

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Pengendalian banjir merupakan suatu hal yang kompleks. Dimensi rekayasanya (*engineering*) melibatkan banyak disiplin ilmu teknik antara lain: hidrologi, hidrolika, teknik sungai, morfologi dan sedimentasi sungai, rekayasa sistem pengendalian banjir, sistem drainase kota, bangunan air dll. Di samping itu suksesnya program pengendalian banjir juga tergantung dari aspek non teknis yang menyangkut sosial, ekonomi, lingkungan, institusi, hukum, dll.

Pengendalian banjir merupakan bagian dari pengelolaan sumber daya air yang berfungsi untuk mengendalikan debit banjir, yang pada umumnya melalui dam-dam pengendali banjir atau peningkatan sistem pembawa (sungai, drainase) dan pencegahan terhadap hal-hal yang mampu memberikan dampak negatif terhadap pengelolaan tata guna lahan dan daerah banjir. (*Robert J. Kodoatie, "PSDA Terpadu"*)

Dalam perencanaan pengendalian banjir di DAS Bengawan Solo hilir ini, memerlukan tinjauan pustaka untuk mengetahui dasar-dasar teori yang menunjang didalam pengendalian banjir.

2.2. Banjir

2.2.1. Definisi Banjir

Banjir adalah suatu kondisi air yang tidak tertampung di dalam saluran pembuang (kali) atau aliran air akibat terhambatnya saluran pembuangan. (*Suripin, "Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan"*).

Dikatakan banjir apabila terjadi luapan air yang disebabkan kurangnya kapasitas penampang saluran. Banjir di bagian hulu memiliki arus banjir yang deras, daya gerusnya besar, tetapi durasinya pendek, sedangkan di bagian hilir arusnya tidak deras (karena landai) tetapi durasi banjirnya panjang.

Beberapa karakteristik yang berkaitan dengan banjir, diantaranya adalah :

1. Banjir dapat datang secara tiba-tiba dengan intensitas besar namun dapat langsung mengalir.
2. Pola banjirnya musiman.
3. Banjir datang secara perlahan namun dapat menjadi genangan yang lama di daerah depresi.

2.2.2. Penyebab Banjir

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

Banjir yang diakibatkan oleh sebab-sebab alami diantaranya adalah:

a. Curah hujan

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

b. Pengaruh Fisiografi

Fisiografi atau geografi fisik sungai seperti bentuk, fungsi dan kemiringan daerah pengaliran sungai (DPS), kemiringan sungai, geometrik

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Sudetan Kalitidu

hidrolik (bentuk penampang seperti lebar, kedalaman, potongan memanjang, material dasar sungai) dan lokasi sungai merupakan hal-hal yang mempengaruhi terjadinya banjir.

c. Erosi dan Sedimentasi

Erosi dan sedimentasi di DPS berpengaruh terhadap pengurangan kapasitas penampang sungai sehingga mampu mengakibatkan banjir dan genangan di wilayah aliran sungai. Erosi dan sedimentasi menjadi masalah klasik sungai-sungai di Indonesia.

d. Kapasitas sungai

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

e. 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*), seperti terjadi di Kota Semarang dan Jakarta. Genangan ini terjadi sepanjang tahun baik di musim hujan maupun di musim kemarau.

Banjir yang diakibatkan oleh tindakan manusia antara lain:

a. Perubahan Kondisi DPS (Daerah Pengaliran Sungai)

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

b. Kawasan kumuh

Perumahan kumuh yang terdapat di sepanjang sungai, dapat merupakan penghambat aliran. Masalah kawasan kumuh dikenal sebagai faktor penting terhadap masalah banjir daerah perkotaan.

c. Sampah

Gaya hidup masyarakat yang tidak membuang sampah pada tempatnya sebagai contoh membuang sampah langsung kesungai mampu meninggikan muka banjir karena aliran air tersumbat oleh sampah.

d. Drainase lahan

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

e. Bendung dan bangunan air

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

f. Kerusakan bangunan pengendali banjir

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

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

2.2.3. Daerah Genangan Air

Perubahan tata guna lahan yang mampu mengurangi daerah resapan (hutan) dan dilakukan secara tidak terkendali merupakan salah satu penyebab meningkatnya aliran permukaan (*run-off*) sehingga terjadi genangan air. Adapun penyebab lain dari timbulnya genangan air pada suatu wilayah adalah sebagai berikut:

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Sudetan Kalitidu

- a. Kapasitas saluran yang tidak memadai
- b. Lokasi merupakan daerah cekungan
- c. Kapasitas tampungan (retensi air) kurang besar
- d. Dimensi gorong-gorong terlalu kecil sehingga terjadi aliran balik
- e. Tersumbatnya saluran oleh endapan, sedimentasi atau timbunan sampah
- f. Terjadi penurunan tanah (*land-subsidence*)

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

Peningkatan genangan dan berkurangnya kapasitas saluran akibat perubahan tata guna lahan dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Ilustrasi perubahan debit akibat perubahan tata guna lahan

Laporan Tugas Akhir

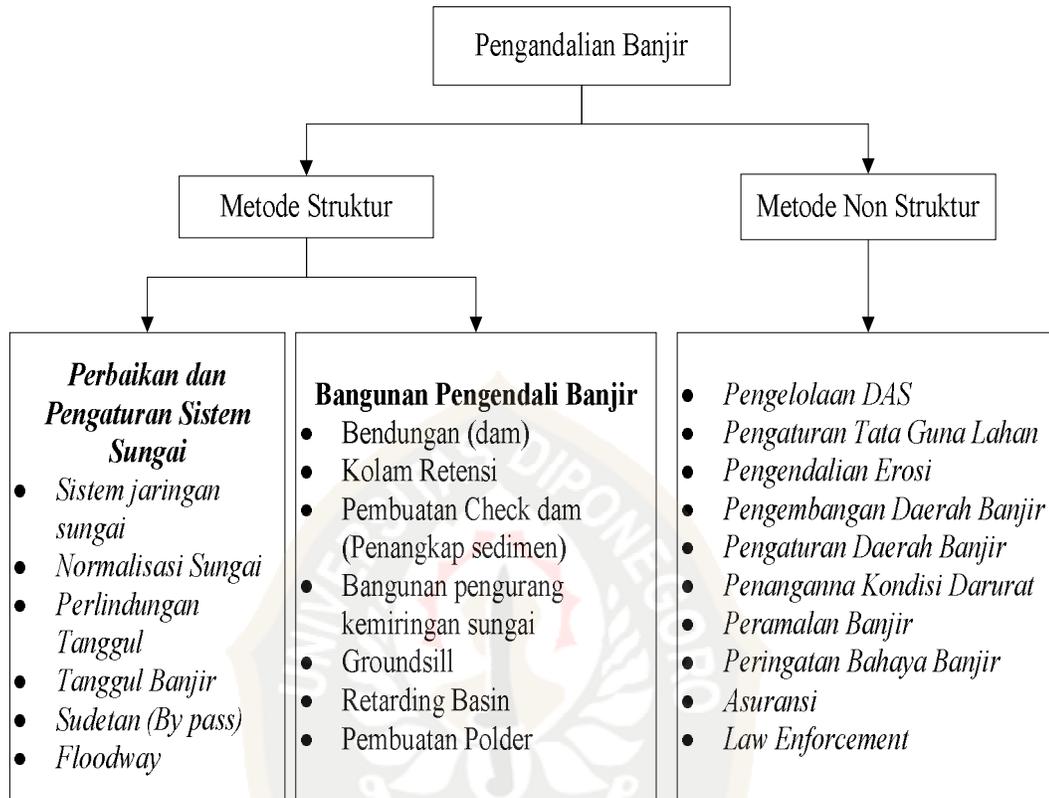
Perencanaan Sudetan Kalitidu

2.2.4. Kerugian Akibat Banjir

Kerugian akibat banjir baik secara langsung maupun tidak langsung pada umumnya sulit diidentifikasi secara jelas. Kerugian akibat banjir secara langsung, merupakan kerugian fisik misalnya robohnya gedung sekolah, industri, rusaknya sarana transportasi, hilangnya nyawa, hilangnya harta benda, kerusakan di pemukiman, kerusakan daerah pertanian dan peternakan, kerusakan sistem irigasi, sistem air bersih, sistem drainase, sistem kelistrikan, sistem pengendali banjir termasuk bangunannya, kerusakan sungai, dsb. Untuk kerugian akibat banjir secara tidak langsung misalnya komunikasi, pendidikan, kesehatan, kegiatan bisnis yang terganggu dsb.

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

Pengendalian banjir merupakan tindakan yang dilakukan guna mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh banjir. Sistem pengendalian banjir dapat dilakukan dengan berbagai cara mulai dari dari hulu sampai hilir. Cara pengendalian banjir dapat dilakukan secara struktur dan non struktur. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Diagram 2.1.



(Robert J.Kodoatie, "Banjir")

Diagram 2.1. Pengendalian Banjir Metode Struktur dan Non Struktur

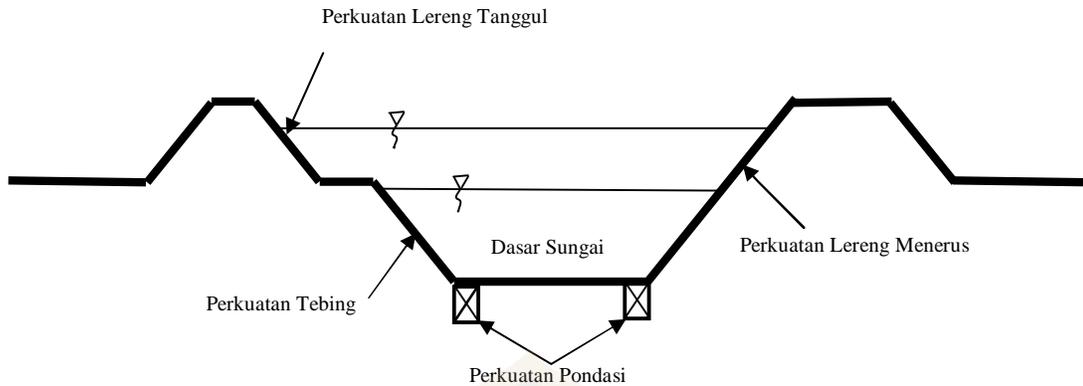
2.3. Pengertian Sungai

Sungai adalah tempat mengalirnya air yang berasal dari mata air maupun air hujan menuju tempat yang lebih rendah yaitu danau maupun laut. Dengan kata lain sungai dapat diartikan sebagai salah satu dari sumber daya alam yang bersifat mengalir (*flowing resources*) sehingga pemanfaatan air di hulu yang tak terkendali akan menghilangkan peluang pemanfaatan air di hilir (*opportunity value*), pencemaran di hulu akan menimbulkan biaya sosial di hilir (*externality effect*) dan pelestarian di hulu akan memberikan manfaat di hilir.

Menurut penampang melintangnya, sungai terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut seperti pada gambar 2.2.

Laporan Tugas Akhir

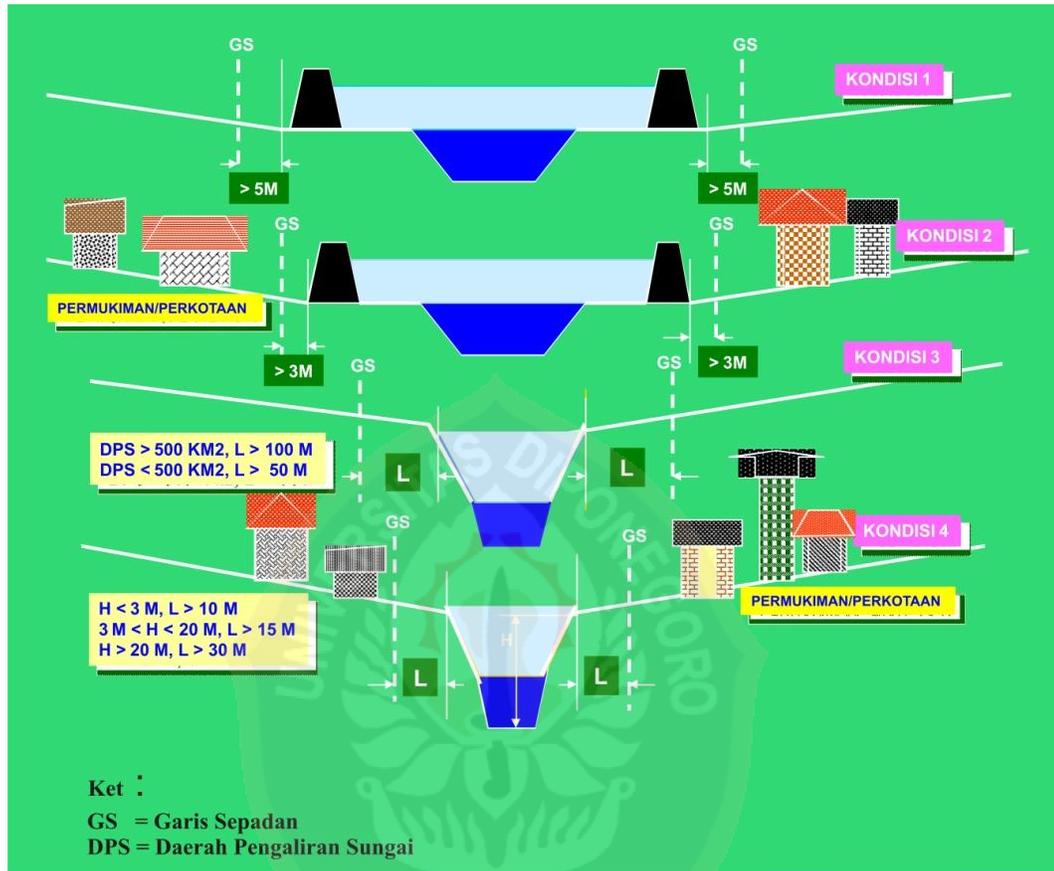
Perencanaan Sudetan Kalitidu



Gambar 2.2. Penampang Melintang Sungai (Saluran Ganda)

