

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TINJAUAN UMUM

Kajian sistem drainase di daerah Semarang Timur memerlukan tinjauan pustaka untuk mengetahui dasar-dasar teori dalam penanggulangan banjir akibat hujan lokal yang terjadi maupun akibat pasang air laut (rob). Salah satu tinjauan pustaka ini juga mencantumkan dasar-dasar teori tentang alternatif penanggulangan yang akan dilaksanakan untuk pengendalian banjir di daerah Semarang Timur.

2.2 KLASIFIKASI DAN PENGENDALIAN BANJIR

Pengendalian banjir pada dasarnya dapat dilakukan dengan berbagai cara, namun yang lebih penting adalah dipertimbangkan secara keseluruhan dan dicari sistem yang paling optimal.

Kegiatan pengendalian banjir, meliputi aktivitas sebagai berikut:

- o Mengenalinya besarnya debit banjir
- o Mengisolasi daerah genangan banjir
- o Mengurangi tinggi elevasi air banjir

Banjir yang terjadi di daerah Semarang Timur merupakan banjir lokal dan rob.

- o Banjir lokal adalah banjir yang disebabkan hujan yang turun pada catchment area pada suatu sistem jaringan drainase. Dan saluran tidak lagi dapat menampung limpasan yang besar akibat perubahan tata guna lahan.
- o Banjir rob diakibatkan oleh genangan air laut pasang dan back water. Banjir akibat genangan air laut pasang terjadi pada kota pantai yang elevasi / ketinggian muka tanahnya lebih rendah dari muka air laut pasang. Sedangkan banjir akibat back water (aliran balik) dari saluran pengendali banjir terjadi pada kota pantai maupun kota yang jauh dari pantai.

Banjir akibat genangan rob maupun lokal dalam kapasitas yang tidak dapat lagi ditampung oleh saluran dan tidak dapat diatasi dengan sistem drainase gravitasi, maka harus dipilih sistem drainase dengan pompa, agar pompa dapat berfungsi dengan maksimal maka perlu diberikan *Retarding Pond*.

Sedang menurut teknis penanganan pengendalian banjir dapat dibedakan menjadi dua :

1. Pengendalian banjir secara non struktur
2. Pengendalian banjir secara struktur

2.2.1 NON STRUKTUR

Perlu mendapatkan perhatian bahwa faktor non teknis sangat diperlukan, diantaranya dalam bentuk :

- a) Managemen daerah dataran banjir
Meminimumkan korban jiwa jika terjadi banjir.
- b) Pengaturan tata guna tanah di daerah aliran sungai.
Untuk mengatur penggunaan lahan, sesuai dengan rencana pola tata ruang yang ada. Sehingga menghindari penggunaan lahan yang tidak terkendali.
- c) Sosialisasi peraturan perundangan berkaitan dengan sungai dan drainase serta penyuluhan kepedulian lingkungan untuk mendukung usaha pengendalian banjir

2.2.2 STRUKTUR

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

- o Analisis cara pengendalian banjir yang ada pada daerah tersebut
- o Evaluasi dan analisis daerah genangan banjir
- o Evaluasi dan analisis *land use* di daerah studi
- o Evaluasi dan analisis daerah pemukiman yang ada maupun pengembangan pada masa yang akan datang
- o Memperhatikan potensi dan pengembangan serta pemanfaatan SDA dimasa yang akan datang, termasuk bangunan yang sudah ada

Dengan memperhatikan hal-hal tersebut diatas maka dapat direncanakan suatu sistem pengendalian banjir yang dilaksanakan dari hulu sampai hilir, yang kemudian dituangkan pada rencana pengendalian banjir. Yaitu masuk dalam kategori pengendalian dengan usaha struktural atau secara teknis. Adapun cara-cara pengendalian banjir yang dapat dilakukan dalam perencanaan drainase (struktur) khususnya adalah dengan :

1. Membangun fasilitas penahan air hujan, guna memperlambat limpasan masuk ke sungai. Dalam hal ini, ada dua tipe, yaitu:
 - a. Tipe penyimpanan; *Retarding basin dan regulation pond*
 - b. Tipe Peresapan; Parit resapan, sumur resapan, kolam resapan, perkerasan resapan.
2. Meningkatkan kapasitas saluran, yaitu dengan normalisasi sungai dan saluran yang ada.

