunglah jumlah kelas yang ada dengan rumus $(K) = 1 + 3,322 \log n$. Dalam pembagian kelas disarankan agar setiap kelas terdapat minimal tiga buah pengamatan.
3. Hitung nilai $Ef = \left(\frac{\sum n}{\sum K} \right)$
4. Hitunglah banyaknya data yang masuk untuk tiap kelas (Of).
5. Hitung nilai $X^2Cr = (Of - Ef)^2 / Ef$ untuk setiap kelas kemudian hitung nilai total X^2Cr .
6. Nilai X^2Cr dari perhitungan harus lebih kecil dari nilai X^2Cr dari tabel untuk derajat nyata tertentu yang sering diambil sebesar 5 % dengan parameter derajat kebebasan.

Dari hasil pengamatan yang didapat, dicari penyimpangannya dengan *chi* kuadrat kritis yang didapat dari Tabel 3.8. Untuk suatu nilai nyata tertentu (*level of significant*) yang sering diambil adalah 5%. Derajat kebebasan ini secara umum dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Dk = n - (P + 1)$$

Di mana: Dk = derajat kebebasan

n = banyaknya rata-rata

P = banyaknya keterikatan (parameter).

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut :

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

TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 3.10. Nilai Kritis untuk Distribusi *Chi Kuadrat (Chi Square)*

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	9,591	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	12,808	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

(Sumber : Soewarno, 1995)

b. Uji Kecocokan Smirnov-Kolmogorof

Uji keselarasan Smirnov-Kolmogorov, sering juga disebut uji keselarasan non parametrik (*non parametrik test*) karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorof* dilakukan dengan membandingkan probabilitas untuk tiap-tiap variabel dari distribusi empiris dan teoritis didapat perbedaan (Δ). Perbedaan maksimum yang dihitung (Δ maks) dibandingkan dengan perbedaan kritis (Δ cr) untuk suatu derajat nyata dan banyaknya variat tertentu, maka sebaran sesuai jika (Δ_{maks}) < (Δ cr). (Soewarno, 1995).

TINJAUAN PUSTAKA

Rumus yang dipakai :
$$\alpha = \frac{P_{\max} - P_{(xi)}}{P(x) \Delta_{Cr}}$$

Prosedurnya adalah sebagai berikut:

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

$$X_1 \rightarrow P(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P(X_2)$$

$$X_n \rightarrow P(X_n)$$

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

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

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

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

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

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

Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov-Kolmogorov test*) tentukan harga *Do*, seperti terlihat dalam Tabel 3.9.

Tabel 3.11. Nilai kritis (*Do*) untuk Uji *Smirnov-Kolmogorov*

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	0,30	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	0,20	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	$1,07/N^{0,5}$	$1,22/N^{0,5}$	$1,36/N^{0,5}$	$1,63/N^{0,5}$

(Sumber : Soewarno,1995)

TINJAUAN PUSTAKA

Interprestasi dari hasil Uji *Smirnov - Kolmogorov* adalah :

1. Apabila $D < D_0$, maka distribusi teoritis yang digunakan untuk persamaan distribusi dapat diterima.
2. Apabila $D > D_0$, maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

3.5.3. Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (*IDF = Intensity-Duration-Frequency Curve*). Diperlukan data hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit dan jam-jaman untuk membentuk lengkung IDF. Data hujan jenis ini hanya dapat diperoleh dari pos penakar hujan otomatis. Selanjutnya, berdasarkan data hujan jangka pendek tersebut lengkung IDF dapat dibuat.

Untuk menentukan debit banjir rencana (*design flood*) perlu didapatkan harga suatu intensitas curah hujan terutama bila digunakan metode rasional. Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut berkonsentrasi. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau. Untuk menghitung intensitas curah hujan dapat digunakan beberapa rumus empiris sebagai berikut :

3.5.3.1. Menurut Dr. Mononobe

Rumus yang digunakan :

$$i = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left[\frac{24}{t} \right]^m$$

Di mana:

TINJAUAN PUSTAKA

- i = intensitas curah hujan (mm/jam)
 t = lamanya curah hujan (jam)
 R_{24} = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)
 m = konstanta (2/3)

3.5.3.2. Menurut Sherman

Rumus ini cocok untuk $t < 2$ jam. Rumus yang digunakan :

$$i = \frac{a}{t^b}$$

$$\log a = \frac{\sum_{i=1}^n (\log(i)) \sum_{i=1}^n (\log(t))^2 - \sum_{i=1}^n (\log(t) \cdot \log(i)) \sum_{i=1}^n (\log(t))}{n \sum_{i=1}^n (\log(t))^2 - \left(\sum_{i=1}^n (\log(t)) \right)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (\log(i)) \sum_{i=1}^n (\log(t)) - n \sum_{i=1}^n (\log(t) \cdot \log(i))}{n \sum_{i=1}^n (\log(t))^2 - \left(\sum_{i=1}^n (\log(t)) \right)^2}$$

Di mana:

- i = intensitas curah hujan (mm/jam)
 t = lamanya curah hujan (menit)
 a, b = konstanta (tergantung lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran).
 n = banyaknya pasangan data i dan t

3.5.3.3. Menurut Talbot

Rumus yang digunakan :

$$i = \frac{a}{(t + b)}$$

$$a = \frac{\sum_{j=1}^n (i.t) \sum_{j=1}^n (i^2) - \sum_{j=1}^n (i^2.t) \sum_{i=1}^n (i)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2}$$

TINJAUAN PUSTAKA

$$b = \frac{\sum_{j=1}^n (i) \sum_{j=1}^n (i \cdot t) - n \sum_{j=1}^n (i^2 \cdot t)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2}$$

Di mana:

i = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (menit)

a,b = konstanta (tergantung lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran)

n = banyaknya pasangan data i dan t

3.5.3.4. Menurut *Ishiguro*

Rumus yang digunakan :

$$i = \frac{a}{\sqrt{t} + b}$$

$$a = \frac{\sum_{j=1}^n (i \cdot \sqrt{t}) \sum_{j=1}^n (i^2) - \sum_{j=1}^n (i^2 \cdot \sqrt{t}) \sum_{j=1}^n (i)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2}$$

$$b = \frac{\sum_{j=1}^n (i) \sum_{j=1}^n (i \cdot \sqrt{t}) - n \sum_{j=1}^n (i^2 \cdot \sqrt{t})}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2}$$

Di mana:

i = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (menit)

a,b = konstanta (tergantung lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran)

n = banyaknya pasangan data i dan t

TINJAUAN PUSTAKA

3.5.4. Hujan Efektif

Dalam memperkirakan pola hujan digunakan tabel yang diperoleh dari Tanimoto berdasarkan penelitian *Dr. Boerema (lihat Tabel 3.10)*