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

Sempadan Sungai = Daerah yang terletak di luar tanggul sungai dibatasi garis sempadan dengan kaki tanggul sebelah luar/antara garis sempadan dengan tebing sungai tertinggi untuk sungai tidak bertanggul. Adapun panjang sepadan sungai menurut Peraturan Menteri PU No. 63/1993 dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3. Panjang Sepadan sungai Menurut Permen PU No. 63/1993

2.3.1. Morfologi Sungai

Menurut letak geografis, karakteristik alur sungai terdiri atas :

a. Daerah Hulu (pegunungan)

Pada daerah hulu terutama di daerah pegunungan, sungai-sungainya memiliki kemiringan yang terjal (*steep slope*) dengan kemiringan 2 – 3% atau lebih. Dengan kemiringan yang terjal mampu menimbulkan kuat arus (*stream power*) besar sehingga debit aliran menjadi cukup besar. Bagian hulu ditandai dengan adanya erosi baik di DPS maupun erosi akibat penggerusan dasar sungai dan longsoran tebing. Material dasar sungai dapat berbentuk *boulder*/batu besar, kerakal, kerikil dan pasir. Bentuk sungai

didaerah ini adalah selampit/keping (*braider*) dan penampang melintang sungai umumnya berbentuk huruf V.

b. Daerah Transisi (batas pegunungan sampai daerah pantai)

Memiliki kemiringan dasar sungai kurang dari 2%. Dengan berkurangnya debit aliran yang disebabkan kelandaian, erosi yang terjadi berangsur-angsur menjadi kecil namun proses sedimentasi meningkat. Pengaruh sedimen mengakibatkan mengecilnya kapasitas sungai (pengurangan tampang lintang sungai). Material dasarnya relatif lebih halus dibandingkan dengan pada daerah pegunungan serta penampang melintang sungai umumnya berangsur-angsur berubah dari huruf V ke huruf U.

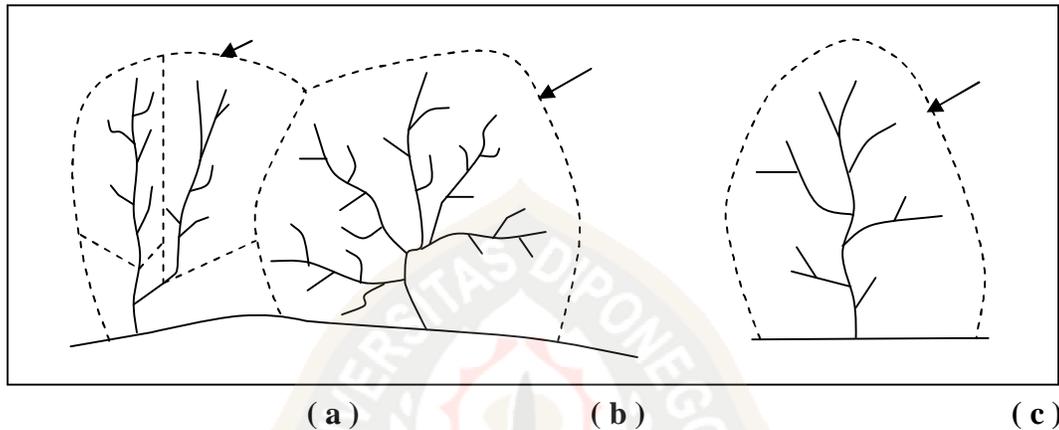
c. Daerah Hilir (dari batas transisi, daerah pantai dan berakhir dilaut (mulut sungai/*estuary*)).

Kemiringan daerah ini dari landai menjadi sangat landai bahkan ada bagian-bagian sungai yang berada didekat laut memiliki kemiringan dasar sungai hampir mendekati 0. Umumnya bentuk sungai menunjukkan pola yang berbentuk meander, sehingga akan menghambat aliran banjir. Proses sedimentasi lebih dominan terjadi dan material dasar sungainya lebih halus dibandingkan daerah–daerah yang lain.

Secara skematis, gambar 2.4a memperlihatkan 2 (dua) buah sungai yang mengalir ke laut. Sungai pada gambar 2.4a mempunyai 2 (dua) anak sungai yang mengalir bersama - sama dan bertemu setelah mendekati muara yang disebut sungai tipe sejajar.

Sebaliknya ada pula sungai–sungai yang anak sungainya mengalir menuju suatu titik pusat sungai pada gambar 2.4b yang disebut sungai tipe kipas. Ada pula tipe–tipe lainnya seperti tipe cabang pohon (lihat gambar 2.4c) yang mempunyai beberapa anak sungai yang mengalir ke sungai utama di kedua sisinya pada jarak–jarak tertentu.

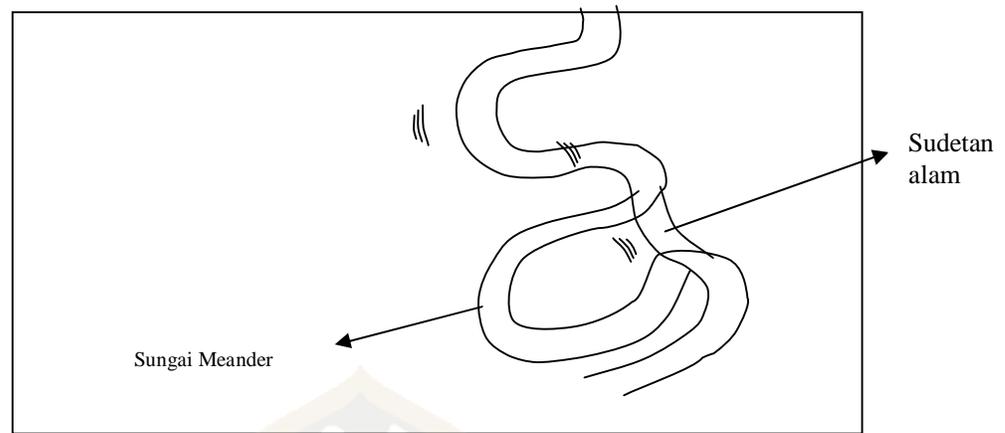
Dalam keadaan sesungguhnya, kebanyakan tidak sederhana sebagaimana uraian di atas, akan tetapi merupakan perpaduan dari ketiga tipe tersebut. (Suyono Sosrodarsono, “Perbaikan dan Pengaturan Sungai”)



Gambar 2.4. Daerah Aliran Sungai dan Pola Susunan Anak – Anak Sungai

2.3.2. Perilaku Sungai

Dengan terjadinya perubahan kemiringan yang mendadak pada saat alur sungai ke luar dari daerah pegunungan yang curam dan memasuki dataran yang lebih landai, maka pada lokasi ini terjadi proses pengendapan yang sangat intensif yang menyebabkan mudah berubahnya alur sungai. Pada lokasi tersebut sungai bertambah lebar dan dangkal, erosi dasar sungai tidak lagi dapat terjadi, bahkan sebaliknya terjadi pengendapan yang sangat intensif. Dasar sungai secara terus menerus naik, dan sedimen yang hanyut terbawa arus banjir, bersama dengan luapan air banjir tersebar dan mengendap secara luas membentuk dataran *alluvial*. Pada daerah dataran yang rata alur sungai tidak stabil dan apabila sungai mulai membelok, maka terjadilah erosi pada tebing belokan luar yang berlangsung secara intensif, sehingga terbentuklah meander seperti yang tertera pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Meander Sungai yang mengalami penyudetan secara alami

Meander semacam ini umumnya terjadi pada ruas-ruas sungai di dataran rendah dan apabila proses meander berlangsung terus, maka pada akhirnya terjadi sudetan alam pada dua belokan luar yang sudah sangat dekat dan terbentuklah sebuah danau. (Suyono Sosrodarsono, “Perbaikan dan Pengaturan Sungai”)

2.3.3. Regim Aliran Sungai

Regim sungai merupakan suatu kondisi sungai yang tetap dalam jangka waktu panjang sehingga apabila terjadi perubahan membutuhkan proses dan waktu yang panjang pula. Regim sungai ini dipengaruhi oleh karakteristik curah hujan, limpasan, kondisi debit, tinggi muka air dan kandungan sedimen. Hal-hal tersebut merupakan suatu pegangan didalam perencanaan persungai.

a. Karakteristik Curah Hujan

Data-data curah hujan didapatkan melalui stasiun pengukur curah hujan. Melalui data curah hujan ini dapat diketahui karakteristik curah hujan yang dinyatakan dalam bentuk curah hujan perjam, harian dan tahunan.

Dari data yang dicatat oleh alat-alat ukur curah hujan tersebut dapat diketahui curah hujan rata-rata diseluruh daerah yang diwakili oleh masing-

masing stasiun tersebut, yaitu dengan menggunakan metode perhitungan rata-rata aljabar, metode *Thiessen*, diagram *isohiet* dan sebagainya.

b. Limpasan

Didalam perencanaan persungaian, pada suatu lokasi sungai yang direncanakan dilakukan analisis perkiraan limpasan sungai yang dihasilkan oleh hujan yang turun di daerah pengaliran yang disebut analisis limpasan. Limpasan sungai umumnya dibagi menjadi komponen-komponen limpasan sebagai berikut:

1. Limpasan permukaan

Limpasan ini merupakan air hujan yang mengalir diatas permukaan tanah dan mengalir memasuki sungai.

2. Limpasan bawah permukaan

Limpasan ini merupakan air hujan yang merembes kedalam lapisan tanah, sebagian mengalir menembus lapisan tersebut dan sisanya masuk kesungai.

3. Limpasan air tanah.

Limpasan ini merupakan komponen yang meresap jauh ke tanah dan mengalir ke sungai sebagai air tanah.

4. Limpasan sungai

Limpasan ini merupakan air hujan yang langsung turun di atas permukaan daerah sungai dan biasanya termasuk juga limpasan permukaan.

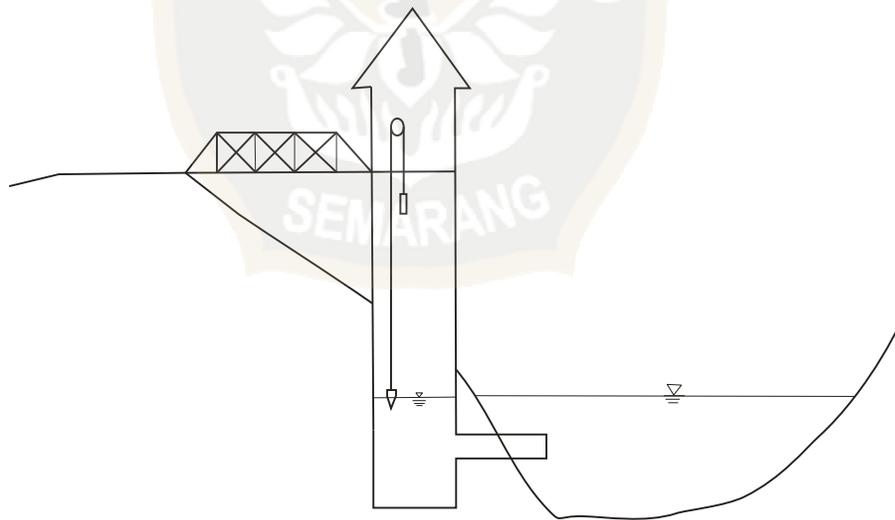
c. Elevasi Muka Air

Elevasi muka air pada suatu titik di sungai menunjukkan tinggi permukaan air sungai pada titik tersebut dan dinyatakan dengan tinggi

terhadap suatu datum referensi. Biasanya datum referensi ini adalah elevasi muka air rendah maksimum di muara sungai atau datum standar lainnya.

Untuk mengukur elevasi muka air, dipasang papan yang disebut "papan duga muka air" pada lokasi yang sesuai di suatu sungai dan elevasi muka air dapat dibaca dengan menggunakan skala yang tercantum pada papan duga tersebut.

Alat-alat sungai dipasang pada titik-titik yang penting guna perencanaan, pemeliharaan dan pelaksanaan pekerjaan sungai. Alat-alat ini tidak boleh dipasang pada lokasi yang arusnya deras, dasar sungainya berubah secara menyolok dan gelombangnya besar tetapi sebaliknya supaya dipasang pada lokasinya yang pemeliharaan dan eksploitasinya mudah atau yang disebut dengan penampang sungai yang stabil.