2.2.2.1 NORMALISASI SUNGAI DAN SALURAN

Normalisasi alur saluran terutama dilakukan berkaitan dengan pengendalian banjir, yang merupakan usaha memperbesar kapasitas pengaliran sungai. Hal ini dimaksudkan untuk menampung debit banjir yang terjadi untuk selanjutnya dialirkan kesaluran yang lebih besar ataupun langsung menuju sungai, sehingga tidak terjadi limpasan dari saluran tersebut. Pekerjaan normalisasi saluran pada dasarnya meliputi kegiatan antara lain :

- o Normalisasi bentuk penampang melintang saluran
- o Mengatur penampang memanjang saluran
- o Menstabilkan alur saluran
- o Menentukan tinggi jagaan
- o Mengurangi angka kekasaran dinding saluran

A. PERENCANAAN PENAMPANG MELINTANG SALURAN

Penampang melintang saluran perlu direncanakan untuk mendapatkan penampang yang ideal dan efisien dalam penggunaan lahan. Penampang ideal yang dimaksud adalah penampang yang stabil terhadap perubahan akibat pengaruh erosi dan sedimentasi maupun pola aliran yang terjadi,

Sedangkan penggunaan lahan yang efisien dimaksud untuk mempertahankan lahan yang tersedia, sehingga tidak menimbulkan permasalahan pembebasan tanah. Bentuk penampang saluran sangat dipengaruhi oleh faktor bentuk penampang berdasarkan pengaliran, yaitu :

$$Q = V * A \quad (2.1)$$

$$V = \frac{1}{n} * I^{1/2} * R^{2/3} \quad (2.2)$$

$$Q = \frac{1}{n} * I^{1/2} * R^{2/3} * A \quad (2.3)$$

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

keterangan :

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

n = Koefisien kekasaran dari Manning

R = Radius hidrolis (m)

I = Kemiringan dasar saluran

A = Luas penampang basah (m^2)

Dengan demikian kapasitas penampang akan tetap walaupun bentuk penampang diubah-ubah. Oleh karena itu perlu diperhatikan bentuk penampang yang paling ekonomis.

Berdasarkan karakteristik bentuk penampang sungai dilapangan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Penampang Tunggal

Bentuk penampang ini biasa digunakan pada saluran-saluran di kota Semarang mengingat beberapa faktor yang membatasi digunakannya bentuk penampang ini, antara lain karena :

- o Luas lahan yang tersedia untuk penampang melintang yang terbatas (dibatasi oleh lebar jalan).
- o Debit yang dialirkan melalui saluran-saluran kota yang ada tidak begitu besar.

Sedangkan rumus-rumus yang digunakan dalam mendimensi saluran dengan penampang tunggal adalah sebagai berikut :

- a. Penampang tunggal bentuk persegi empat (*Rectangular Channel*)

Keliling Penampang Basah (P)

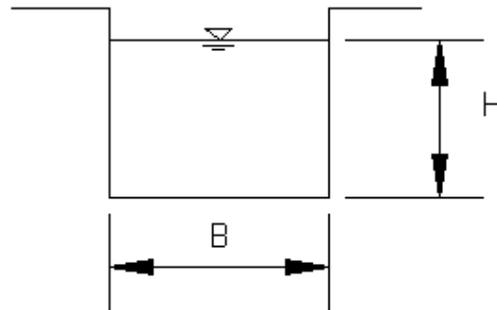
$$P = B + 2H \quad (2.4)$$

Luas Penampang Basah (A)

$$A = B * H \quad (2.5)$$

Jari-jari Hidrolik (R)

$$R = A / P \quad (2.6)$$



Gambar 2.1. Penampang Tunggal Berbentuk Persegi Empat

Penampang melintang persegi yang paling ekonomis jika kedalaman air $\frac{1}{2}$ dari lebar dasar saluran ($B = 2H$) atau jari-jari hidrolisnya $\frac{1}{2}$ dari kedalaman air ($R = H/2$).

b. Penampang tunggal berbentuk \square rapezium (*Trapezoidal Channel*)

Keliling penampang basah (P)