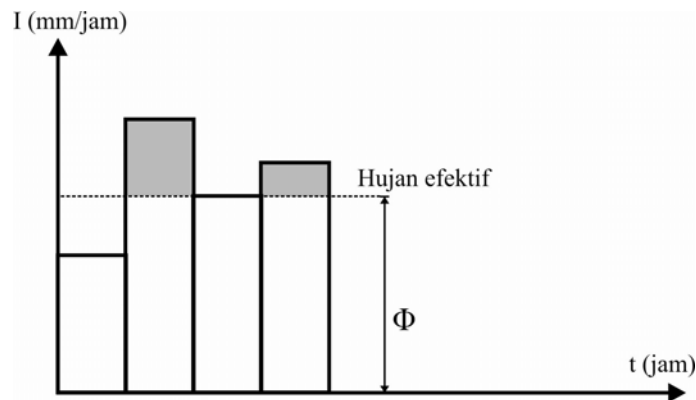
Tabel 3.12. Distribusi Intensitas Hujan Tiap Jam

Jam Ke	Hujan (mm)			
	170	230	350	470
1	87	90	96	101
2	28	31	36	45
3	18	26	26	31
4	11	14	20	25
5	8	11	16	22
6	6	9	14	20
7	6	8	13	19
8	4	7	12	18
9	2	5	10	15
10		5	10	15
11		4	9	14
12		4	9	14
13		4	9	14
14		4	9	14
15		3	8	13
16		3	8	13
17		3	7	13
18		3	7	12
19		2	7	11
20			7	11
21			7	11
22			6	11
23			4	10

(Sumber : Tanimoto)

TINJAUAN PUSTAKA

Sedangkan untuk menghitung “kehilangan” (Φ) melihat ketentuan untuk hujan perkotaan maksimum 30% dari intensitas hujan total. (diambil 25% dari intensitas hujan total). (Suripin,2002)



Gambar 3.12. Hujan Efektif

Dimana :

Φ = total kehilangan air dari jam ke jam berikutnya (mm/jam).

hujan efektif (Pe) :

$$t_0 - t_1 \rightarrow Pe_1 = 0$$

$$t_1 - t_2 \rightarrow Pe_2 = I_2 - \Phi \text{ mm/jam}$$

$$t_2 - t_3 \rightarrow Pe_3 = \Phi$$

$$t_3 - t_4 \rightarrow Pe_4 = I_4 - \Phi \text{ mm/jam}$$

TINJAUAN PUSTAKA

Penabelan hidrograf banjir :

Tabel 3.13. Hidrograf Banjir

t	UH	UH*Re ₁	UH*Re ₂	UH*Re ₃	UH*Re ₄	Σ (UH*Re)
1	2	3	4	5	6	7
Jam		2*3	2*4	2*5	2*6	3+4+5+6
	0	0	0	0	0	0
	q ₁	0	q ₁ *Re ₂	0	0	q ₁ *Re ₂
	q ₂	0	q ₂ *Re ₂	0	0	q ₂ *Re ₂
	q ₃	0	q ₃ *Re ₂	0	q ₁ *Re ₄	q ₃ *Re ₂ + q ₁ *Re ₄
	0	0	0	0	q ₂ *Re ₄	q ₂ *Re ₄
					q ₃ *Re ₄	q ₃ *Re ₄
					0	0

Dimana :

UH = Unit Hidrograf, Re= Hujan Efektif

3.5.5. Debit Banjir Rencana

Metode yang biasa digunakan untuk menghitung debit banjir rencana umumnya sebagai berikut :

3.5.5.1. Metode Rasional

Metode untuk memperkirakan laju aliran permukaan puncak yang umum dipakai adalah metode Rasional *USSCS* (1973). Metode ini sangat simple dan mudah penggunaannya, namun penggunaannya terbatas untuk DAS-DAS dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 300 ha (Goldman et al.,1986). Karena model ini merupakan model kotak hitam, maka tidak dapat menerangkan hubungan curah hujan dan aliran permukaan dalam bentuk hidrograf.

Metode rasional dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa hujan yang terjadi mempunyai intensitas seragam dan merata di seluruh DAS selama paling sedikit sama dengan waktu konsentrasi (*t_c*) DAS.

$$t_c = 0,0195 * L^{0,77} * S^{-0,385}$$

TINJAUAN PUSTAKA

Di mana :

t_c = waktu konsentrasi hujan (menit)

L = jarak terjauh dari titik terjauh sampai saluran (km)

S = kemiringan saluran

Metode rasional ini dapat dinyatakan secara aljabar dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (\text{m}^3/\text{dtk})$$

Di mana:

Q = debit banjir rencana (m^3/dtk)

C = koefisien *run off* (koefisien limpasan)

I = intensitas maksimum selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = luas daerah aliran (km^2)

Suripin (2004) mengemukakan faktor utama yang mempengaruhi nilai C adalah laju infiltrasi tanah atau persentase lahan kedap air, kemiringan lahan, tanaman penutupan tanah dan intensitas hujan. Koefisien ini juga tergantung pada sifat dan kondisi tanah. Laju infiltrasi turun pada hujan yang terus-menerus dan juga dipengaruhi oleh kondisi kejenuhan air sebelumnya. Faktor lain yang juga mempengaruhi nilai C adalah air tanah, derajat kepadatan tanah, porositas tanah dan simpanan depresi. Berikut Nilai C untuk berbagai tipe tanah dan penggunaan lahan (*McGueen 1989 dalam Suripin 2003*) :

Tabel 3.14. Koefisien *Run off* (C) untuk Metode Rasional

No.	Deskripsi lahan / karakter permukaan	Koefisien C
1.	Bisnis :	
	- perkotaan	0,70-0,95
	- pinggiran	0,50-0,70
2.	Perumahan :	
	- rumah tinggal	0,30-0,50
	- multi unit terpisah	0,40-0,60
	- multi unit tergabung	0,60-0,75
	- perkampungan	0,25-0,40
	- apartemen	0,50-0,70

TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 3.15. Koefisien *Run off* (C) untuk Metode Rasional (lanjutan)

3.	Industri : - berat - ringan	0,50-0,80 0,60-0,90
4.	Perkerasan : - Aspal dan beton. - Batu bata, paving	0,70-0,95 0,50-0,70
5.	Atap	0,75-0,95
6.	Halaman, tanah berpasir : - datar 2% - rata-rata 2-7% - curam 7%	0,05-0,10 0,10-0,15 0,15-0,20
7.	Halaman, tanah berat : - datar 2% - rata-rata 2-7% - curam 7%	0,13-0,17 0,18-0,22 0,25-0,35
8.	Hutan : - datar 0-5% - bergelombang 5-10% - berbukit 10-30%	0,10-0,40 0,25-0,50 0,30-0,60

(McGueen 1989 dalam Suripin 2003)

Apabila jenis tanah permukaan lolos air (*permeabel*) dan tertutup tanaman, maka jumlah air an meresap ke dalam tanah cukup besar (*run off* kecil) dan sebaliknya apabila jenis tanah permukaannya kedap air (*impermeabel*) dan banyak tertutup bangunan, maka jumlah air yang mengalir di permukaan akan besar (*run off* besar), dengan kata lain besarnya nilai *run off* tergantung dari jenis tata guna lahan. (Al Falah, 2002).