Gambar 2.6. Alat ukur muka air otomatis tipe pelampung

d. Debit Aliran

Debit aliran adalah volume air yang mengalir melalui suatu penampang dalam $m^3/detik$. Debit sungai diperoleh setelah mengukur kecepatan air dengan alat pengukur atau pelampung untuk mengetahui data

kecepatan aliran sungai dan kemudian mengalikannya dengan luas melintang (luas potongan lintang sungai) pada lokasi pengukuran kecepatan tersebut.

Jenis debit sungai dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Debit terendah merupakan debit terukur yang paling kecil selama 365 hari dalam satu tahun
2. Debit rendah (debit air terendah) merupakan debit terukur yang paling kecil selama 275 hari dalam satu tahun.
3. Debit air normal merupakan debit terukur yang paling kecil selama 185 hari dalam satu tahun.
4. Debit musim hujan merupakan debit terukur yang paling kecil selama 95 hari dalam satu tahun.

e. Hidrologi

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

Apabila besaran hidrologi yang periode ulangnya akan dihitung telah diselidiki dalam jangka waktu lama, fungsi kerapatan kemungkinan dapat diperoleh dari data observasi dan selanjutnya dapat dihitung periode ulang dan besaran hidrologi dengan kemungkinan T tahun. Didalam perencanaan persungaiannya harus digunakan rumus yang paling mendekati besaran hidrologi yang dipertimbangkan.

f. Kandungan Sedimen

Sungai tidak hanya mengalirkan air tetapi juga membawa sedimen yang terlarut didalam air. Sedimen yang hanyut oleh aliran air, dapat dibedakan menjadi endapan dasar (*bed load* – muatan dasar) dan muatan

melayang (*suspended load*). Muatan dasar bergerak dalam aliran air sungai dengan cara bergulir, meluncur dan meloncat–loncat di atas permukaan dasar sungai. Untuk muatan melayang terdiri dari butiran halus yang ukurannya lebih kecil dari 0,1 mm dan senantiasa melayang didalam aliran air. Baik muatan dasar maupun muatan melayang memberikan pengaruh terhadap dasar sungai dan bangunan air yang akan direncanakan. Muatan dasar mampu memberikan dampak terhadap dasar sungai yaitu dasar sungai mengalami kenaikan (*agradasi*) atau mengalami penurunan (*degradasi*). Sedangkan untuk muatan melayang berdampak menimbulkan pendangkalan pada waduk dan muara sungai yang ada. (Suyono Sosrodarsono, “Perbaikan dan Pengaturan Sungai”)

2.3.4. Peranan Sungai

Sungai mempunyai peranan yang sangat besar bagi perkembangan peradaban manusia, yakni menyediakan daerah subur, sumber air dan sarana transportasi. Di daerah pegunungan, air sungai digunakan untuk pembangkit tenaga listrik dan sebagai sumber air untuk kebutuhan irigasi, penyediaan air minum, kebutuhan industri, dan lain–lain. Selain itu sungai berguna pula sebagai tempat yang ideal untuk pariwisata, pengembangan perikanan, dan sarana lalu lintas sungai. Ruas–ruas sungai yang melintasi daerah permukiman yang padat biasanya dipelihara dengan sebaik–baiknya dan dimanfaatkan oleh penduduk sebagai ruang terbuka. Sungai–sungai berfungsi sebagai saluran pembuang dari air yang berasal dari selokan kota dan areal–areal pertanian. (Suyono Sosrodarsono, “Perbaikan dan Pengaturan Sungai”)

2.4. Sudetan (*Shortcut*)

Salah satu metode pengendalian banjir bagian struktur (Diagram 2.1.) adalah sudetan. Pada alur sungai yang berbelok-belok sangat kritis, sebaiknya dilakukan

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Sudetan Kalitidu

sudetan agar air banjir dapat mencapai bagian hilir atau laut dengan cepat, dengan mempertimbangkan alur sungai stabil. Hal ini dikarenakan jarak yang ditempuh oleh aliran air banjir tersebut menjadi lebih pendek, kemiringan sungai lebih curam dan kapasitas pengaliran bertambah.

Sudetan pada alur sungai *alluvial* yang bermeander dapat terjadi secara alamiah karena adanya pergerakan/pergeseran meander. Didalam perencanaan sudetan buatan diharapkan kesadaran dan pengertian para perencana, mengingat dengan dilakukanya sudetan berarti mengganggu keseimbangan yang ada, sehingga secara alamiah alur sungai cenderung kembali pada kondisi semula. Pada masa mencari atau mencapai keseimbangan baru tersebut, biasanya disertai dengan kerusakan-kerusakan yang tidak diinginkan dan diperkirakan sebelumnya. Hal ini terjadi pada sudetan yang tidak disertai dengan perencanaan alur sungai stabil dan pertimbangan terhadap proses yang akan timbul. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan sudetan adalah :

- a. Tujuan dilakukan sudetan
- b. Arah alur sungai sudetan (kondisi meander yang ada)
- c. Penampang sungai sudetan
- d. Usaha mempertahankan fungsi dari sudetan
- e. Pengaruh sudetan terhadap sungai secara keseluruhan, bangunan-bangunan pemanfaatan sumber daya air maupun bangunan fasilitas.
- f. Pengaruh penurunan muka air disebelah hulu sudetan terhadap lingkungan.
- g. Pengaruh berkurangnya fungsi retensi banjir.
- h. Tinjauan terhadap sosial ekonomi

Sedangkan tujuan dari sudetan sehubungan dengan pengendalian banjir adalah:

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Sudetan Kalitidu

1. Sungai yang berbelok–belok atau bermeander kritis adalah merupakan alur yang relatif tidak stabil, dengan adanya sudetan akan menjadi lebih baik.
2. Dengan adanya sudetan akan memercepat aliran air yang berasal dari hulu, sehingga daerah dibagian hulunya tidak terjadi limpasan pada saat penampang tidak mampu menampung debit banjir yang sering terjadi.

Pertimbangan–pertimbangan teknis didalam perencanaan adalah sebagai berikut:

a. Daerah Sudetan (Meander kritis)

Analisis yang dilakukan berkaitan dengan daerah sudetan adalah penentuan kondisi meander (kritis atau tidak) dengan memperhatikan parameter–parameter yang berkaitan yaitu L (panjang meander), R (jari–jari meander), a (amplitudo meander), Q (debit sungai), B (lebar sungai). Kondisi meander ini dapat ditentukan dengan memperhatikan biaya pemeliharaan sungai dengan mengetahui harga dari:

$$R / B < 10 \text{ adalah dalam kondisi kritis}$$

Maka berdasarkan analisis harga R / B tersebut dapat ditentukan daerah yang akan di sudet dengan memperhatikan efisiensi dan sistem sungai secara keseluruhan.

b. Perbaikan arah alur (jalur) sungai

Faktor non teknis juga merupakan faktor yang tidak kalah penting dari faktor teknis, faktor non teknis meliputi masalah sosial ekonomi misalnya pemilihan alur yang tidak melewati permukiman penduduk, situs sejarah dan lain–lain. Pertimbangan teknis dalam pembuatan sudetan meliputi pertimbangan terhadap rencana pola alur sungai stabil, terutama arah horisontal. Maka perlu dihindari adanya rencana alur sungai meander atau berbelok–belok, yang menyebabkan awal proses pergerakan meander sungai kearah tikungan luar. Apabila terpaksa harus berbelok–belok perlu dipertimbangkan terhadap alur sungai meander yang baik atau yang tidak kritis.

Umumnya pada suatu meander sungai, gerusan terjadi pada tikungan luar. Didalam perencanaan tikungan ini perlu diperhatikan faktor–faktor sebagai berikut:

- a. Arah aliran sungai pada tikungan diusahakan berbentuk kurva
- b. Hindari dua tikungan yang berhubungan langsung, harus ada alur transisi
- c. Perbandingan antara lebar sungai dan jari–jari meander lebih besar 20, ($B/R > 20$)
- d. Panjang alur transisi diantara dua tikungan adalah antara 2 – 3 lebar sungai
- e. Lebar sungai pada tikungan adalah antara 1,1 – 1,3 kali lebar sungai bagian lurus (VSTC, 1985)

1. Normalisasi Penampang Sungai

Normalisasi penampang sudetan meliputi penampang melintang dan penampang memanjang alur sudetan. Penampang melintang sungai harus dipertimbangkan terhadap pengaliran yang baik, angkutan sedimen, erosi maupun sedimentasi dan longsoran tebing, sedangkan penampang memanjang sungai harus stabil terhadap erosi maupun sedimentasi.

2. Profil memanjang dasar sungai

Pada alur sudetan biasanya mempunyai kemiringan yang cukup curam dibandingkan sebelum dilakukan sudetan sehingga dasar sungai harus stabil terhadap erosi maupun sedimentasi serta kadang–kadang diperlukan bangunan pengatur dasar sungai berupa *groundsill* (maksimum drop adalah 2 m)

3. Penampang melintang sungai

Bentuk penampang melintang sungai dapat direncanakan dengan penampang tunggal maupun ganda yang stabil dengan mempertimbangan bentuk hidrolis yang baik dan dapat mengalirkan debit desain. Penampang

melintang yang stabil maksudnya tidak mudah berubah dalam waktu yang cukup lama, maka perlu adanya analisis penampang terhadap erosi dan longsoran tebing.

4. Bangunan perkuatan / pengatur yang diperlukan

Bangunan perkuatan/pengatur yang diperlukan disepanjang alur sudetan, pada dasarnya untuk menstabilkan penampang melintang maupun pengatur dasar sungai (penampang memanjang). Maka bangunan yang diperlukan adalah :

5. Bangunan perkuatan tebing sungai

Bangunan perkuatan tebing sungai diperuntukkan pada tebing sungai yang tidak stabil, antara lain perkuatan tebing sungai terutama untuk tikungan luar pada sungai yang berkelok. Disamping itu untuk bagian alur sungai yang dasarnya belum stabil, ada kemungkinan adanya erosi yang mengakibatkan turunnya dasar sungai (agradasi dasar sungai).

6. Bangunan perkuatan dasar sungai

Pada bagian alur sungai sudetan akan terjadi kemiringan dasar sungai lebih curam dari kemiringan dasar sungai sebelumnya. Apabila kemiringan dasar sungai stabil (dari analisis) lebih kecil dari kemiringan dasar sungai sudetan, maka perlu dibuat bangunan pengatur/perkuatan dasar sungai. Bangunan perkuatan dasar sungai dapat berupa *ground sill* yang melintang dasar sungai. Bangunan ini dibuat dengan nilai maksimum dropnya 2 m.

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

2.5. Analisis 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.

2.5.1. Daerah Aliran sungai (DAS)

DAS adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktifitas daratan (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 03/PRT/M/2009). Konsep Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan dasar dari semua perencanaan hidrologi tersusun dari DAS-DAS kecil dan DAS kecil ini juga tersusun dari DAS-DAS yang lebih kecil lagi sehingga dapat didefinisikan sebagai suatu wilayah yang dibatasi oleh batas alam seperti punggung bukit-bukit atau gunung, maupun batas buatan seperti jalan atau tanggul dimana air hujan yang turun di wilayah tersebut memberi kontribusi aliran ke titik kontrol (*outlet*).

2.5.2. Curah Hujan Rencana

2.5.2.1. Curah Hujan Area

Data curah hujan dan debit merupakan data yang paling penting dalam perencanaan pembuatan sudetan. Penentuan lokasi dan peralatan baik curah hujan

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Sudetan Kalitidu

maupun debit merupakan faktor yang menentukan kualitas data yang diperoleh. Analisis data hujan dimaksudkan untuk mendapatkan besaran curah hujan dan analisis statistik yang diperhitungkan dalam perhitungan debit banjir rencana. Curah hujan yang diperlukan untuk pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan area/curah hujan DAS (*areal rainfall*) dan dinyatakan dalam mm (*Sosrodarsono, 2003*). Curah hujan area ini harus diperkirakan dari beberapa titik pengamatan curah hujan. Berikut metode perhitungan curah hujan area dari pengamatan curah hujan di beberapa titik :

a. Metode Rata-Rata Aljabar

Metode perhitungan dengan mengambil nilai rata-rata hitung (*arithmetic mean*) pengukuran curah hujan di stasiun hujan di dalam area tersebut dengan mengasumsikan bahwa semua stasiun hujan mempunyai pengaruh yang setara. Metode ini akan memberikan hasil yang dapat dipercaya jika topografi rata atau datar, stasiun hujan banyak dan tersebar secara merata di area tersebut serta hasil penakaran masing-masing stasiun hujan tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh stasiun hujan di seluruh area.