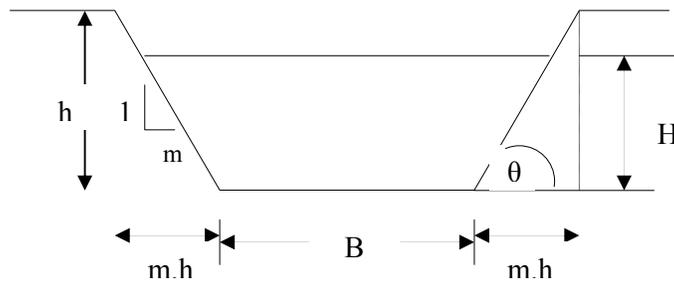
$$P = B + 2H \sqrt{1 + m^2} \quad (2.7)$$

Luas penampang basah (A)

$$A = H (B + mH) \quad (2.8)$$

Jari-jari hidrolik (R)

$$R = A / P \quad (2.9)$$



Gambar 2.2. Penampang Tunggal Berbentuk Trapesium

Penampang trapesium yang paling ekonomis, adalah jika kemiringan dindingnya $m = (1/\sqrt{3})$ atau $\theta = 60^\circ$

2. Penampang Ganda

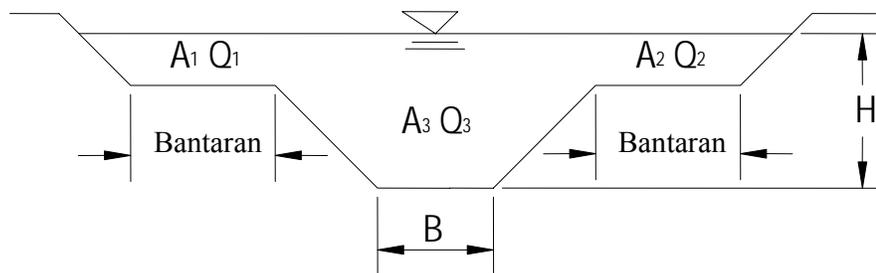
Jenis penampang ini digunakan untuk mendapatkan kapasitas saluran yang lebih besar, sehingga debit yang dialirkan melalui saluran tersebut dapat lebih besar. Penampang ini digunakan jika lahan yang tersedia cukup luas.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_1 = A_1 * (1/n) * (A_1/P_1)^{2/3} * I^{0,5}$$

$$Q_2 = A_2 * (1/n) * (A_2/P_2)^{2/3} * I^{0,5}$$

$$Q_3 = A_3 * (1/n) * (A_3/P_3)^{2/3} * I^{0,5}$$



Gambar 2.3. Penampang Ganda

Sedangkan faktor-faktor lain yang perlu diperhatikan dalam penentuan bentuk penampang melintang saluran, yaitu :

- Angkutan sedimentasi saluran
- Perbandingan debit banjir dominan dan debit banjir.

Dan hal lain yang perlu diperhatikan adalah bahwa semakin mendekati sungai atau saluran-saluran utama kota yang lebih besar maka akan semakin besar dimensi dari saluran yang ada tersebut.

B. TINGGI JAGAAN SALURAN

Besarnya tinggi jagaan yang diijinkan adalah berkisar antara 0,75 m – 1,5 m atau disesuaikan dengan besar kecilnya debit rencana.

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

2.2.2.2 BANGUNAN PENYIMPAN AIR HUJAN

A. KAPASITAS KOLAM

Perhitungan kapasitas kolam dimaksudkan untuk menentukan batasan maksimum yang dapat ditampung oleh kolam penampungan. Debit inflow yang terjadi tiap jam dihitung dengan metode *Hidrograf SYNDER*

Rumus :

1. $t_p = C_t * (L * L_c)^{0.3}$
2. $t_p = C_t * (L * L_c)^{0.3}$
3. $t_c = t_p / 5,5$
 - jika $t_c > t_r$ dimana $t_r = 1$ jam
 $t'_p = t_p + 0.25 (t_r - t_c)$
 $T_p = t'_p + 0.5t_r$
 - jika $t_c < t_r$ dimana $t_r = 1$ jam
 $T_p = t_p + 0.5t_r$
4. $q_p = 2.75 * (C_p / T_p)$
5. $Q_p = q_p * A \text{ (m}^3/\text{dt.cm)}$