3.5.5.2. Metode Weduwen

Rumus dari metode *Weduwen* adalah sebagai berikut :

$$Qt = \alpha * \beta * q * F$$

- a. Koefisien *Run off* (α)

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{\beta q_n + 7}$$

- b. Waktu Konsentrasi (t)

$$t = 0,25xLxQt^{-0,125}xI^{-0,25}$$

TINJAUAN PUSTAKA

c. Koefisien Reduksi (β)

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

d. Hujan Maksimum (q)

$$q = \frac{67,65}{t + 1,45}$$

Di mana:

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

β = 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 (*Loebis, 1987*) :

A = luas daerah pengaliran < 100 Km^2 .

t = 1/6 sampai 12 jam.

3.5.5.3. Metode *Haspers*

Adapun langkah-langkah dalam menghitung debit puncak adalah sebagai berikut :

- Menentukan besarnya curah hujan sehari (R_h rencana) untuk periode ulang rencana terpilih.
- Menentukan koefisien *run-off* untuk daerah aliran sungai.
- Menghitung luas daerah pengaliran, panjang sungai dan gradien sungai untuk daerah aliran sungai.

TINJAUAN PUSTAKA

- d. Menghitung nilai waktu konsentrasi.
- e. Menghitung koefisien reduksi, intensitas hujan, debit persatuan luas, dan debit rencana. (Loebis, 1987)

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

$$Qt = \alpha \cdot \beta \cdot q_n A$$

$$\text{Koefisien Run Off } (\alpha) \quad \alpha = \frac{1 + 0,012f^{0.7}}{1 + 0,75f^{0.7}}$$

$$\text{Koefisien Reduksi } (\beta) \quad \frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,7 \times 10^{-0.4t}}{t^2 + 15} \times \frac{f^{3/4}}{12}$$

$$\text{Waktu konsentrasi } (t) \quad t = 0,1 L^{0,8} I^{-0,3}$$

Di mana :

f = luas ellips yang mengelilingi DPS dengan sumbu panjang tidak lebih dari 1,5 kali sumbu pendek (km^2)

t = waktu konsentrasi (jam)

L = Panjang sungai (Km)

I = kemiringan rata-rata sungai

Intensitas Hujan

- Untuk $t < 2$ jam
$$Rt = \frac{tR24}{t + 1 - 0,0008 \cdot (260 - R24)(2 - t)^2}$$

- Untuk $2 \text{ jam} \leq t \leq 19 \text{ jam}$
$$Rt = \frac{tR24}{t + 1}$$

- Untuk $19 \text{ jam} \leq t \leq 30 \text{ jam}$
$$Rt = 0,707R24\sqrt{t + 1}$$

Di mana t dalam jam dan Rt , $R24$ (mm)

Hujan maksimum (q_n)

$$q_n = \frac{Rn}{3,6 \cdot t} \quad ; \text{ Di mana :}$$

t = Waktu konsentrasi (jam)

Qt = Debit banjir rencana (m^3/det)

TINJAUAN PUSTAKA

R_n = Curah hujan maksimum (mm/hari)

q_n = Debit persatuan luas ($m^3/det.km^2$)

3.5.5.4. Hidrograf Satuan Sintetik Snyder

Suatu grafik yang menunjukkan hubungan antara parameter aliran dengan waktu (Sugiyanto, 2000). Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap aliran / bentuk hidrograf antara lain : intensitas hujan (I), laju *infiltrasi* (f), besarnya *infiltrasi* (F), dan *Soil Moisture Deficiency* (DMF).

Unit hidrograf / hidrograf satuan merupakan hubungan antara debit aliran sungai dan waktu dari suatu DPS akibat hujan efektif (R_e) yang jatuh merata di seluruh DPS sebesar satu satuan tinggi (mm) per satuan waktu (jam) (Sugiyanto,2000).Berdasarkan data yang dipakai dalam analisis unit hidrograf dibedakan menjadi :

- a. Unit hidrograf sintesis. Khusus digunakan di sungai/saluran yang tidak mempunyai data pengamatan debit.
- b. Unit hidrograf observed, dianalisis dari hidrograf banjir sungai/saluran dan data hujan (intensitas).

Beberapa asumsi dalam penurunan unit hidrograf (Sherman ,1932) :

1. Hujan efektif berdistribusi sama dalam periode yang ditentukan.
2. Hujan efektif merata di seluruh DPS.
3. Waktu dasar unit hidrograf tetap.
4. Aliran langsung (*direct run off*) sebanding dengan hujan efektif.
5. Berlaku superposisi.

Perhitungan hidrograf banjir untuk saluran-saluran di wilayah studi meliputi:

- a. Hidrograf satuan sintetik Synder. (C.D. Soemarto,1999)

Waktu untuk mencapai puncak :

Waktu antara titik berat hujan efektif hingga puncak hidrograf satuan

$$t_p = C_t . (L . L_c)^{0,3}$$

TINJAUAN PUSTAKA

Di mana :

t_p = waktu antara titik hujan efektif hingga puncak hidrograf satuan (jam).

C_t = Koefisien yang tergantung dari slope basin.

L = Panjang sungai (km)

L_c = Panjang sungai dari titik berat basin ke outlet (km)

Durasi hujan efektif $\rightarrow t_e$

Jika $t_e < t_R$, maka waktu antara permulaan hingga mencapai hidrograf :

$$T_p = t_p + 0,5 \text{ (jam)}$$

Jika $t_e > t_R$, maka waktu antara permulaan hingga mencapai hidrograf :

$$T_p = t'_p + 0,5 \text{ (jam)} \rightarrow t'_p = t_p * (t_c - t_R)$$

$$\text{Puncak hidrograf satuan : } q_{\text{puncak}} = 275 * \text{ (m}^3/\text{det.mm.km}^2\text{)}$$

$$\text{Debit puncak hidrograf satuan : } Q_p = q_{\text{puncak}} * A \text{ (m}^3/\text{s.mm)}$$

Dimana : t_R = Lamanya hujan efektif (1 jam)

$$q_{\text{puncak}} = \text{Puncak hidrograf satuan (m}^3/\text{det.mm.km}^2\text{)}$$

C_p = Koefisien yang tergantung dari karakteristik

A = Luas daerah aliran (km²)