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{n} \dots\dots\dots (2.1)$$

Di mana :

- \bar{R} = curah hujan rata-rata DAS (mm)
- R1, R2, Rn = curah hujan pada setiap stasiun hujan (mm)
- n = banyaknya stasiun hujan

b. Metode Poligon Thiessen

Metode Poligon *Thiessen* merupakan metode yang sistem perhitungannya berdasarkan rata-rata timbang (*weighted average*). Metode

ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh stasiun hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh di bentuk 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 stasiun hujan tidak tersebar merata dan jumlahnya terbatas dibanding luasnya. 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 di pilih harus meliputi daerah aliran sungai yang akan dibangun. Besarnya koefisien *Thiessen* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (CD.Soemarto, 1999) :

$$C = \frac{A_i}{A_{total}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Di mana :

C = Koefisien *Thiessen*

A_i = Luas daerah pengaruh dari stasiun pengamatan i (km²)

A_{total} = Luas total dari DAS (km²)

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 didalamnya 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 :

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.3)$$

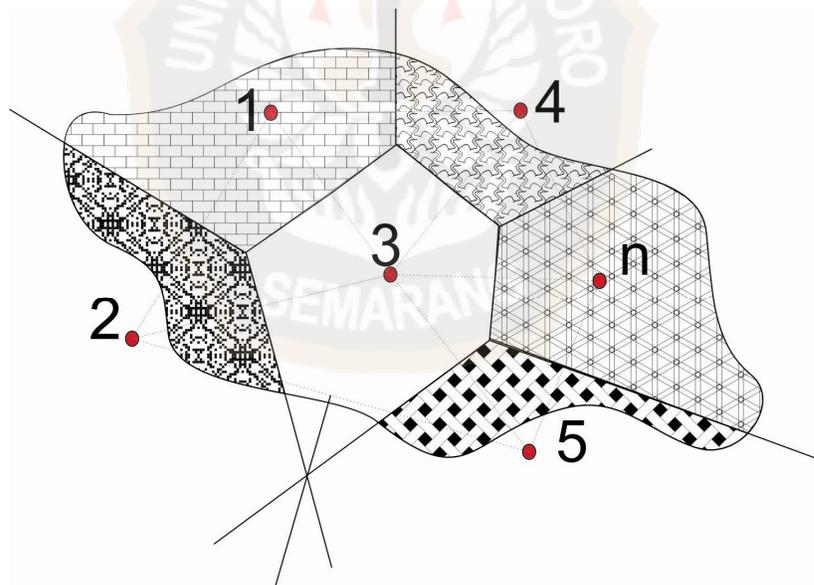
Di mana :

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

A^1, A^2, \dots, A^n = Luas daerah pengaruh dari setiap stasiun hujan (km²)

R^1, R^2, \dots, R^n = Curah hujan pada setiap stasiun hujan (mm)

n = Banyaknya stasiun hujan



Gambar 2.7. Metode Poligon Thiessen

c. Metode Rata-Rata Isohyet

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. Metode ini cocok untuk daerah berbukit dan tidak teratur (Suripin, 2004).

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 di pakai adalah 10 mm.
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 :

$$\bar{R} = \frac{\frac{R_1 + R_2}{2} A_1 + \frac{R_3 + R_4}{2} A_2 + \dots + \frac{R_n + R_{n-1}}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots (2.4)$$

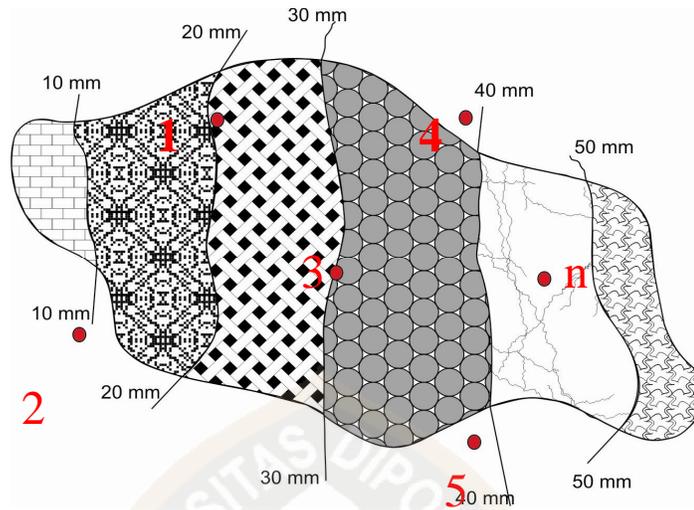
Di mana :

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

R1, R2,, Rn = Curah hujan di garis *Isohyet* (mm)

A1, A2,, An = Luas bagian yang dibatasi oleh *Isohyet-Isohyet* (km²)

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



Gambar 2.8. Metode Isohyet

2.5.2.2. Curah Hujan Maksimum Harian Rata – Rata

Metode/cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan hujan maksimum harian rata-rata DAS adalah sebagai berikut :

- Tentukan hujan maksimum harian pada tahun tertentu di salah satu pos hujan.
- Cari besarnya curah hujan pada tanggal-bulan-tahun yang sama untuk pos hujan yang lain.
- Hitung hujan DAS dengan salah satu cara yang dipilih.
- Tentukan hujan maksimum harian (seperti langkah 1) pada tahun yang sama untuk pos hujan yang lain.
- Ulangi langkah 2 dan 3 setiap tahun.

Dari hasil rata-rata yang diperoleh (sesuai dengan jumlah pos hujan) dipilih yang tertinggi setiap tahun. Data hujan yang terpilih setiap tahun merupakan hujan maksimum harian DAS untuk tahun yang bersangkutan (Suripin, 2004).

2.5.2.3. Perhitungan Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana digunakan untuk meramalkan besarnya hujan dengan periode ulang tertentu (Soewarno, 1995). Berdasarkan curah hujan rencana dapat dicari besarnya intensitas hujan (analisis frekuensi) yang digunakan untuk mencari debit banjir rencana. Analisis frekuensi ini dilakukan dengan menggunakan sebaran kemungkinan teori *probability distribution* dan yang biasa digunakan adalah sebaran *Gumbel type I*, sebaran *Pearson type III*, sebaran *Log Pearson type III*, sebaran Normal dan sebaran Log Normal. Secara sistematis metode analisis frekuensi perhitungan hujan rencana ini dilakukan secara berurutan sebagai berikut :

- a. Parameter statistik
 - b. Pemilihan jenis sebaran
 - c. Uji kecocokan sebaran
 - d. Perhitungan hujan rencana
- a. 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 20 tahun terakhir.

Nilai Rata – Rata

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \dots\dots\dots (2.5)$$

Di mana :

- \bar{X} = nilai rata-rata curah hujan
- X_i = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke-i
- n = jumlah data curah hujan

1. Standar Deviasi (Sd)

Ukuran sebaran yang paling banyak digunakan adalah standar deviasi. Apabila penyebaran sangat besar terhadap nilai rata-rata maka nilai Sd akan besar, akan tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka nilai Sd akan kecil. Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{X_i - \bar{X}\}^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Di mana :

- S_d = standar deviasi curah hujan
- \bar{X} = nilai rata-rata curah hujan
- X_i = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke-i
- n = jumlah data curah hujan

2. Koefisien variasi

Koefisien variasi (*coefficient of variation*) adalah nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata dari suatu sebaran. Koefisien variasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

$$Cv = \frac{S_d}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Di mana :

- Cv = koefisien variasi curah hujan
- S_d = standar deviasi curah hujan
- \bar{X} = nilai rata-rata curah hujan

3. Koefisien kemencengan

Koefisien kemencengan (*coefficient of skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan (*assymetry*) dari suatu bentuk distribusi. Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

$$\text{Untuk populasi : } C_s = \frac{\alpha}{\sigma^3} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\text{Untuk sampel : } C_s = \frac{a}{S_d^3} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^3 \dots\dots\dots (2.10)$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \dots\dots\dots (2.11)$$

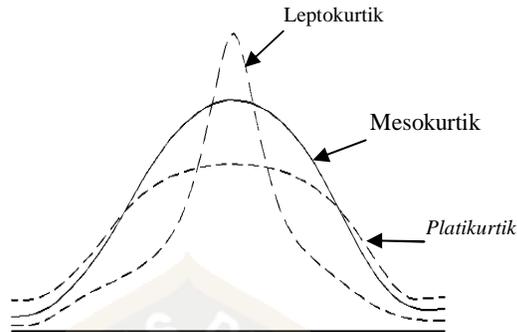
Di mana :

- C_s = koefisien kemencengan curah hujan
- σ = standar deviasi dari populasi curah hujan
- S_d = standar deviasi dari sampel 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

4. Koefisien *Kurtosis*

Koefisien *Kurtosis* adalah suatu nilai yang menunjukkan keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal yang mempunyai $C_k = 3$ yang dinamakan

mesokurtik, $C_k < 3$ berpuncak tajam yang dinamakan leptokurtik, sedangkan $C_k > 3$ berpuncak datar dinamakan platikurtik.



Gambar 2.9. Koefisien *Kurtosis*

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

$$C_k = \frac{MA(4)}{S_d^4} \dots\dots\dots (2.12)$$

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 :

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S_d^4} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dan untuk data yang sudah dikelompokkan

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 f_i}{S_d^4} \dots\dots\dots (2.14)$$

Di mana :

C_k = Koefisien *Kurtosis* curah hujan

N = jumlah data curah hujan

X_i = curah hujan ke i

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

f_i = nilai frekuensi variat ke i

S_d = standar deviasi

b. Pemilihan Jenis Sebaran

Masing-masing sebaran memiliki sifat-sifat khas sehingga harus di uji kesesuaiannya dengan sifat statistik masing-masing sebaran tersebut. Pemilihan sebaran yang tidak benar dapat mengundang kesalahan perkiraan yang cukup besar. Pengambilan sebaran secara sembarang tanpa pengujian data hidrologi sangat tidak dianjurkan. Penentuan jenis sebaran yang akan digunakan untuk analisis frekuensi dapat menggunakan beberapa cara sebagai berikut.

1. Tabel pedoman pemilihan jenis sebaran
2. Sebaran *Gumbel Type I*
3. Sebaran *Pearson Type III*
4. Sebaran *Log Pearson Type III*
5. Sebaran Normal
6. Sebaran Log Normal

1. Tabel pemilihan jenis sebaran

Tabel pemilihan merupakan suatu acuan atau suatu syarat guna menentukan jenis sebaran secara lebih atau dini disamping uji kecocokan sebaran yang akan dibahas pada sub bab selanjutnya. Nilai-nilai yang tertera didalam Tabel 2.1. merupakan nilai berdasarkan uji coba secara empiris dari setiap penguji, sehingga setiap buku acuan yang ada memiliki syarat-syarat yang berbeda satu sama lain. Adapun pemilihan jenis sebaran berdasarkan tabel

dibawah, menggunakan pemilihan nilai (perhitungan) yang paling mendekati syarat yang telah ada.

Tabel 2.1. Pedoman Pemilihan Sebaran

Jenis Sebaran	Syarat`
Normal	$Cs \approx 0$
	$Ck \approx 3$
Gumbel Type I	$Cs \leq 1,14$
	$Ck \leq 5,4$
Pearson Type III & Log Pearson Type III	$Cs \neq 0$
	$Ck \approx 1,5Cs^2+3$
Log normal	$Cs \approx 3Cv + Cv^3$
	$Cv \approx 0$

(Sutiono, dkk)

2. Sebaran Gumbel Tipe 1

Digunakan untuk analisis data maksimum, misal untuk analisis frekuensi banjir. Untuk menghitung curah hujan rencana dengan metode sebaran Gumbel Type I digunakan persamaan distribusi frekuensi empiris sebagai berikut (CD.Soemarto, 1999) :

$$X = \bar{X} + \frac{S}{Sn}(Y_T - Y_n) \dots\dots\dots (2.15)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Hubungan antara periode ulang T dengan YT dapat di hitung dengan rumus :

untuk $T \geq 20$, maka :

$$Y = \ln T \dots\dots\dots (2.17)$$

$$Y = -\ln \left[-\ln \frac{T-1}{T} \right] \dots\dots\dots (2.18)$$

Di mana :

XT = nilai hujan rencana dengan data ukur T tahun.

\bar{X} = nilai rata-rata hujan

S = standar deviasi (simpangan baku)

YT = nilai reduksi variat (*reduced variate*) dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang T tahun. Tabel 2.4.

Y_n = nilai rata-rata dari reduksi variat (reduce mean) nilainya tergantung dari jumlah data (n). Tabel 2.2.

S_n = deviasi standar dari reduksi variat (*reduced standard deviation*) nilainya tergantung dari jumlah data (n). Tabel 2.3.