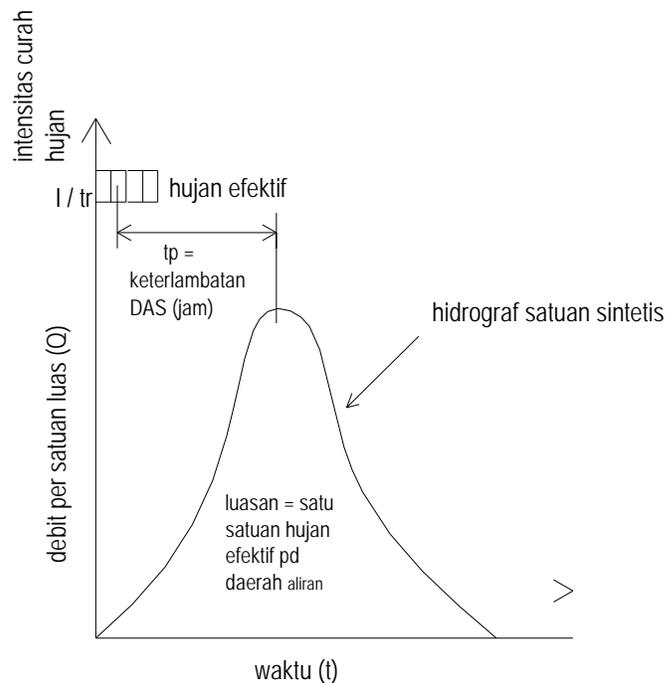
Dimana :

- t_p = keterlambatan DAS (*basin lag*) (jam)
- C_t = koefisien yang diturunkan dari DAS yang memiliki data pada daerah yang sama. antara 0.75 – 3.00 (Ir. CD. Soemarto, B.I.E DIPLH, Hidrologi Teknik edisi ke – 2)

Tinjauan Pustaka

- L = Panjang sungai utama dari outlet ke batas hulu (km)
- L_c = jarak antara titik berat DAS dengan outlet yang diukur sepanjang aliran utama.
- q_p = puncak hidrograf satuan ($m^3/dt/mm/km^2$)
- C_p = koefisien yang diturunkan dari DAS yang memiliki data pada daerah yang sama. Antara 0.90 – 1.40 (dipakai 1) (Ir. CD. Soemarto, B.I.E DIPLH, Hidrologi Teknik edisi ke – 2)
- Q_p = debit puncak hidrograf ($m^3/dt/mm$)
- A = luas DAS (km^2)

Didalam membuat Unit hidrograf dengan metode Snyder Ordinat – ordinat hidrograf dihitung dengan persamaan *ALEXEYEV*, (Ir. CD. Soemarto, B.I.E DIPLH, Hidrologi Teknik edisi ke – 2)



Gambar 2.4 Hidrograf Synder

Flood Routing

Perhitungan flood routing berpedoman pada persamaan kontinuitas dalam penampungan:

$$(I_1 + I_2) / 2 * \Delta t = (Q_1 + Q_2) / 2 * \Delta t + \Delta s \quad (2.18)$$

dimana : I = Inflow

O = Outflow

Δt = periode waktu yang ditinjau

Δs = selisih penampungan

Perhitungan Flood Routing dapat ditabelkan sebagai berikut :

$$\Delta s = (Q_i - Q_o) * \Delta t \quad (2.19)$$

dimana : Δs = volume yang masuk (m³)

Q_i = debit inflow (m³/det)

Q_o = debit outflow (m³/det)

Δt = selisih waktu (det)

Tabel 2.1 Perhitungan Flood Routing

T (jam)	T (dtk)	Qi (m ³ /dtk)	VQi (m ³)	H (m)	Qo (m ³ /det)	VQo (m ³)	Δs (m)	S (m)	Ket
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Kolom 1 : Waktu (jam)

Kolom 2 : Waktu (detik)

Kolom 3 : Debit inflow (m³/det)

Kolom 4 : Volume inflow $VQ_i = Q_i \times \Delta t$ (kolom 2 \times kolom 3)

Kolom 5 : Tinggi air $H = \left(\frac{Q_i}{Luaskolam} \times \Delta t \right)$

Kolom 6 : Debit outflow (m³/det) = Debit Pompa (m³/det)

Kolom 7 : Volume Outflow $VQ_o = Q_o \times \Delta t$ (kolom 6 \times kolom 2)