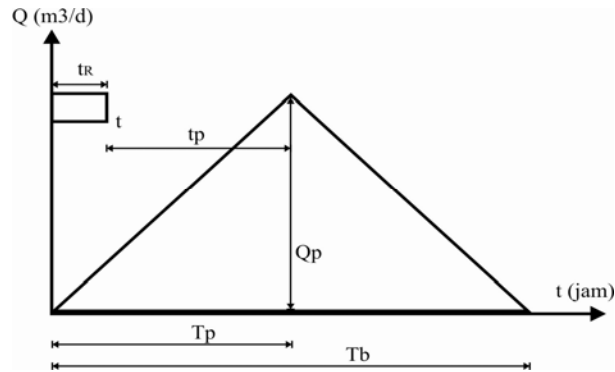
$$\text{Lebar dasar hidrograf satuan : } T_b = \frac{72}{C_p} \text{ (jam)}$$

Ordinat-ordinat hidrograf satuan dihitung dengan persamaan Alexeyev

$$Y = \frac{Q}{Q_p} \quad X = \frac{t}{T_p} \quad Y = 10^{-a \frac{(1-X)^2}{X}}$$

$$\text{Dengan : } a = 1,32 * \frac{72}{C_p} + 0,15 * \frac{72}{C_p} + 0,045 \rightarrow = \dots$$

TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 3.13. Hidrograf Satuan Sintetik Snyder

b. Perhitungan *Infiltrasi*

Infiltrasi adalah suatu proses dimana air hujan merembes masuk ke dalam tanah permukaan *pervious subcatchment area*. Ada beberapa pilihan dalam memodelkan infiltrasi, tetapi dalam perencanaan ini yang dipakai adalah persamaan *Horton*. Metode ini berdasarkan hasil pengamatan empiris yang dilakukan oleh *RE. Horton (1940)* yang menunjukkan bahwa infiltrasi akan berkurang secara eksponensial dari nilai maksimum ke nilai minimum sesuai dengan persamaan:

$$f_p = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt}$$

Di mana :

f_p = kapasitas infiltrasi

f_c = infiltrasi minimum

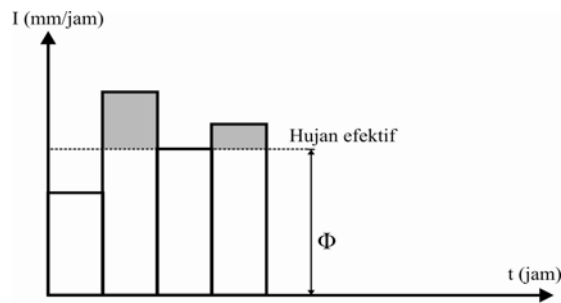
f_o = infiltrasi maksimu

t = waktu sejak awal hujan

k = tetapan untuk tanah atau permukaan tertentu

TINJAUAN PUSTAKA

c. Hujan efektif



Gambar 3.14. Hujan Efektif

Di mana :

f_p = total kehilangan air dari jam ke jam berikutnya (mm/jam).

hujan efektif (R_e) :

$t_0 - t_1 \rightarrow Pe_1 = 0$

$t_1 - t_2 \rightarrow Pe_2 = I_2 - f_p$ mm/jam

$t_2 - t_3 \rightarrow Pe_3 = \Phi$

$t_3 - t_4 \rightarrow Pe_4 = I_4 - f_p$ mm/jam

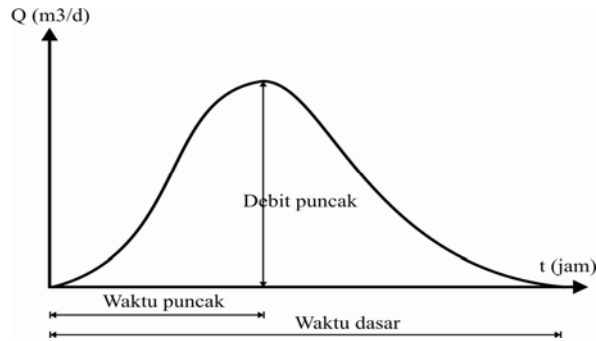
d. Penabelan hidrograf banjir

t	UH	UH*Re ₁	UH*Re ₂	UH*Re ₃	UH*Re ₄	Σ (UH*Re)
1	2	3	4	5	6	7
Jam		2*3	2*4	2*5	2*6	3+4+5+6
	0	0	0	0	0	0
	q ₁	0	q ₁ *Re ₂	0	0	q ₁ *Re ₂
	q ₂	0	q ₂ *Re ₂	0	0	q ₂ *Re ₂
	q ₃	0	q ₃ *Re ₂	0	q ₁ *Re ₄	q ₃ *Re ₂ + q ₁ *Re ₄
	0	0	0	0	q ₂ *Re ₄	q ₂ *Re ₄
					q ₃ *Re ₄	q ₃ *Re ₄
					0	0

Di mana : UH = Unit Hidrograf

Re = Hujan Efektif

TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 3.15. Hidrograf Banjir

3.5.5.5. Hidrograf Satuan Sintetik Gama I

Cara ini dipakai sebagai upaya memperoleh hidrograf satuan suatu DAS yang belum pernah diukur. Dengan pengertian lain tidak tersedia data pengukuran debit maupun data *AWLR* (*Automatic Water Level Recorder*) pada suatu tempat tertentu dalam sebuah DAS yang tidak ada stasiun hydrometer.

Hidrograf satuan sintetik secara sederhana dapat disajikan empat sifat dasarnya yang masing – masing disampaikan sebagai berikut :

1. Waktu naik (*Time of Rise, TR*), yaitu waktu yang diukur dari saat *hidrograf* mulai naik sampai berakhirnya limpasan langsung atau debit sama dengan nol.
2. Debit puncak (*Peak Discharge, QP*)
3. Waktu dasar (*Base Time, TB*), yaitu waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai berakhirnya limpasan langsung atau debit sama dengan nol.
4. Korfisien tampungan DAS dalam Fungsi sebagai tampungan air.

Sisi naik hidrograf satuan diperhitungkan sebagai garis lurus sedang sisi resesi (*resesion climb*) hidrograf satuan disajikan dalam persamaan eksponensial berikut :

$$Q_t = Q_p \cdot e^{-\lambda t}$$

Di mana :

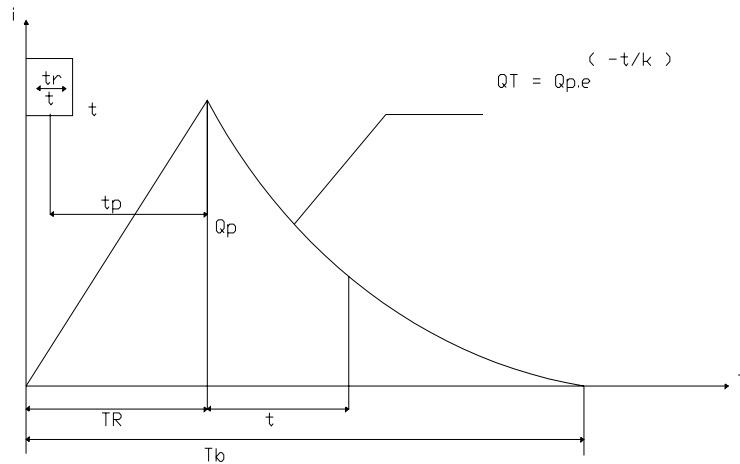
Q_t = Debit yang diukur dalam jam ke- t sesudah debit puncak (m^3/dt)