Tabel 2.2. *Reduced mean (Y_n) untuk Metode Sebaran Gumbel Type 1*

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5300	0,5820	0,5882	0,5343	0,5353
30	0,5363	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5400	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5463	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5468	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600									

Tabel 2.3. *Reduced Standard Deviation (S_n) untuk Metode Sebaran Gumbel Type 1*

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	10,095	10,206	10,316	10,411	10,493	10,565
20	10,628	10,696	10,754	10,811	10,864	10,315	10,961	11,004	11,047	11,080
30	11,124	11,159	11,193	11,226	11,255	11,285	11,313	11,339	11,363	11,388
40	11,413	11,436	11,458	11,480	11,499	11,519	11,538	11,557	11,574	11,590
50	11,607	11,923	11,638	11,658	11,667	11,681	11,696	11,708	11,721	11,734

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Sudetan Kalitidu

Tabel 2.3. Lanjutan

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	11,747	11,759	11,770	11,782	11,793	11,803	11,814	11,824	11,834	11,844
70	11,854	11,863	11,873	11,881	11,890	11,898	11,906	11,915	11,923	11,930
80	11,938	11,945	11,953	11,959	11,967	11,973	11,980	11,987	11,994	12,001
90	12,007	12,013	12,026	12,032	12,038	12,044	12,046	12,049	12,055	12,060
100	12,065									

(CD.Soemarto,1999)

Tabel 2.4. *Reduced Variate* (Y_T) untuk Metode Sebaran *Gumbel Type 1*

Periode Ulang (Tahun)	<i>Reduced Variate</i>
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
20	2,9606
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001
200	5,2960
500	6,2140
1000	6,9190
5000	8,5390
10000	9,9210

(CD.Soemarto,1999)

3. Sebaran *Pearson Type III*

Distribusi *Pearson Type III* sering disebut dengan Distribusi Gamma. Distribusi ini akan membentuk garis lengkung apabila digambarkan pada kertas peluang normal. Adapun persamaanya adalah sebagai berikut:

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Sudetan Kalitidu

$$X = \bar{X} + K.S \dots\dots\dots(2.19)$$

Di mana :

X = Data Curah Hujan

\bar{X} = Rata – rata Curah Hujan

K = Faktor sifat dari distribusi *Pearson Type III* yang merupakan fungsi dari besarnya CS dan peluang yang dapat dilihat dari Tabel.2.5

Tabel 2.5. Nilai k Distribusi *Pearson type III* dan Log *Pearson type III*

Koefisien Kemencengan (Cs)	Periode Ulang Tahun							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,360	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,652	6,600
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-0,132	0,780	1,336	2,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	2,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-0,099	0,800	1,328	2,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	2,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	2,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	2,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	2,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	2,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	2,761	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	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,488	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910

-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625

Tabel 2.5. Lanjutan

Koefisien Kemencengan (Cs)	Periode Ulang Tahun							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
-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	0,035	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
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

(Soewarno, 1995)

4. Sebaran Log-Pearson Type III

Digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrim. Bentuk sebaran Log-Pearson type III merupakan hasil transformasi dari sebaran Pearson type III dengan menggantikan variat menjadi nilai logaritmik. Metode Log-Pearson type 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) :

$$Y = \bar{Y} + K.S \dots\dots\dots (2.20)$$

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 :

Mengubah data curah hujan sebanyak n buah $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ menjadi $\log(X_1), \log(X_2), \log(X_3), \dots, \log(X_n)$.

Menghitung harga rata-ratanya dengan rumus :

$$\overline{\log(X)} = \frac{\sum_{i=1}^n \log(X_i)}{n} \dots\dots\dots (2.21)$$

Di mana :

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

n = jumlah data

X_i = nilai curah hujan tiap-tiap tahun (R24 maks)

Menghitung harga standar deviasinya dengan rumus berikut :

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \overline{\log(X)}\}^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.22)$$

Di mana :

Sd = standar deviasi

Menghitung Koefisien *Skewness* (Cs) dengan rumus :

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \overline{\log(X)}\}^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \dots\dots\dots (2.23)$$

Di mana :

Cs = Koefisien *Skewness*

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

$$\text{Log}(X_T) = \overline{\log(X)} + K \cdot Sd \dots\dots\dots (2.24)$$

Di mana :

X_T = curah hujan rencana periode ulang T tahun

K = harga yang diperoleh berdasarkan nilai Cs

Menghitung Koefisien *Kurtosis* (Ck) dengan rumus :

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{\log(Xi) - \overline{\log(X)}\}^4}{Sd^4} \dots\dots\dots (2.25)$$

Di mana :

Ck = koefisien *Kurtosis*

Menghitung koefisien variasi (Cv) dengan rumus :

$$Cv = \frac{Sd}{\log(X)} \dots\dots\dots (2.26)$$

Di mana :

Cv = koefisien variasi

Sd = standar deviasi

5. Sebaran Normal

Sebaran ini sering digunakan dalam analisis hidrologi seperti analisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi rata-rata curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan dan sebagainya. Sebaran normal juga sering disebut dengan sebaran *Gauss*.

Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$X = \bar{X} + K.S \dots\dots\dots(2.27)$$

Di mana:

X = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan besar peluang tertentu atau pada periode ulang tertentu

\bar{X} = Nilai rata-rata curah hujan

K = Nilai Variabel Reduksi *Gauss* pada Tabel 2.6

S = Standar Deviasi

Tabel 2.6. Nilai Variabel Reduksi *Gauss*

Periode Ulang T (tahun)	Peluang	k
-------------------------	---------	---

1,001	0,999	-3,05
-------	-------	-------

Tabel 2.6. Lanjutan

Periode Ulang T (tahun)	Peluang	k
1,005	0,995	-2,58
1,010	0,990	-2,33
1,050	0,950	-1,64
1,110	0,900	-1,28
1,250	0,800	-0,84
1,330	0,750	-0,67
1,430	0,700	-0,52
1,670	0,600	-0,25
2,000	0,500	0
2,500	0,400	0,25
3,330	0,300	0,52
4,000	0,250	0,67
5,000	0,200	0,84
10,000	0,100	1,28
20,000	0,050	1,64
50,000	0,200	2,05
100,000	0,010	2,33
200,000	0,005	2,58
500,000	0,002	2,88
1000,000	0,001	3,09

(Soewarno, 1995)

6. Sebaran Log Normal

Sebaran log normal merupakan hasil transformasi dari sebaran normal, yaitu dengan mengubah nilai variat X menjadi nilai logaritmik variat X. Sebaran Log *Pearson* III akan menjadi sebaran log normal apabila nilai koefisien kemencengan $C_s = 0,00$. Metode log normal apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan sebagai berikut (Soewarno, 1995):

$$Y = \bar{Y} + K.S \dots\dots\dots (2.28)$$

Di mana :

- Y = Nilai Logaritmik nilai X atau Log X.
- \bar{Y} = Rata-rata nilai Y
- S = Standar Deviasi nilai Y
- K = Nilai Variabel Reduksi *Gauss* pada Tabel 2.6.

c. Uji Kecocokan Sebaran

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).

1. Uji Kecocokan *Chi-Square*

Uji kecocokan *Chi-Square* dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan sebaran peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang di analisis didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut atau dengan membandingkan nilai *Chi-Square* (χ^2) dengan nilai *Chi-Square* kritis (χ^2_{cr}). Uji kecocokan *Chi-Square* menggunakan rumus (Soewarno, 1995):

$$\chi_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (2.27)$$

Di mana :

- χ_h^2 = harga *Chi-Square* terhitung
- O_i = jumlah data yang teramati terdapat pada sub kelompok ke-i
- E_i = jumlah data yang secara teoritis terdapat pada sub kelompok ke-i
- G = jumlah sub kelompok

Parameter χ_h^2 merupakan variabel acak. Peluang untuk mencapai nilai χ_h^2 sama atau lebih besar dari pada nilai *Chi-Square* yang sebenarnya (χ^2). Suatu distrisbusi dikatakan selaras jika nilai χ^2 hitung $< \chi^2$ kritis. Nilai χ^2 kritis dapat dilihat di Tabel 2.8. Dari hasil pengamatan yang diperoleh, dicari penyimpangannya dengan *Chi-Square* kritis paling kecil. Untuk suatu nilai nyata tertentu (level of significant) yang sering diambil adalah 5 %.

Prosedur uji kecocokan *Chi-Square* adalah :

1. Urutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau sebaliknya).
2. Kelompokkan data menjadi G *sub-group*, tiap-tiap *sub-group* minimal terdapat lima buah data pengamatan.

3. Hitung jumlah pengamatan yang teramati di dalam tiap-tiap *sub-group* (O_i).
4. Hitung jumlah atau banyaknya data yang secara teoritis ada di tiap-tiap *sub-group* (E_i).
5. Tiap-tiap *sub-group* hitung nilai :
 $(O_i - E_i)$ dan $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ (2.29)
6. Jumlah seluruh G *sub-group* nilai $\sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk menentukan nilai *Chi-Square* hitung.
7. Tentukan derajat kebebasan $dk = G - R - 1$ (nilai $R=2$, untuk distribusi normal dan binomial, dan nilai $R=1$, untuk distribusi *Poisson*) (Soewarno, 1995).

Derajat kebebasan yang digunakan pada perhitungan ini adalah dengan rumus sebagai berikut :

$$Dk = n - 3 \dots\dots\dots (2.30)$$

Di mana :

Dk = derajat kebebasan

n = banyaknya data

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut :

1. Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
2. Apabila peluang lebih kecil dari 1%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan tidak dapat diterima.

Apabila peluang lebih kecil dari 1%-5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, misal perlu penambahan

Tabel 2.7. Nilai χ^2 kritis untuk uji kecocokan *Chi-Square*

dk	α Derajat kepercayaan
----	------------------------------

	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	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	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750

Tabel 2.7. Lanjutan

dk	α Derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
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	33,409	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	31,41	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	41,683	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	11,808	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

(CD.Soemarto,1999)

2. Uji Kecocokan *Smirnov-Kolmogorof*

Uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorof* dilakukan dengan membandingkan probabilitas untuk tiap-tiap variabel dari distribusi empiris dan teoritis diperoleh 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}).

Rumus yang di pakai (Soewarno, 1995)

$$\alpha = \frac{P_{\max} - P_{(xi)}}{P_{(x)} \Delta_{Cr}} \dots\dots\dots (2.31)$$

Prosedur uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorof* adalah :

1. Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya nilai masing-masing data tersebut :

- $X_1 \rightarrow P(X_1)$
- $X_2 \rightarrow P(X_2)$
- $X_m \rightarrow P(X_m)$
- $X_n \rightarrow P(X_n)$

2. Tentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya) atau dapat dilihat pada Tabel 2.9.:

- $X1 \rightarrow P'(X1)$
- $X2 \rightarrow P'(X2)$
- $Xm \rightarrow P'(Xm)$
- $Xn \rightarrow P'(Xn)$

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

$$D = \text{maksimum} [P(X_m) - P'(X_m)] \dots\dots\dots (2.32)$$

4. Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov – Kolmogorof test*), tentukan harga D_0 (Tabel 2.8.).

Tabel 2.8. Nilai D_0 kritis untuk uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorof*

Jumlah data N	α derajat kepercayaan			
	0,20	0,10	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
n>50	1,07/n	1,22/n	1,36/n	1,63/n

(Soewarno,1995)

Dimana α = derajat kepercayaan

Tabel 2.9. Wilayah Luas Di bawah Kurva Normal

1	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
-3,4	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002
-3,3	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003
-3,2	0,0007	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005
-3,1	0,0010	0,0009	0,0009	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007
-3,0	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010
-2,9	0,0019	0,0018	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Sudetan Kalitidu

-2,8	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019
-2,7	0,0036	0,0034	0,0033	0,0032	0,0030	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
-2,6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0040	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
-2,5	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
-2,4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
-2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0094	0,0089	0,0087	0,0084
-2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110

Tabel 2.9. Lanjutan

1	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
-2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
-2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
-1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
-1,8	0,0359	0,0352	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
-1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
-1,6	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
-1,5	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
-1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0722	0,0708	0,0694	0,0681
-1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
-1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
-1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
-1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
-0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
-0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
-0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
-0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
-0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
-0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
-0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
-0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
-0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
0,0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,0	0,5000	0,50470	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852

0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8505	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9278	0,9292	0,9306	0,9319

Tabel 2.9. Lanjutan

1	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9541	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9891	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9896	0,9901	0,999904	0,999906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

(CD.Soemarto,1999)

2.5.2.4. 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.

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Sudetan Kalitidu

Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau.