Kolom 8 : Volume (m³)

$$\Delta s = (Q_i - Q_o) \times \Delta t ; ((\text{kolom 3} - \text{kolom 6}) \times \text{kolom 2})$$

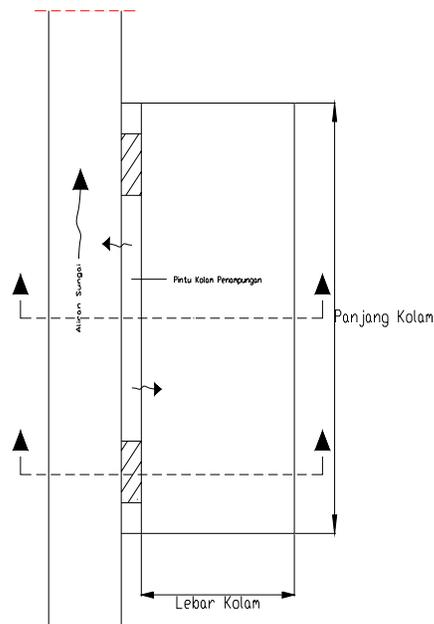
Kolom 9 : Storage Kumulatif (m³) ; (kolom 9 + kolom 8)

Kolom 10 : Keterangan mengenai jumlah pompa dan kapasitasnya yang akan dioperasikan

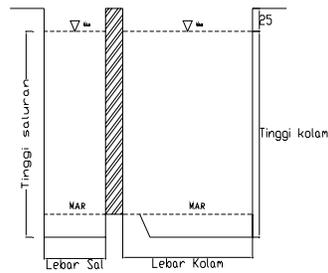
B. KOLAM PENAMPUNGAN (*RETARDING POND*)

Kolam penampungan adalah suatu bangunan / konstruksi yang berfungsi untuk menampung sementara air banjir akibat hujan deras.

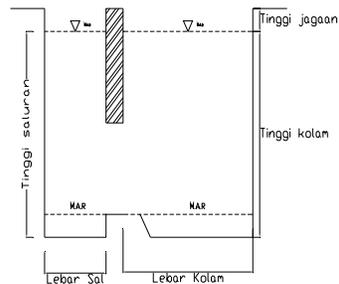
Perencanaan kolam penampungan ini dikombinasikan dengan pompa sehingga pembuangan air dari kolam penampungan bisa lebih cepat. Dimensi kolam penampungan ini berdasarkan pada volume air akibat air hujan selama t menit yang telah ditentukan. Artinya jika hujan sudah mencapai t menit, maka pompa harus sudah dioperasikan sampai elevasi air dikolam penampungan mencapai batas minimum. Untuk mengantisipasi agar kolam penampungan tidak meluap melebihi batas kapasitasnya maka petugas untuk mengoperasikan pompa harus selalu siap pada waktu hujan.