Q_p = Debit puncak (m^3/dt)

TINJAUAN PUSTAKA

T = Waktu yang diukur pada saat terjadinya debit puncak (jam)

K = Koefisien tampungan dalam jam



Gambar 3.16. Hidrograf Satuan

$$T_R = 0,43 \left[\frac{L}{100} + 1,0665 \text{ SIM} + 1,2775 \right]$$

T_R = Waktu naik (jam)

L = Panjang sungai (km)

Sf = Faktor sumber yaitu perbandingan antara jumlah panjang tingkat I dengan Jumlah panjang sungai semua tingkat.

$$SF = (L_1 + L_1) / (L_1 + L_1 + L_2)$$

SIM = Faktor simetri ditetapkan sebagai hasil kali antara factor lebar (WF)

dengan luas relative DAS sebelah hulu (RUA)

$$A - B = 0,25 L$$

$$A - C = 0,75 L$$

$$WF = W_u / W_i$$

$$Q_p = 0,1836 \cdot A^{0,5886} \cdot T_R^{-0,4008} \cdot JN^{0,2381}$$

Di mana :

Q_p = Debit puncak (m^3/dt)

JN = Jumlah pertemuan sungai

TINJAUAN PUSTAKA

$$T_B = 27,4132 T_R^{0,1457} \cdot S^{-0,0986} \cdot SN^{-0,7344} \cdot RUA^{0,2574}$$

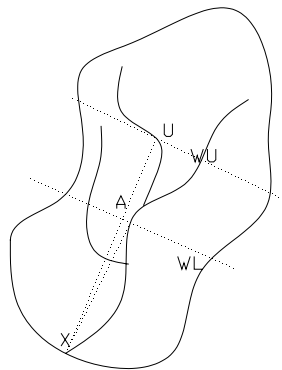
Di mana :

TB = Waktu dasar (jam)

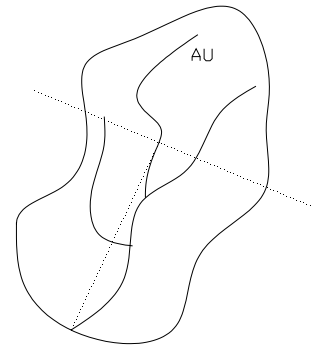
S = Landai Sungai rata – rata

SN = Frekuensi sumber yaitu perbandingan antara jumlah segmen sungai – sungai Tingkat 1 dengan jumlah sungai semua tingkat

RUA= Perbandingan antara luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun pengukuran dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS melewati titik tersebut dengan luas DAS total.



a. Penentuan Wu dan Wi



b. Penentuan Au

Gambar 3.17. Penentuan Nilai Wu, Wi, dan Au

$$X-A = 0,25 L$$

$$X-U = 0,75 L$$

$$RUA = Au / A$$

Penetapan hujan efektif untuk memperoleh hidrograf dilakukan dengan menggunakan indeks – infiltrasi. Untuk memperoleh indeks ini agak sulit, untuk itu dipergunakan pendekatan dengan mengikuti petunjuk Barnes (1959). Perkiraan dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh parameter DAS yang secara hidrologi dapat diketahui pengaruhnya terhadap indeks infiltrasi, persamaan pendekatannya adalah sebagai berikut :

$$\varphi = 10,1903 - 3,859 \times 10^{-6} \cdot A^2 + 1,6985 \times 10^{-13} \left(\frac{A}{SN} \right)^4$$

TINJAUAN PUSTAKA

3.5.6. Penelusuran Banjir (*Flood Routing Storage*)

Penelusuran banjir dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik *Indrogral. Outflow*/keluaran, yang sangat diperlukan dalam pengendalian banjir. Perubahan hidrograf banjir antara *inflow* (I) dan *outflow* (O) terjadi karena adanya faktor tampungan atau adanya penampang sungai yang tidak seragam atau akibat adanya *meander* sungai. Jadi penelusuran banjir ada dua, untuk mengetahui perubahan *inflow* dan *outflow* pada tampungan dan *in flow* pada suatu titik dengan suatu titik di tempat lain pada sungai.

$I > 0$ tampungan naik elevasi muka air tampungan naik.

$I < 0$ tampungan turun elevasi muka air tampungan turun.

Pada penelusuran banjir berlaku persamaan kontinuitas :

$$I - O = \Delta S$$

ΔS = Perubahan tampungan air di tampungan

Persamaan kontinuitas pada periode $\Delta t = t_1 - t_2$ adalah :

$$\left[\frac{I_1 + I_2}{2} \right] \Delta t - \left[\frac{O_1 + O_2}{2} \right] \Delta t = S_2 - S_1$$

3.6. Aspek Hidrolika

3.6.1. Perencanaan Dimensi Saluran

Untuk menentukan dimensi saluran drainase dalam hal ini, diasumsikan bahwa kondisi aliran air adalah dalam kondisi *steady uniform flow* di mana aliran mempunyai kecepatan konstan terhadap jarak dan waktu (*Suripin, 2000*). Rumus yang sering digunakan adalah rumus Manning.

$$Q = V \cdot A$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad ; \quad \text{Di mana :}$$

Q = debit banjir rencana yang harus dibuang lewat saluran drainase (m^3/dt)

V = Kecepatan aliran rata-rata (m/dt)

TINJAUAN PUSTAKA

$A = (b + mh) \cdot h$ = Luas potongan melintang aliran (m²)

$R = A/P$ = jari-jari hidrolis (m)

$P = b + 2h(m^2 + 1)^{1/2}$ = keliling basah penampang saluran (m)

b = lebar dasar saluran (m)

h = kedalaman air (m)

l = kemiringan energi/ saluran

n = koefisien kekasaran Manning

m = kemiringan talud saluran (1 vertikal : m horisontal)

Faktor-faktor yang berpengaruh didalam menentukan harga koefisien kekasaran Manning (n) adalah sebagai berikut :

- a. kekasaran permukaan saluran.
- b. vegetasi sepanjang saluran.
- c. ketidakteraturan saluran.
- d. trase saluran landas.
- e. pengendapan dan penggerusan.
- f. adanya perubahan penampang.
- g. ukuran dan bentuk saluran.
- h. kedalaman air.