Rumus-rumus yang dapat dipakai :

a. Menurut Dr. Mononobe

Jika data curah hujan yang ada hanya curah hujan harian. Rumus yang digunakan (*sosrodarsono, 2003*) :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left[\frac{24}{t} \right]^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (2.33)$$

Di mana :

- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- t = lamanya curah hujan (jam)
- R₂₄ = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

b. Menurut Sherman

Rumus yang digunakan (*Soemarto, 1999*) :

$$I = \frac{a}{t^b} \dots\dots\dots (2.34)$$

$$\log a = \frac{\sum_{i=1}^n (\log(i)) \sum_{i=1}^n (\log(t))^2 - \sum_{i=1}^n (\log(t) \cdot \log(i)) \sum_{i=1}^n (\log(t))}{n \sum_{i=1}^n (\log(t))^2 - \left(\sum_{i=1}^n (\log(t)) \right)^2} \dots (2.35)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (\log(i)) \sum_{i=1}^n (\log(t)) - n \sum_{i=1}^n (\log(t) \cdot \log(i))}{n \sum_{i=1}^n (\log(t))^2 - \left(\sum_{i=1}^n (\log(t)) \right)^2} \dots\dots\dots (2.36)$$

Di mana :

- I = intensitas curah hujan (mm/jam)
- t = lamanya curah hujan (menit)

a,b = konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang terjadi di daerah aliran.

n = banyaknya pasangan data i dan t.

c. Menurut Talbot

Rumus yang di pakai (Soemarto, 1999) :

$$I = \frac{a}{(t + b)} \dots\dots\dots(2.37)$$

$$A = \frac{\sum_{j=1}^n (i.t) \sum_{j=1}^n (i^2) - \sum_{j=1}^n (i^2.t) \sum_{i=1}^n (i)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2} \dots\dots\dots (2.38)$$

$$B = \frac{\sum_{j=1}^n (i) \sum_{j=1}^n (i.t) - n \sum_{j=1}^n (i^2.t)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2} \dots\dots\dots (2.39)$$

Di mana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (menit)

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

n = banyaknya pasangan data i dan t

d. Menurut Ishiguro

Rumus yang digunakan (Soemarto, 1999) :

$$I = \frac{a}{\sqrt{t + b}} \dots\dots\dots (2.40)$$

$$a = \frac{\sum_{j=1}^n (i \cdot \sqrt{t}) \sum_{j=1}^n (i^2) - \sum_{j=1}^n (i^2 \cdot \sqrt{t}) \sum_{j=1}^n (i)}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2} \dots\dots\dots (2.41)$$

$$b = \frac{\sum_{j=1}^n (i) \sum_{j=1}^n (i \cdot \sqrt{t}) - n \sum_{j=1}^n (i^2 \cdot \sqrt{t})}{n \sum_{j=1}^n (i^2) - \left[\sum_{j=1}^n (i) \right]^2} \dots\dots\dots (2.42)$$

Di mana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (menit)

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

n = banyaknya pasangan data i dan t

2.5.3. Debit Banjir Rencana

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

a. Metode *Der Weduwen*

Metode *Der Weduwen* digunakan untuk luas DAS $\leq 100 \text{ km}^2$ dan t = 1/6 jam sampai 12 jam digunakan rumus (*Loebis, 1987*) :

$$Qt = \alpha \cdot \beta \cdot q_n A \dots\dots\dots (2.43)$$

$$t = 0,25LQ_t^{-0,125} I^{-0,25} \dots\dots\dots (2.44)$$

$$\beta = \frac{120 + ((t + 1)(t + 9))A}{120 + A} \dots\dots\dots (2.45)$$

$$\dots\dots\dots (2.46)$$

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{\beta q_n + 7} \dots\dots\dots (2.47)$$

Di mana :

- Qt = Debit banjir rencana (m³/det)
- Rn = Curah hujan maksimum (mm/hari) dengan kemungkinan tak terpenuhi n%
- α = Koefisien pengaliran atau limpasan (*run off*) air hujan
- β = Koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS
- qⁿ = Debit persatuan luas atau curah hujan dari hasil perhitungan Rn (m³/det.km²)
- t = Waktu konsentrasi (jam)
- A = Luas daerah pengaliran (km²) sampai 100 km²
- L = Panjang sungai (km)
- I = Gradien sungai atau medan

b. Metode Haspers

Untuk menghitung besarnya debit dengan metode *Haspers* digunakan persamaan sebagai berikut (*Loebis, 1987*) :

$$Qt = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A \dots\dots\dots (2.48)$$

Koefisien *Run off* (α)

$$\alpha = \frac{1 + 0.012 f^{0.7}}{1 + 0.75 f^{0.7}} \dots\dots\dots (2.49)$$

Koefisien Reduksi (β)

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3.7 \times 10^{-0.4t}}{t^2 + 15} \times \frac{f^{3/4}}{12} \dots\dots\dots (2.50)$$

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Sudetan Kalitidu

Waktu konsentrasi (t)

$$t = 0.1 L^{0.8} I^{-0.3} \dots\dots\dots (2.51)$$

Di mana :

f = luas *ellips* yang mengelilingi DPS dengan sumbu panjang tidak lebih dari 1,5 kali sumbu pendek (km²)

t = waktu konsentrasi (jam)

L = Panjang sungai (Km)

I = kemiringan rata-rata sungai

Intensitas Hujan

Untuk t < 2 jam

$$R_t = \frac{tR_{24}}{t+1-0.0008 \cdot (260-R_{24})(2-t)^2} \dots\dots\dots (2.52)$$

Untuk 2 jam ≤ t <= 19 jam

$$R_t = \frac{tR_{24}}{t+1} \dots\dots\dots (2.53)$$

Untuk 19 jam ≤ t ≤ 30 jam

$$R_t = 0.707 R_{24} \sqrt{t+1} \dots\dots\dots (2.54)$$

Di mana t dalam jam dan R_t, R₂₄ (mm)

Hujan maksimum (qⁿ)

$$q_n = \frac{Rn}{3,6 \cdot t} \dots\dots\dots (2.55)$$

Di mana :

t = Waktu konsentrasi (jam)

Q_t = Debit banjir rencana (m³/det)

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Sudetan Kalitidu

R_n = Curah hujan maksimum (mm/hari)

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

Adapun langkah-langkah dalam menghitung debit puncaknya adalah sebagai berikut (Loebis, 1987) :

- a. Menentukan besarnya curah hujan sehari (R_h rencana) untuk periode ulang rencana yang dipilih.
 - b. Menentukan koefisien *run off* untuk daerah aliran sungai.
 - c. Menghitung luas daerah pengaliran, panjang sungai dan gradien sungai untuk DAS.
 - d. Menghitung nilai waktu konsentrasi.
 - e. Menghitung koefisien reduksi, intensitas hujan, debit persatuan luas dan debit rencana.
- c. Metode FSR Jawa dan Sumatra

Pada tahun 1982-1983, IOH (*Institute of Hydrology*), Wallingford, Oxon, Inggris bersama-sama dengan DPMA (Direktorat Penyelidikan Masalah Air) telah melaksanakan penelitian untuk menghitung debit puncak banjir yang diharapkan terjadi pada peluang atau periode ulang tertentu berdasarkan ketersediaan data debit banjir dengan cara analisis statistik untuk Jawa dan Sumatra. Untuk mendapatkan debit banjir puncak banjir pada periode ulang tertentu, maka dapat dikelompokkan menjadi dua tahap perhitungan, yaitu :

1. Perhitungan debit puncak banjir tahunan rata-rata (*mean annual flood* (MAF))
2. Penggunaan faktor pembesar (*Growth factor* (GF)) terhadap nilai MAF untuk menghitung debit puncak banjir sesuai dengan periode ulang yang diinginkan.

Perkiraan debit puncak banjir tahunan rata-rata, berdasarkan ketersediaan data dari suatu DPS, dengan ketentuan :

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Sudetan Kalitidu

1. Apabila tersedia data debit, minimal 10 tahun data runtut waktu maka, MAF dihitung berdasarkan data serial debit puncak banjir tahunan.
2. Apabila tersedia data debit kurang dari 10 tahun data runtut waktu, maka MAF dihitung berdasarkan metode puncak banjir di atas ambang (*Peak over a threshold* = POT).
3. Apabila dari DPS tersebut, belum tersedia data debit, maka MAF ditentukan dengan persamaan regresi, berdasarkan data luas DPS (*AREA*), rata-rata tahunan dari curah hujan terbesar dalam satu hari (*APBAR*), kemiringan sungai (*SIMS*), dan indeks dari luas genangan seperti luas danau, genangan air, waduk (*LAKE*).

$$Q_T = GF.(T.AREA) \times MAF \text{ (m}^3\text{/dtk)} \dots\dots\dots (2.56)$$

$$MAF = \frac{8}{10^6} (AREA)^V \times (APBAR)^{2.445} \times SIMS^{0.117} \times (1 + LAKE)^{-0.85} \text{ (2.57)}$$

$$V = 1.02 - 0.0275 \cdot \log(AREA) \dots\dots\dots (2.58)$$

$$SIMS = \frac{H}{MSL} \text{ (m/km)} \dots\dots\dots (2.59)$$

$$APBAR = PBAR \times ARF \text{ (mm)} \dots\dots\dots (2.60)$$

Di mana :

AREA = Luas DAS.(km²)

PBAR = Hujan terpusat rerata maksimum tahunan selama 24 jam. (mm), dicari dari peta *Isohyet*.

APBAR = Hujan rerata maksimum tahunan yang mewakili DAS selama 24 jam.(mm)

ARF = Faktor reduksi.

MSL = Jarak terjauh dari tempat pengamatan sampai hulu sungai.(Km)

SIMS = Indeks kemiringan

- LAKE = Indeks danau (0 s/d 0.25).
 MAF = Debit rerata maximum tahunan.(m³/det)
 QT = Debit rancangan. (m³/det)
 GF = *Growth faktor*

Tabel 2.10. *Growth faktor* (GF)

Periode Ulang	Luas DAS (Km ²)					
	<160	300	600	900	1200	>1500
5	1.26	1.27	1.24	1.22	1.19	1.17
10	1.56	1.54	1.48	1.44	1.41	1.37
20	1.88	1.88	1.75	1.70	1.64	1.59
50	2.35	2.30	2.18	2.10	2.03	1.95
100	2.75	2.72	2.57	2.47	2.67	2.27
200	3.27	3.20	3.01	2.89	2.78	2.66
500	4.01	3.92	3.70	3.56	3.41	3.27
1000	4.68	4.58	4.32	4.16	4.01	3.85

(Joesron Loebis,1987)

d. Metode 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 hidrometernya (Soemarto, 1999). Cara ini dikembangkan oleh Synder pada tahun 1938 yang memanfaatkan parameter DAS untuk memperoleh hidrograf satuan sintetik. Hal tersebut didasarkan pada pemikiran bahwa pengalirragaman hujan menjadi aliran baik pengaruh translasi maupun tampungannya dipengaruhi oleh sistem DASnya. Hidrograf satuan Sintetik Gama I dibentuk oleh empat variabel pokok yaitu waktu naik (TR), debit puncak (Qp), waktu dasar (TB) dan koefisien tampungan (k) (Sri Harto,1993).

Kurva naik merupakan garis lurus, sedangkan kurva turun dibentuk oleh persamaan sebagai berikut :

SIM = faktor simetri ditetapkan sebagai hasil kali antara faktor lebar (*WF*) dengan luas relatif DAS sebelah hulu (*RUA*)

WF = faktor lebar adalah perbandingan antara lebar DAS yang diukur dari titik di sungai yang berjarak 0,75 L dan lebar DAS yang diukur dari titik yang berjarak 0,25 L dari tempat pengukuran, lihat Gambar 2.11

Debit puncak (*Q_p*)

$$Q_p = 0,1836A^{0,5886} \cdot TR^{-0,4008} \cdot JN^{0,5886} \dots\dots\dots (2.62)$$

Di mana :

Q_p = debit puncak (m³/det)

JN = jumlah pertemuan sungai yaitu jumlah seluruh pertemuan sungai di dalam DAS

T_R = waktu naik (jam)

A = luas DAS (km²).

Waktu dasar (*T_B*)

$$T_B = 27,4132 \cdot TR^{0,1457} \cdot S^{-0,0986} \cdot SN^{0,7344} \cdot RUA^{0,2574} \dots\dots\dots (2.63)$$

Di mana :

T_B = waktu dasar (jam)

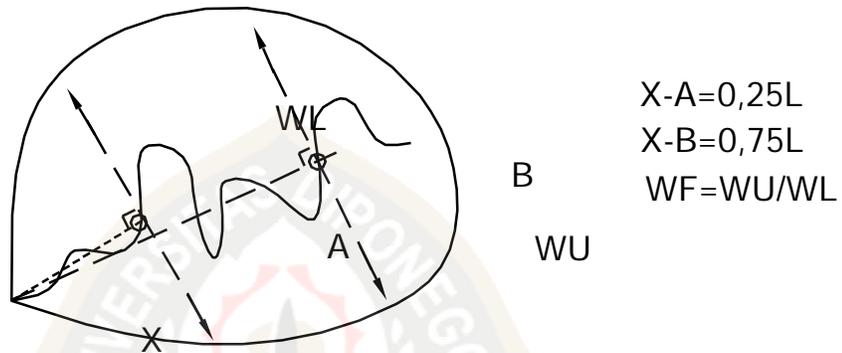
T_R = waktu naik (jam)

S = landai sungai rata-rata

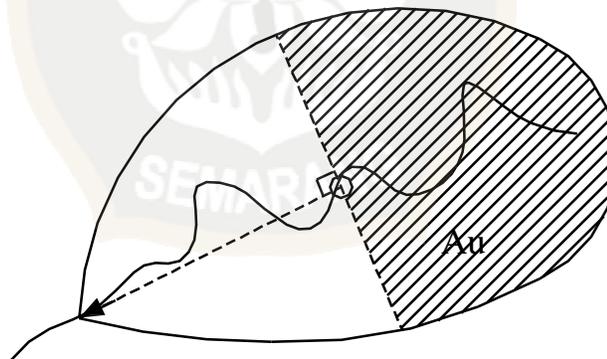
SN = nilai sumber adalah perbandingan antara jumlah segmen sungai-sungai tingkat 1(satu) dengan jumlah sungai semua tingkat untuk penetapan tingkat sungai