Gambar 2.5 Denah Kolam Penampungan



Gambar 2.6 Potongan I - I



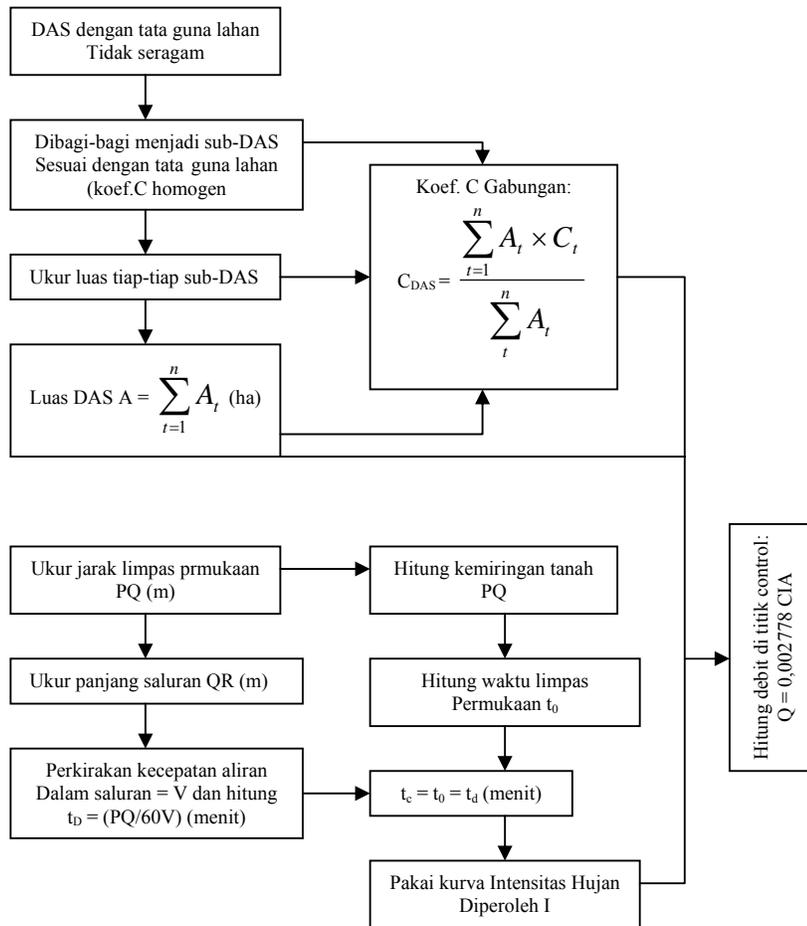
Gambar 2.7 Potongan II - II

2.3 ANALISIS HIDROLOGI

Faktor-faktor hidrologi yang sangat berpengaruh dalam pengendalian banjir pada wilayah Semarang Timur ini adalah curah hujan dan intensitasnya. Curah hujan pada suatu daerah dataran merupakan salah satu faktor yang menentukan besarnya debit banjir yang akan terjadi. Semakin besar curah hujan yang terjadi pada suatu daerah dataran semakin besar pula banjir yang akan diterima pada daerah tersebut, begitu pula sebaliknya semakin kecil curah hujan yang terjadi pada suatu daerah dataran semakin kecil pula efek banjir yang terjadi ataupun mungkin tidak terjadi banjir.

Dengan diketahuinya besar curah hujan pada daerah dataran tersebut maka dapat diketahui besarnya intensitas hujan pada daerah tersebut, selanjutnya dapat diketahui berapa besarnya debit banjir yang akan terjadi pada daerah dataran rendah atau daerah genangan yang menjadi tujuan dari banjir tersebut.

Adapun urutan dari Analisis Hidrologi dijelaskan dalam gambar 2.8

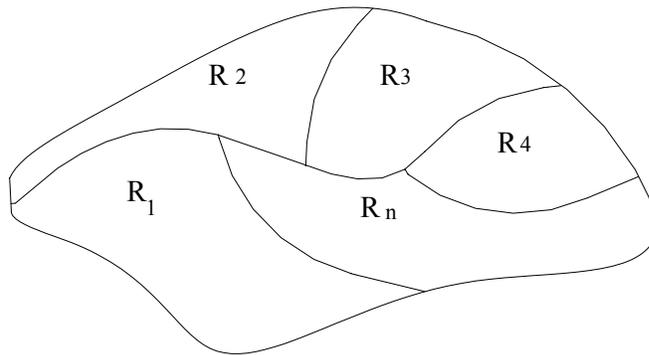


Gambar 2.8 Skema Analisa Hidrologi

2.3.1 ANALISIS CURAH HUJAN RENCANA

a) Metode Rata-rata Aljabar

Dipakai bila daerah pengaruh curah hujan rata-rata dari setiap stasiun hampir sama. Dimana rumusan yang digunakan untuk menghitung curah hujan rata-rata adalah sebagai berikut :



Gambar 2.9 Metode Rata-rata Aljabar

$$R = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n} = \frac{\sum_i^n R_i}{n} \quad (2.20)$$

dimana :

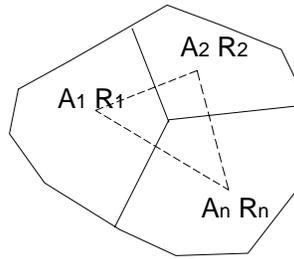
- R = Curah hujan rata-rata Daerah Aliran Sungai (DAS) (mm)
 R_1, R_2, \dots, R_n = Curah hujan di tiap stasiun pengukuran (mm)
 n = Jumlah stasiun pengukuran

b) Metode Thiessen

Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

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

Cara poligon *Thiessen* ini dipakai apabila daerah pengaruh dan curah hujan rata-rata tiap stasiun berbeda-beda, Dimana rumus yang digunakan untuk menghitung curah hujannya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.10 Metode Thiessen

$$R = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.21)$$

dimana :