Tabel 3.16. Harga Koefisien Manning (n) untuk Saluran Seragam

Jenis saluran	Keterangan	n
Tanah lurus & seragam	Bersih baru	0,018
	Bersih telah melapuk	0,022
	Berkerikil	0,025
	Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,027
Saluran alam	Bersih lurus	0,030
	Bersih berkelok-kelok	0,040
	Banyak tanaman pengganggu	0,070
	Dataran banjir berumput pendek-tinggi	0,030-0,035
	Saluran di belukar	0,050-0,100
Beton	Gorong-gorong lurus dan bebas kotoran	0,011
	Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit tanaman pengganggu	0,013
	Beton dipoles	0,012
	Saluran pembuang dengan bak kontrol	0,015

(Suripin, 2000)

TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 3.13 di atas dapat dipakai apabila material saluran pada dinding dan dasarnya adalah seragam, tetapi apabila saluran yang dasar dan dindingnya mempunyai koefisien kekasaran yang berbeda (beda material), misalnya dinding saluran adalah lapisan batu belah, sedangkan dasar saluran merupakan tanah asli maka koefisien kekasaran (n) rata-ratanya dapat dihitung dengan rumus:

$$n_{rt} = (P_1 \cdot n_1^{1,5} + 2P_2 \cdot n^{1,5})^{2/3} / P^{2/3}$$

Untuk menjaga terhadap loncatan air akibat bertambahnya kecepatan serta kemungkinan adanya debit air yang datang lebih besar dari perkiraan juga untuk memberi ruang bebas pada aliran maka diperlukan ruang bebas (*free board*) yang besarnya tergantung pada fungsi saluran. Besarnya nilai tinggi jagaan tergantung pada besarnya debit banjir yang lewat klasifikasi saluran (primer, sekunder, tersier) dan daerah yang dilalui apakah memerlukan tingkat keamanan yang tinggi, sedang, atau rendah, seperti tampak pada Tabel 3.14. (Al Falah, 2002)

Tabel 3.17. Nilai Tinggi Jagaan Menurut Klasifikasi Daerah

Klasifikasi daerah	Klasifikasi saluran		
	Primer	Sekunder	Tersier
Kota raya	90	60	30
Kota besar	60	60	20
Kota sedang	40	30	20
Kota kecil	30	20	15
Daerah industri	40	30	20
Daerah pemukiman	30	20	15

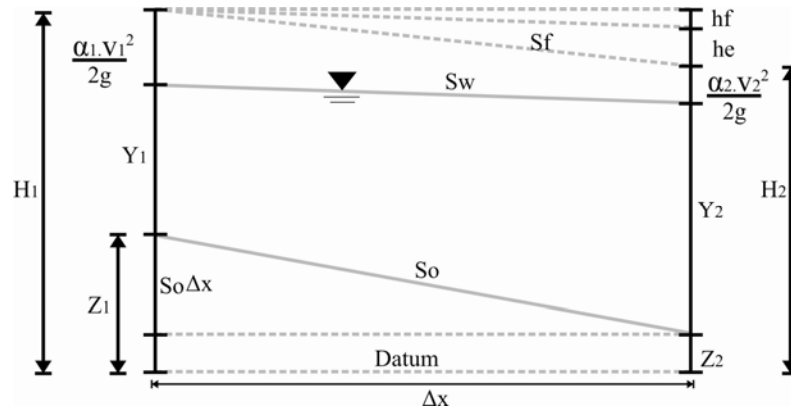
(Sumber : Kriteria perencanaan DPU Pengairan)

3.6.2. Perencanaan Muka Air Saluran

Aliran tidak normal yaitu aliran dengan kedalaman airnya berubah secara berangsur-angsur dari kedalaman tertentu ($>H$ normal) sampai kembali ke kedalaman air normal. Hal ini diakibatkan adanya pembendungan di bagian hulunya (kedalaman air di bagian hilirnya lebih besar dibandingkan dengan kedalaman air normal), misal adanya muka air laut pasang. Dengan adanya muka air laut pasang, maka akan terjadi efek *backwater* yang mengakibatkan muka air di

TINJAUAN PUSTAKA

saluran bertambah tinggi. Dalam perhitungan ini, metode yang dipakai untuk menghitung panjangnya pengaruh backwater atau menghitung kedalaman air pada jarak tertentu dari hilir salah satunya adalah metode tahapan standart / *standart step method*.



Gambar 3.18. Gradually Varied Flow.

Rumus kekekalan energi (Suripin, 2000) : $H_1 = H_2 + H_f$.

$$Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + S_f \Delta x$$

$$\Delta x = H_1 - H_2 / S_o - S_f \text{ rt.}$$

$$S_f \text{ rt} = (S_{f1} + S_{f2}) / 2$$

Di mana :

$$\frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = \text{tinggi kecepatan di hulu } (\alpha = 1)$$

$$\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = \text{tinggi kecepatan di hilir } (\alpha = 1)$$

$$H_1 = \text{tinggi energi di titik 1. (m)}$$

$$H_2 = \text{tinggi energi di titik 2. (m)}$$

$$Y_1 = \text{kedalaman air di potongan 1. (m)}$$

$$Y_2 = \text{kedalaman air di potongan 2. (m)}$$

$$Z_1 = \text{elevasi dasar sungai terhadap datum di titik 1. (m)}$$

$$Z_2 = \text{elevasi dasar sungai terhadap datum di titik 2. (m)}$$

TINJAUAN PUSTAKA

$h_e = 0$ (menurut hukum kekekalan energi).

$h_f = S_f \cdot \Delta x$

$S_o =$ kemiringan dasar saluran

$S_w =$ kemiringan muka air.

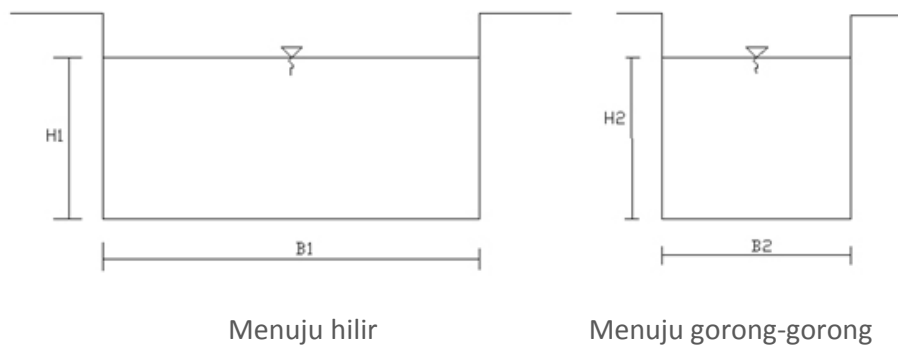
$S_f =$ kemiringan garis energi.

$\Delta x =$ panjang pengaruh *backwater*. (m)

3.6.3. Perencanaan Bangunan Pelimpah

Bangunan Pelimpah digunakan untuk membuang kelebihan air sungai pada saat banjir. Pada perencanaan Normalisasi Sungai Ciliwung ini, Bangunan Pelimpah digunakan untuk mengalirkan sebagian air Sungai Ciliwung ke gorong – gorong (*Deep Tunnel*).