RUA = luas DAS sebelah hulu (km²), yaitu perbandingan antara luas DAS yang di ukur di hulu garis yang

ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun hidrometri dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS (A_u), dengan luas seluruh DAS, lihat Gambar 2. 12



Gambar 2.11. Sketsa Penetapan WF



$$RUA = Au/A$$

Gambar 2.12. Sketsa Penetapan RUA

Di mana :

WU = Lebar DAS diukur di titik sungai berjarak 0,75 L dari titik kontrol (km)

WL = Lebar DAS diukur di titik sungai berjarak 0,25 L dari titik kontrol (km)

- A = Luas Daerah Aliran Sungai (km²)
AU = Luas Daerah Aliran Sungai di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara titik kontrol dengan titik dalam sungai, dekat titik berat DAS (km²)
H = Beda tinggi antar titik terjauh sungai dengan titik kontrol (m)
WF = WU/ WL
RUA = AU /DAS
SN = Jml L1/L
= Nilai banding antara jumlah segmen sungai tingkat satu dengan jumlah segmen sungai semua tingkat
= Kerapatan jaringan
= Nilai banding panjang sungai dan luas DAS
JN = Jumlah pertemuan anak sungai di dalam DAS
Koefisien tampungan(k)

$$k = 0,5617.A^{0,1798} .S^{-0,1446} .SF^{-1,0897} .D^{0,0452} \dots\dots\dots(2.64)$$

Di mana :

- A = Luas Daerah Aliran Sungai (km²)
S = Kemiringan Rata-rata sungai diukur dari titik kontrol
SF = Faktor sumber yaitu nilai banding antara panjang sungai tingkat satu dan jumlah panjang sungai semua tingkat
D = Jml L/DAS

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

1. Penetapan hujan efektif untuk memperoleh *hidrograf* di lakukan dengan menggunakan indeks-infiltrasi. Ø indeks adalah menunjukkan laju kehilangan air hujan akibat *depression*

storage, infiltrasi dan sebagainya. Untuk memperoleh indeks ini agak sulit, untuk itu dipergunakan pendekatan tertentu (Barnes, 1959). Perkiraan dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh parameter DAS yang secara hidrologi dapat diketahui pengaruhnya terhadap indeks infiltrasi (Sri Harto, 1993):

Persamaan pendekatannya adalah sebagai berikut :

$$\Phi = 10,4903 - 3,859 \times 10^{-6} \cdot A^2 + 1,6985 \times 10^{-13} (A/SN)^4 \dots\dots\dots (2.65)$$

2. Untuk memperkirakan aliran dasar digunakan persamaan pendekatan berikut ini. Persamaan ini merupakan pendekatan untuk aliran dasar yang tetap, besarnya dapat dihitung dengan rumus :

$$Q_b = 0,4751 \cdot A^{0,6444} \cdot D^{0,9430} \dots\dots\dots (2.66)$$

Di mana :

Q_b = aliran dasar

A = luas DAS (km²)

D = kerapatan jaringan kuras (*drainage density*) atau indeks kerapatan sungai yaitu perbandingan jumlah panjang sungai semua tingkat dibagi dengan luas DAS

e. Perhitungan Debit Banjir Melalui Data AWLR (*Automatic Water Level Recorder*)

Selain metode–metode diatas adapula perhitungan debit rencana melalui data AWLR pada penampang sungai yang ditinjau. Pengambilan data dapat dilakukan secara *automatic* maupun manual pada stasiun yang telah ditentukan yang bisanya berupa penampang mantap dan tidak terjadi limpasan saat muka air tinggi. Untuk peninjauan secara *automatic*, hasil pencatatan tinggi muka air langsung dikirim menuju komputer utama yang

berada di kantor atau tempat tertentu secara otomatis. Sedangkan pencatatan secara manual dilakukan oleh para *staff* pada waktu-waktu tertentu.

Guna perencanaan dan pelaksanaan persungai, ada beberapa jenis sebutan elevasi muka air sungai yaitu:

1. Elevasi air rata-rata : jumlah angka muka air yang tercatat selama periode tertentu dibagi jumlah observasi. Observasi ini dapat dinyatakan dalam bulanan, tahunan, 2 tahunan, 3 tahunan dan sebagainya.
2. Elevasi air tinggi rata-rata : angka rata-rata dari semua elevasi muka air yang lebih tinggi dari muka air rata-rata.
3. Elevasi air rendah rata-rata : nilai rata-rata dari semua elevasi muka air yang lebih rendah dari muka air rata-rata
4. Elevasi muka air tinggi dan muka air rendah : muka air tinggi adalah muka air diatas muka air rata-rata dan muka air rendah adalah muka air dibawah muka air rata-rata.
5. Elevasi air normal : elevasi muka air yang letaknya di bawah setengah elevasi muka air yang terjadi selama periode tertentu, akan tetapi lebih tinggi dari setengah sisi muka elevasi air tersebut.
6. Elevasi air maksimum tahunan air rata-rata : angka rata-rata elevasi muka air maksimum tahunan selama beberapa tahun.
7. Elevasi muka air minimum tahunan rata-rata : angka rata-rata elevasi muka air minimum tahunan selama beberapa tahun.
8. Elevasi muka air terendah : muka air terendah dari semua muka air yang terukur selama 365 hari dalam setahun.

Perhitungan debit rencana melalui AWLR merupakan perhitungan yang lebih efektif dari pada perhitungan debit rencana yang berasal dari data curah hujan. Kesalahan-kesalahan yang mampu dikurangi antara lain:

1. Kesalahan penentuan area DAS.
2. Kesalahan perhitungan luasan DAS
3. Ketidakakuratan pengukuran curah hujan
4. Kondisi stasiun hujan
5. Perhitungan curah hujan rencana
6. Dan lain-lain

Perhitungan debit rencana dilakukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini

$$Q_{Banjir} = \frac{1}{n} * I^{1/2} * R^{2/3} * A \dots\dots\dots (2.67)$$

Di mana:

- Q = Debit aliran (m^3/s)
- A = Luas Penampang Basah (m^2)
- n = Koefisien kekasaran manning
- R = Keliling basah (m)
- I = Kemiringan hidraulik sungai

2.6. Perencanaan Teknis

2.6.1. Perencanaan Penampang Sungai Rencana

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

Faktor yang harus diperhatikan dalam mendesain bentuk penampang melintang sungai rencana adalah perbandingan antara debit dominan dan debit banjir.

2.6.2.1. Perhitungan Dimensi Penampang

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

$$Q_{Banjir} = A * V \dots\dots\dots (2.68)$$

$$V = \frac{1}{n} * I^{1/2} * R^{2/3} \dots\dots\dots (2.69)$$

$$Q_{Banjir} = \frac{1}{n} * I^{1/2} * R^{2/3} * A \dots\dots\dots (2.70)$$

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

Berdasarkan rumus di atas diketahui bahwa kapasitas penampang di pengaruhi oleh kekasaran penampang. Hal ini dapat dilihat dari koefisien bentuk kekasaran penampang yang telah ditetapkan oleh *Manning* seperti terlihat pada tabel berikut :

Tabel 2.11. Koefisien kekasaran sungai alam

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

(*Suyono Sosrodarsono, 1984*)

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

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

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (2.71)$$

$$P = B + 2H\sqrt{(1+m^2)} \dots\dots\dots (2.72)$$

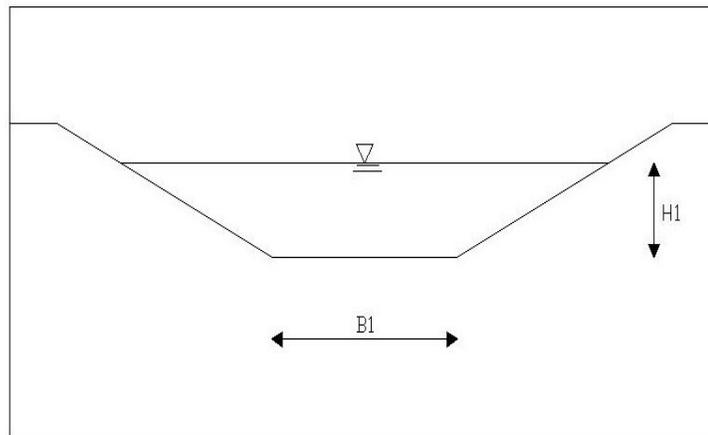
$$A = H \times (B + mH) \dots\dots\dots (2.73)$$

$$A = \frac{Q}{V} \dots\dots\dots (2.74)$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.75)$$

Di mana :

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



Gambar 2.13. Saluran Penampang Tunggal

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

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

$$B_1 = B_3 \dots\dots\dots(2.77)$$

$$n_1 = n_3 \dots\dots\dots(2.78)$$

$$A_1 = A_3 = \frac{1}{2} H_2 \times (B_1 + mH_2) \dots\dots\dots(2.79)$$

$$P = P_1 = B_1 + H_2 \times \sqrt{(1 + m^2)} \dots\dots\dots(2.80)$$

$$R_1 = R_3 = \frac{A_1}{P_1} \dots\dots\dots(2.81)$$

$$V_1 = V_3 = \frac{1}{n_1} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.82)$$

$$Q_1 = Q_3 = A_1 \times V_1 \dots\dots\dots(2.83)$$

$$A_2 = \frac{1}{2} H_1 \times (B_2 + mH_1) + H_2 \times (B_2 + mH_2) \dots\dots\dots(2.84)$$

$$P_2 = B_2 + 2H_1 \times \sqrt{(1 + m^2)} \dots\dots\dots(2.85)$$

$$R_2 = \frac{A_2}{P_2} \dots\dots\dots(2.86)$$

$$V_2 = \frac{1}{n_2} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.87)$$

$$Q_2 = A_2 \times V_2 \dots\dots\dots(2.88)$$

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots\dots\dots(2.89)$$

Di mana :

Q = Debit aliran (m^3/s)

A = Luas Penampang Basah (m^2)

V = Kecepatan aliran (m/s)

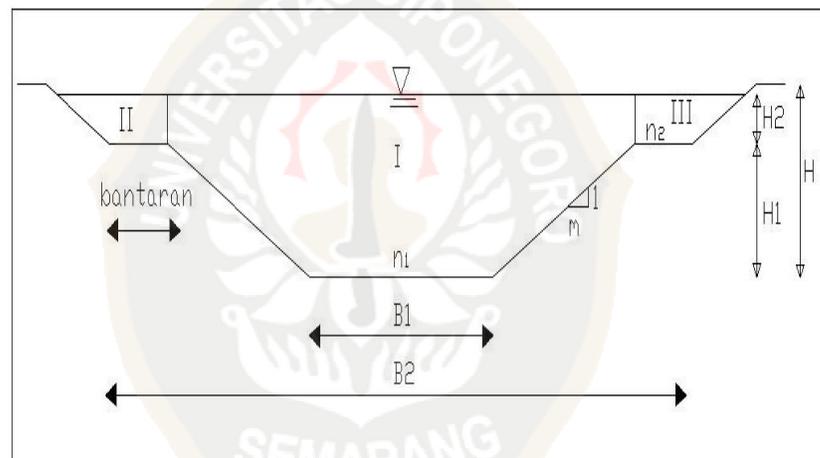
n = Koefisien kekasaran manning

R = Keliling basah (m)

P = Keliling basah sungai (m)

I = Kemiringan hidraulik sungai

m = Kemiringan talud



Gambar 2.14. Saluran Penampang Ganda

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

Untuk merencanakan dimensi penampang diperlukan tinggi jagaan. Hal-hal yang mempengaruhi besarnya nilai tinggi jagaan adalah penimbunan sedimen di dalam saluran, berkurangnya efisiensi hidraulik karena tumbuhnya tanaman, penurunan tebing, dan kelebihan jumlah aliran selama terjadinya hujan. Besarnya tinggi jagaan dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12. Hubungan Debit – Tinggi jagaan

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

(Suyono Sosrodarsono, “ Perbaikan dan Pengaturan banjir “)

2.6.2.2. Stabilitas Alur

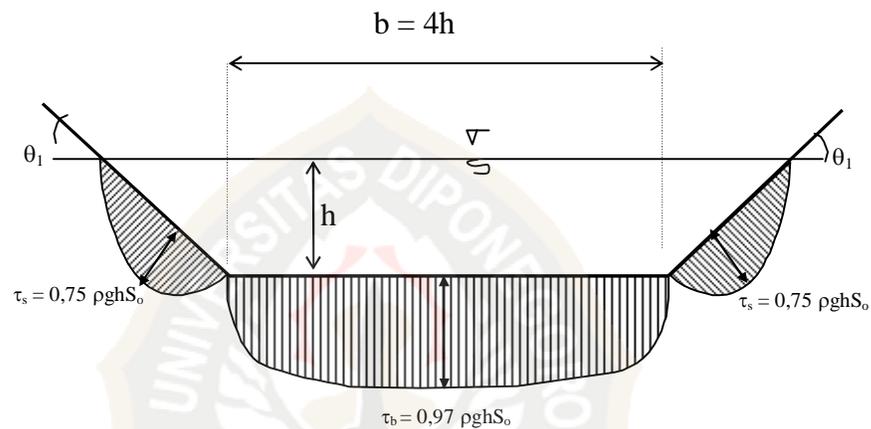
Bila air mengalir dalam sebuah saluran, maka pada dasar saluran akan timbul suatu gaya bekerja searah dengan arah aliran. Gaya ini yang merupakan gaya tarik pada penampang basah disebut gaya seret (*tractive force*).