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

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

R = Besarnya curah hujan rata-rata Daerah Aliran Sungai (DAS) (mm)

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

:

$$C_i = \frac{A_i}{A} * 100\% \quad (2.22)$$

dimana :

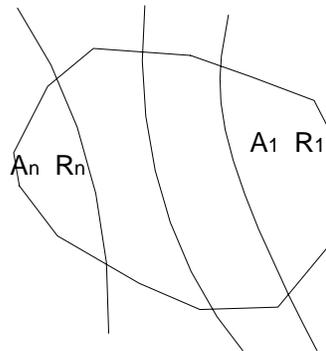
C_i = Koefisien *Thiessen*

A = Luas total Daerah Aliran Sungai (km²)

A_i = Luas bagian daerah di tiap stasiun pengamatan (km²)

c) Metode *Isohyet*

Dalam hal ini harus ada peta *Isohyet* didalam suatu daerah pengaliran, Sedangkan rumus yang digunakan untuk menghitung curah hujan dengan metode *Isohyet* adalah sebagai berikut :



Gambar 2.11 Metode Isohyet

$$R = \frac{\sum_i^n A_i * \left(\frac{R_i + R_{i+1}}{2}\right)}{\sum_i^n A_i} \quad (2.23)$$

dimana :

R_1, \dots, R_n = Curah hujan pada setiap garis *Isohyet* (mm)

A_1, \dots, A_n = Luas daerah yang dibatasi oleh dua garis *Isohyet* yang berdekatan (km²)

R = Curah hujan rata-rata Daerah Aliran Sungai (mm)

2.3.2 ANALISIS FREKUENSI HUJAN RENCANA

Analisis Frekuensi Hujan Rencana digunakan untuk meramalkan dalam arti probabilitas untuk terjadinya suatu peristiwa hidrologis dalam bentuk hujan rencana, yang fungsinya sebagai dasar guna perhitungan perencanaan hidrologi untuk mengantisipasi kemungkinan-kemungkinan yang terjadi.

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

- Metode Normal
- Metode Gumbel
- Metode Log Pearson Type III
- Log Normal

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

1. Standar deviasi (S)

Standar deviasi merupakan ukuran sebaran yang paling banyak digunakan. Apabila penyebaran sangat besar terhadap nilai rata-rata, maka nilai S akan kecil.

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}{(n-1)} \quad (2.24)$$

2. Koefisien variasi (Cv)

Koefisien variasi adalah nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi. Koefisien variasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \quad (2.25)$$

3. Koefisien skewness (Cs)

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

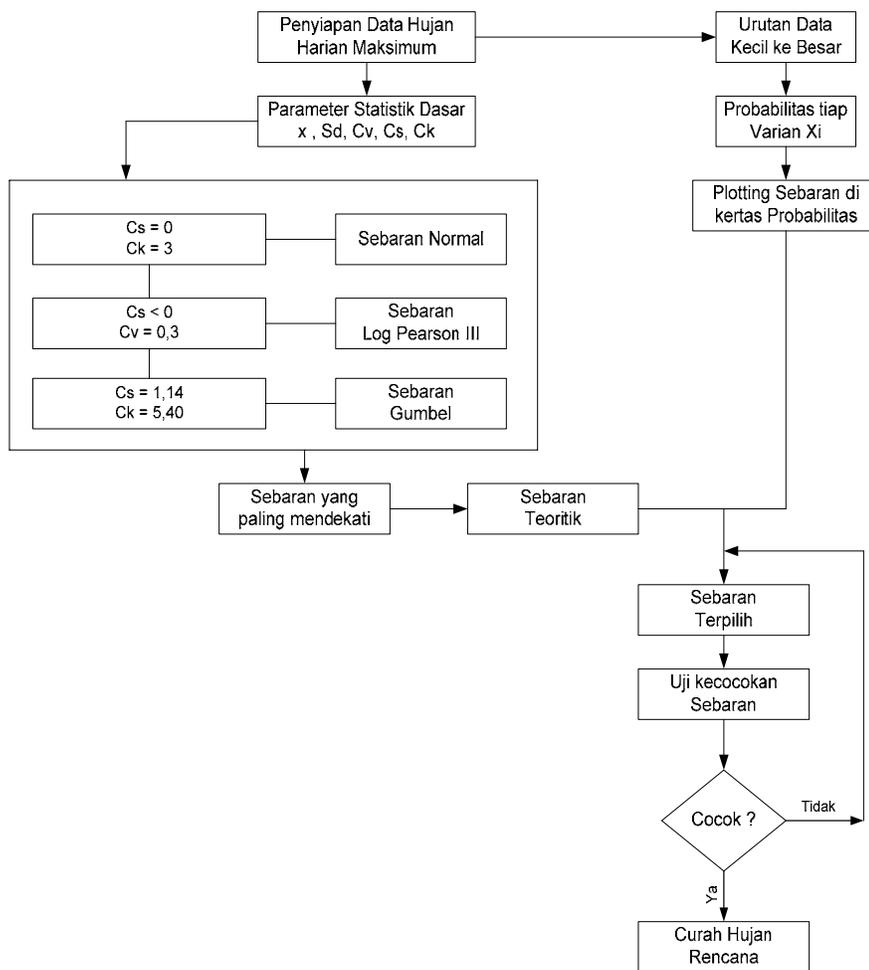
$$Cs = \frac{n * \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1) * (n-2) * S^3} \quad (2.26)$$