Cara yang digunakan dalam perencanaan Pelimpah adalah perbandingan Lebar Ambang, antara Pelimpah dan Sungai Utama, serta debit yang ingin dialirkan. Rumus yang digunakan adalah :



$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{Q_1}{Q_2} \quad \Rightarrow \quad B_1 \times Q_2 = B_2 \times Q_1$$

- Lebar Efektif Pelimpah dihitung dengan Rumus :

$$B_e = B - 2(n \cdot K_p + K_a) \cdot H_e$$

TINJAUAN PUSTAKA

Dimana :

B_e = lebar efektif *pelimpah terjunan* (m)

B = lebar *terjunan* (m) = 13 m

K_p = koefisien kontraksi pilar = 0,01

K_a = koefisien kontraksi pangkal bendung (*abutment* segiempat) = 0,2

n = jumlah pilar = 2

H_e = tinggi energi (m)

- Perhitungan tinggi energi di atas mercu menggunakan rumus debit sungai dengan mercu bulat sebagai berikut :

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot g \cdot B_e \cdot H_e^{3/2}$$

Dimana :

Q = debit (m³/detik) = 150 m³/s

C_d = koefisien debit = $C_0 \cdot C_1 \cdot C_2$

- Untuk nilai C_0 = 1,3 (Konstanta) KP – 02 hal 49

- Untuk nilai C_1 = 1

- Untuk nilai C_2 = 1

g = percepatan gravitasi (m/det²)

B_e = lebar efektif mecu pelimpah (m)

H_e = tinggi energi di atas mercu pelimpah (m)

- Perhitungan Teknis Hidrolis, dihitung dengan rumus :

$$h + H_d + H_a = y_1 + \frac{v_1^2}{2g}$$

TINJAUAN PUSTAKA

- Perhitungan Froude Number (Fr), dihitung dari rumus:

$$Fr = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot y_1}}$$

- Kedalaman Loncat Hidrolis, dihitung dengan rumus:

$$d_2 = -\frac{d_1}{2} + \sqrt{\frac{d_1^2}{4} + \frac{2 \cdot V^2 \cdot d_1}{g}}$$

Atau

$$d_2 = -\frac{d_1}{2} + \sqrt{\frac{d_1^2}{4} + \frac{2 \cdot V^2 \cdot d_1^2}{g \cdot d_1}}$$

3.7. Stabilitas

3.7.1. 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. Akibat pengaruh kecepatan, aliran mampu menggerus talud dan dasar sungai. Aliran air sungai akan memberikan gaya seret (τ_0) pada penampang sungai yang besarnya adalah: $\tau = \rho_w \times g \times h \times l$ (2.52)

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

g = gaya gravitasi (m/d^2)

h = tinggi air (m)

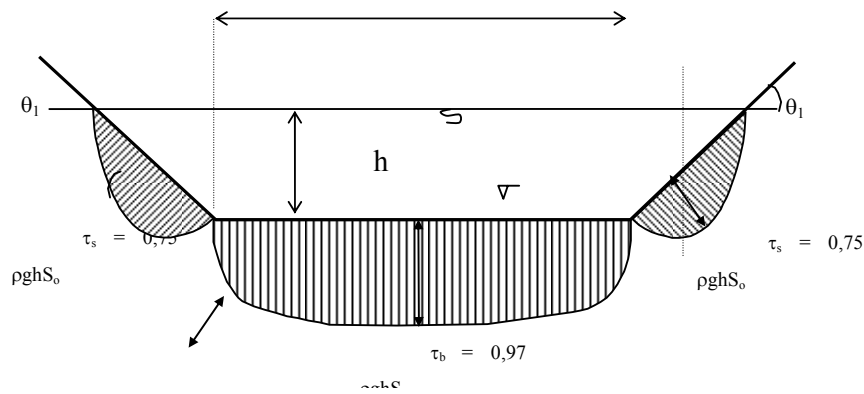
l = kemiringan alur dasar sungai

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

TINJAUAN PUSTAKA

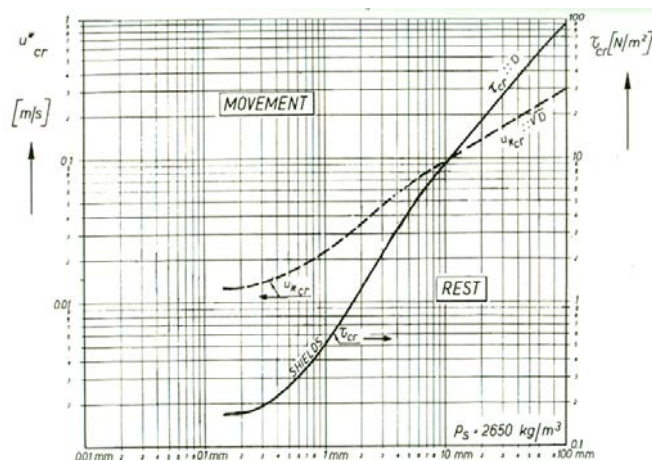
empat persegi panjang berdasarkan analogi *membrane* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.19.

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 3.20) dengan menggunakan data ukuran butiran tanah dasar sungai.



Gambar 3.19. Gaya Seret Satuan Maksimum

(Sumber : Kodoatie dan Sugiyanto, 2002)



Gambar 3.20. Grafik Shield

(Sumber : Ven Te Chow, 1985)

TINJAUAN PUSTAKA

1. Gaya seret pada dasar sungai

Besarnya gaya seret yang terjadi pada dasar sungai adalah:

$$\tau_b = 0,97 \times \rho_w \times g \times h \times I_b \quad \dots\dots\dots (2.53)$$

Di mana:

τ_b = gaya seret pada dasar sungai (N/m²)

ρ_w = rapat massa air (kg/m³)

g = gaya gravitasi (m/d²)

h = tinggi air (m)

I_b = kemiringan alur dasar sungai

Kecepatan aliran kritis didasar sungai terjadi pada saat $\tau_b = \tau_{cr.b}$.