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: $\tau = \rho_w \times g \times h \times I$ (2.90)

- Di mana: ρ_w = rapat massa air (kg/m^3)
- g = gaya gravitasi (m/dt^2)
- h = tinggi air (m)
- I = kemiringan alur dasar sungai

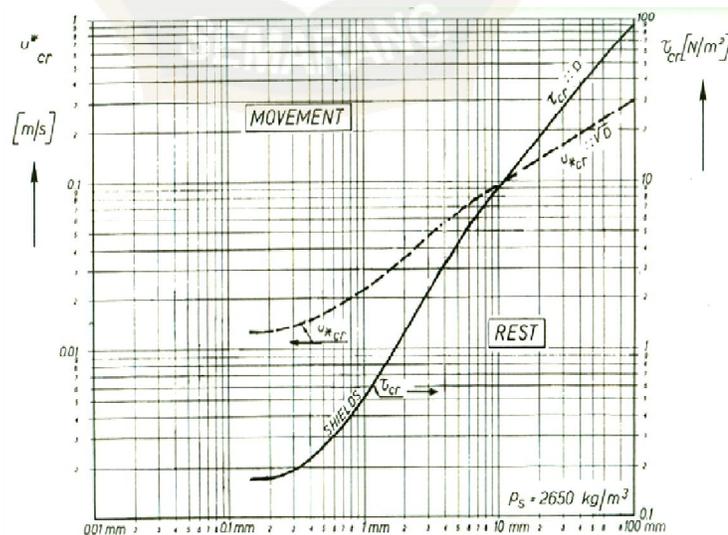
Kecepatan aliran sungai juga mempengaruhi terjadinya erosi sungai. Kecepatan aliran yang menimbulkan terjadinya tegangan seret kritis disebut kecepatan kritis (V_{Cr}). U.S.B.R. memberikan distribusi gaya seret pada saluran empat persegi panjang berdasarkan analogi *membrane* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.15.

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 2.16) dengan menggunakan data ukuran butiran tanah dasar sungai.



Gambar 2.15. Gaya Seret Satuan Maksimum

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



Gambar 2.16. Grafik Shield

(Ven Te Chow, 1985)

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Sudetan Kalitidu

1. Gaya Seret Pada Dasar Sungai

Besarnya gaya seret yang terjadi pada dasar sungai adalah:

$$\tau_b = 0,97 \times \rho_w \times g \times h \times I_b \dots\dots\dots (2.91)$$

Di mana:

- τ_b = gaya seret pada dasar sungai (kg/m²)
- ρ_w = rapat massa air (kg/m³)
- g = gaya gravitasi (m/dt²)
- h = tinggi air (m)
- I_b = kemiringan alur dasar sungai

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

Maka:

$$0,97 \times \rho_w \times g \times h \times I_b = \tau_{cr.b} \dots\dots\dots (2.92)$$

$$I_b = \frac{\tau_{cr.b}}{0,97 \times \rho_w \times g \times h} \dots\dots\dots (2.93)$$

$$V_{cr.b} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I_b^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.94)$$

Di mana:

- $\tau_{cr.b}$ = gaya seret kritis pada dasar sungai (kg/m²)
- ρ_w = rapat massa air (kg/m³)
- g = gaya gravitasi (m/dt²)
- h = tinggi air (m)
- I_b = kemiringan alur dasar sungai
- $V_{cr.b}$ = kecepatan kritis dasar sungai (m/dt)
- R = jari-jari hidrolis (m)
- N = angka kekasaran *manning* (dapat dilihat kembali pada Tabel 2.11)

2. Gaya Seret Pada Tebing Sungai

Besarnya gaya seret yang terjadi pada tebing sungai adalah

$$\tau_s = 0,75 \times \rho_w \times g \times h \times I_s \dots\dots\dots(2,95)$$

Di mana:

- τ_s = gaya seret pada tebing sungai (kg/m²)
- ρ_w = rapat massa air (kg/m³)
- g = gaya gravitasi (m/dt²)
- 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.

$$\tau_{cr,s} = K\beta \cdot \tau_{cr} \dots\dots\dots (2.96)$$

$$K_\beta = \cos \beta \sqrt{1 - \left(\frac{tg\beta}{tg\phi}\right)^2} \dots\dots\dots (2.97)$$

Di mana:

- τ_{cr} = tegangan geser kritis
- β = sudut lereng sungai (°)
- ϕ = 30-40 (tergantung diameter butiran dari grafik pada Gambar 2.20)

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

$$0,75 \times \rho_w \times g \times h \times I_s = \tau_{cr,s} \dots\dots\dots (2.98)$$

$$I_s = \frac{\tau_{cr,s}}{0,75 \times \rho_w \times g \times h} \dots\dots\dots (2.99)$$

$$V_{cr,s} = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I_s^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.100)$$

Di mana:

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

ρ_w = rapat massa air (kg/m^3)

g = gaya gravitasi (m/det^2)

h = tinggi air (m)

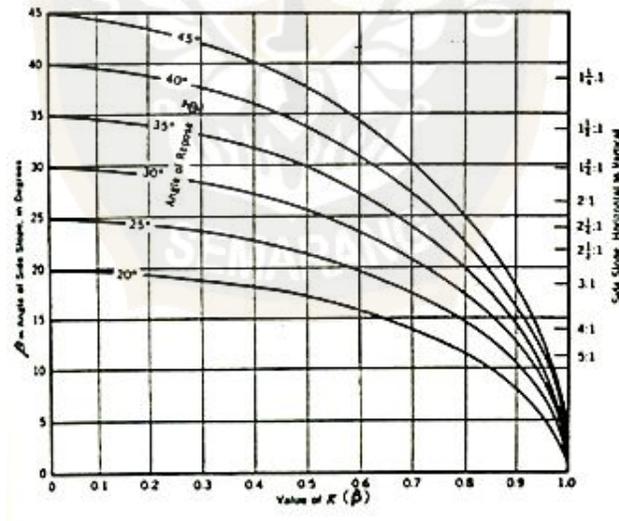
I_s = kemiringan alur dasar sungai

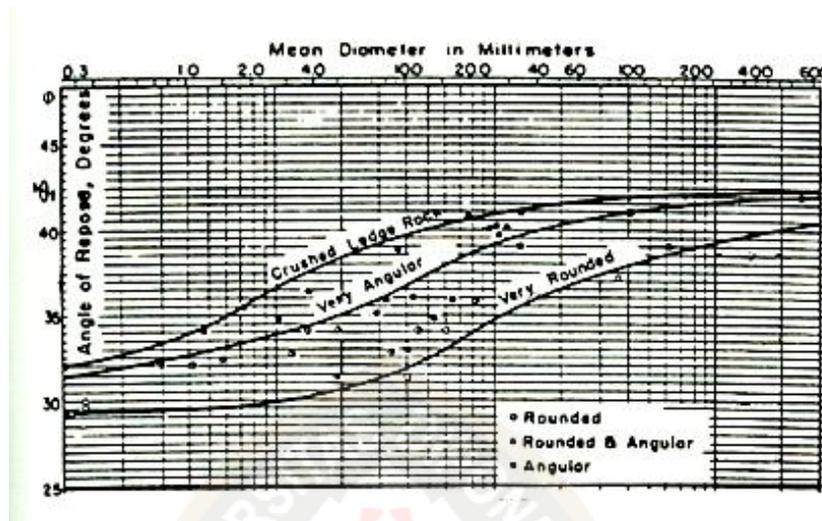
$V_{cr.s}$ = kecepatan kritis (m/det)

R = jari-jari hidrolis (m)

N = angka kekasaran *manning* (dapat dilihat kembali pada Tabel 2.11.)

Grafik Hubungan Antara Diameter Butiran dan ϕ dapat dilihat pada Gambar 2.17.





Gambar 2.17. Grafik Hubungan Antara Diameter Butiran Dan ϕ

(Ven Te Chow, 1985)

2.6.2. Perencanaan Tanggul

2.6.2.1. Trase Tempat Kedudukan Tanggul

Hal yang perlu diperhatikan dalam penentuan trase tanggul adalah :

1. Lokasi trase tanggul

Diusahakan tempat kedudukan tanggul melintasi tanah pondasi yang kepad air dan dihindarkan dari tanah pondasi yang lemah, seperti rawa, lumpur lunak dan gambut.

2. Arah trase tanggul

Yang perlu diperhatikan dalam penentuan arah trase tanggul adalah:

- a. Trase searah arus sungai dan hindarkan terjadinya belokan yang tajam.
- b. Hindarkan adanya pelebaran sungai yang mendadak.
- c. Diusahakan agar bantaran cukup lebar.
- d. Arah trase tanggul kanan dan tanggul kiri paralel mungkin dengan alur sungai.

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Sudetan Kalitidu

3. Jarak antara trase tanggul sungai

Jarak antara trase tanggul dianggap sebagai jarak antara kedua tanggul yang membujur dikanan kiri sungai.

2.6.2.2. Bentuk Penampang Tanggul dan Material Tanggul

1. Bagian tanggul

Bentuk standar dan nama bagian-bagian tanggul dapat dilihat melalui Gambar 2.18.



Gambar 2.18. Nama bagian tanggul

2. Tinggi jagaan

Tinggi jagaan merupakan tambahan tinggi pada tanggul untuk menahan loncatan air. Loncatan ini dapat terjadi akibat adanya ombak, gelombang, loncatan hidrolis pada saat terjadi banjir.

Tinggi jagaan tanggul telah ditetapkan sebagai mana yang tertera pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.13. Hubungan tingi jagaan dengan debit

Debit Rencana (m ³ /det)	Tinggi Jagaan (m)
200 < Q < 500	0,80
500 < Q < 2000	1,00
2000 < Q < 5000	1,20
5000 < Q < 10000	1,50
10000 < Q	2,00

(Suyono Sosrodarsono, “ Perbaikan dan Pengaturan Sungai “)

3. Lebar mercu tanggul

Besar lebar mercu tanggul ditentukan berdasarkan debit banjir, yaitu seperti Tabel berikut :

Tabel 2.14. Hubungan lebar mercu dengan debit

Q banjir (m ³ /s)	LebarMercu (m)
< 500	3
500 – 2000	4
2000 – 5000	5
5000 – 10.000	6
> 10000	7

(Suyono Sosrodarsono, “ Perbaikan dan Pengaturan Sungai “)

4. Kemiringan lereng Tanggul

Kemiringan lereng tanggul harus direncanakan dengan baik agar memenuhi keamanan stabilitas lereng. Kemiringan tanggul hulu dan tanggul hilir ditentukan berdasarkan material timbunannya seperti terlihat pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15. Hubungan *slope* tanggul dengan material timbunan

No	Material Timbunan	<i>Slope</i> Hulu	<i>Slope</i> Hilir
1	Homogen <i>Well Graded</i>	1 : 2,5	1 : 2,0
2	Homogen <i>Course Silt</i>	1 : 3,0	1 : 2,25
3	Homogen Silty Clay		
	H<15 m	1 : 2,5	1 : 2,5
	H>15 m	1 : 3,0	1 : 3,0
4	Sand atau Sand Gravel	1 : 2,5	1 : 2,0

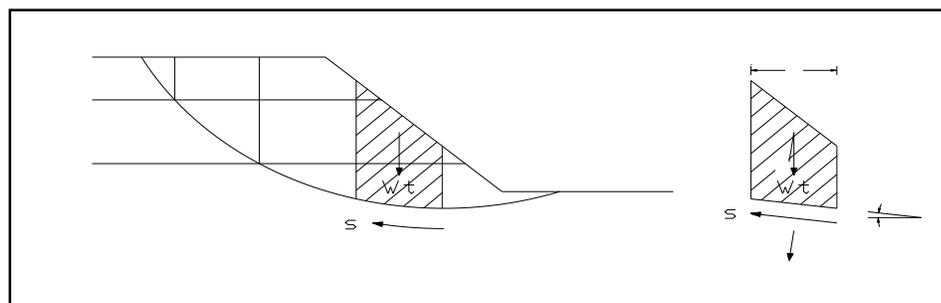
(Suyono Sosrodarsono, 1989)

5. Bahan tanah urugan

Tanah yang baik untuk pembuatan tanggul adalah tanah yang mempunyai sifat-sifat antara lain : kekedapannya tinggi, nilai kohesinya tinggi, dalam keadaan jenuh air sudut geser dalamnya tinggi, pekat dan angka porinya rendah.

2.6.2.3. Stabilitas Tanggul

Pada perhitungan stabilitas lereng tanggul lebih ditekankan apakah terjadi longsoran 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 2.18.



Gambar 2.19. Gaya yang bekerja pada bidang longsor

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

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

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.