Maka:

$$0,97 \times \rho_w \times g \times h \times I_b = \tau_{cr.b} \dots\dots\dots (2.54)$$

$$I_b = \frac{\tau_{cr.b}}{0,97 \times \rho_w \times g \times h} \dots\dots\dots (2.55)$$

$$V_{cr.b} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I_b^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.56)$$

Di mana:

$\tau_{cr.b}$ = gaya seret kritis pada dasar sungai (N/m²)

ρ_w = rapat massa air (kg/m³)

g = gaya gravitasi (m/d²)

h = tinggi air (m)

I_b = kemiringan alur dasar sungai

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

R = jari-jari hidrolis (m)

n = angka kekasaran manning (dapat dilihat kembali pada Tabel 3.13)

2. Gaya seret pada tebing sungai

Besarnya gaya seret yang terjadi pada tebing sungai adalah :

TINJAUAN PUSTAKA

$$\tau_s = 0,75 \times \rho_w \times g \times h \times I_s \dots\dots\dots(2.57)$$

Di mana:

τ_s = gaya seret pada tebing sungai (N/m²)

ρ_w = rapat massa air (kg/m³)

g = gaya gravitasi (m/d²)

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.

$$\tau_{cr,s} = K\beta \cdot \tau_{cr} \dots\dots\dots (2.58)$$

$$K_\beta = \cos\beta \sqrt{1 - \left(\frac{\text{tg}\beta}{\text{tg}\phi}\right)^2} \dots\dots\dots (2.59)$$

Di mana:

τ_{cr} = tegangan geser kritis

β = sudut lereng sungai (°)

ϕ = 30-40 (tergantung diameter butiran dari grafik pada Gambar 2.12)

Kecepatan aliran kritis didasar sungai terjadi pada saat $\tau_s = \tau_{cr.s}$ maka:

$$0,75 \times \rho_w \times g \times h \times I_s = \tau_{cr,s} \dots\dots\dots (2.60)$$

$$I_s = \frac{\tau_{cr,s}}{0,75 \times \rho_w \times g \times h} \dots\dots\dots (2.61)$$

$$V_{cr.s} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I_s^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.62)$$

Di mana:

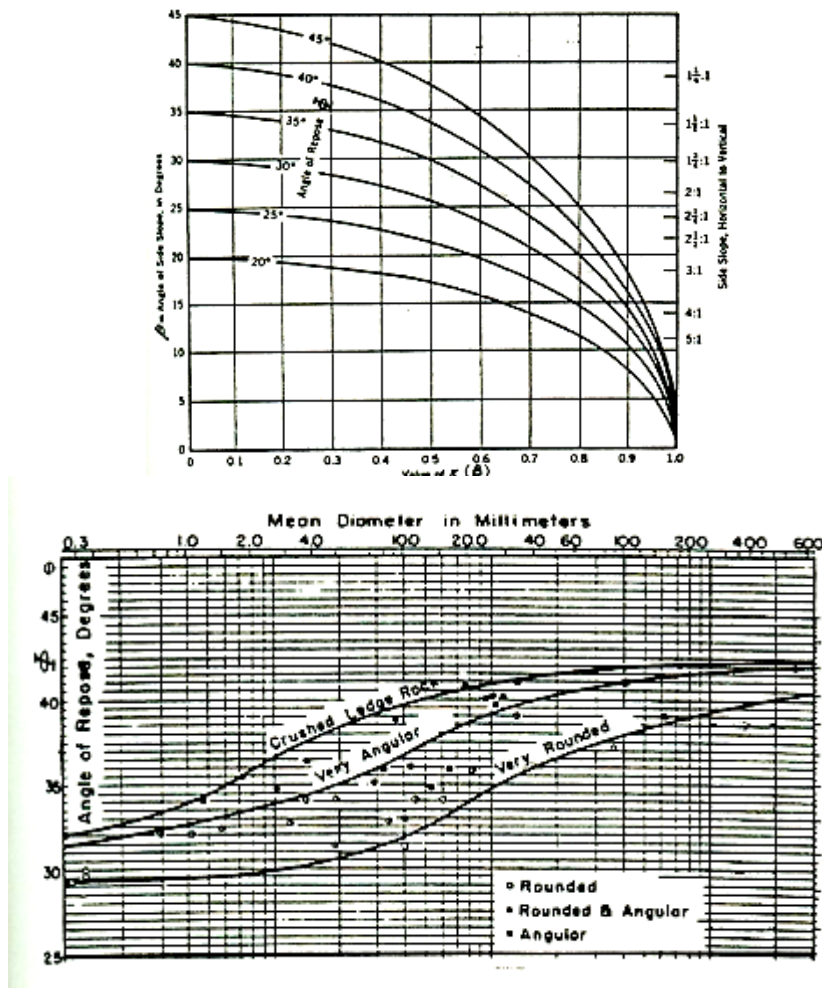
$\tau_{cr.s}$ = gaya seret kritis tebing sungai (N/m²)

ρ_w = rapat massa air (kg/m³)

TINJAUAN PUSTAKA

- g = gaya gravitasi (m/d^2)
 h = tinggi air (m)
 I_s = kemiringan alur dasar sungai
 $V_{cr,s}$ = kecepatan kritis (m/d)
 R = jari-jari hidrolik (m)
 n = angka kekasaran manning (dapat dilihat kembali pada Tabel 3.13.)

Grafik hubungan antara diameter butiran dan ϕ dapat dilihat pada Gambar 3.21.



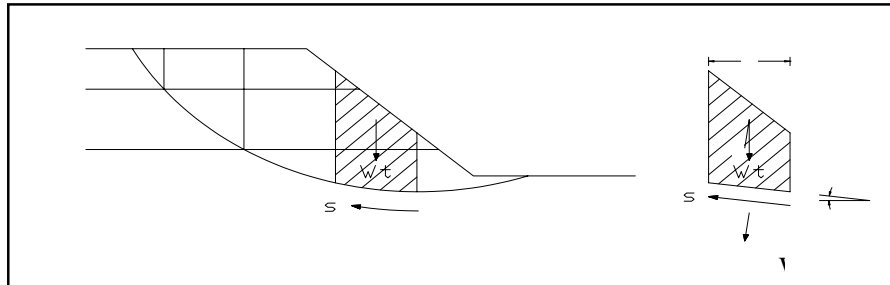
Gambar 3.21. Grafik Hubungan Antara Diameter Butiran dan ϕ

(Sumber : Ven Te Chow, 1985)

TINJAUAN PUSTAKA

3.7.2. Stabilitas Tanggul

Pada perhitungan stabilitas lereng tanggul lebih ditekankan apakah terjadi longsor baik di lereng bawah maupun di tanggulnya itu sendiri. Secara skematis gaya-gaya yang bekerja pada bidang longsor yang terbagi dalam beberapa segmen dapat dilihat pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22. Gaya yang Bekerja Pada Bidang Longsor

Faktor keamanan dari kemungkinan terjadinya longsor dapat diperoleh dengan menggunakan rumus keseimbangan sebagai berikut :

$$SF = \frac{\sum(C.L + N.\tan\phi)}{\sum T} > 1,5 \quad \dots\dots\dots (2.63)$$

Di mana :

- SF = faktor Keamanan
- N = beban komponen vertikal yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur ($= \gamma.A.\cos\alpha$)
- T = beban komponen tangensial yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur ($= \gamma.A.\sin\alpha$)
- C = angka kohesi bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang luncur
- ϕ = sudut gesekan dalam bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang luncur.
- γ = berat isi dari setiap bahan pembentuk irisan bidang luncur
- α = sudut kemiringan rata-rata dasar setiap irisan bidang luncur
- L = panjang busur bidang gelincir.