4. Koefisien kurtosis (Ck)

Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi dan sebagai pembandingnya adalah distribusi normal. Koefisien kurtosis dirumuskan sebagai berikut :

$$Ck = \frac{n^2 * \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1) * (n-2) * (n-3) * S^4} \quad (2.27)$$

Dari harga parameter statistik tersebut akan dipilih jenis distribusi yang sesuai, seperti ditunjukkan pada gambar 2.8 skema analisis frekuensi hujan rencana berikut ini.



ambar 2.12 Skema Analisis Frekuensi Hujan Rencana

G

Dengan menggunakan cara penyelesaian analisa frekuensi, penggambaran ini dimungkinkan lebih banyak terjadinya kesalahan. Maka untuk mengetahui tingkat pendekatan dari hasil penggambaran tersebut, dapat dilakukan pengujian kecocokan data dengan menggunakan cara sebagai berikut :

- Uji Chi Kuadrat (*Chi Square*)

a) Metode Normal

Rumus umum

$$X_{Tr} = \bar{x} + k S_x \quad (2.28)$$

dimana :

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

k = Faktor frekuensi (Tabel 2.2)

\bar{x} = Harga rata-rata data hujan

S_x = Standar deviasi

Tabel 2.2 Faktor Frekuensi

No	Periode ulang, T (tahun)	Peluang	k	No	Periode ulang, T (tahun)	Peluang	k
1	1,001	0,990	-3,05	11	2,500	0,400	0,25
2	1,005	0,995	-2,58	12	3,330	0,300	0,52
3	1,010	0,990	-2,33	13	4,000	0,250	0,67
4	1,050	0,950	-1,64	14	5,000	0,200	0,84
5	1,110	0,900	-1,28	15	10,000	0,100	1,28
6	1,250	0,800	-0,84	16	20,000	0,050	1,64
7	1,330	0,750	-0,67	17	50,000	0,020	2,05
8	1,430	0,700	-0,52	18	100,000	0,010	2,33
9	1,670	0,600	-0,25	19	200,000	0,005	2,58
10	2,000	0,500	0,00	20	500,000	0,002	2,88
11	2,500	0,400	0,25	21	1000,000	0,001	3,09

Sumber : Dr. Ir. Suripin, M.Eng 2003

b) Metode Gumbel

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

Rumus Umum

$$X_{Tr} = \bar{x} + S * Kr \quad (2.29)$$

dimana

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

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

S = Standar deviasi bentuk normal (mm)

Kr = Faktor frekuensi Gumbel

Faktor frekuensi Gumbel merupakan fungsi dan masa ulang dari distribusi

$$Kr = \frac{Yt - Yn}{Sn} \quad (2.30)$$

dimana :

Yt = Reduced Varied (fungsi periode ulang T tahun) (Tabel 2.3)

Yn = Harga Rata-rata *Reduced Variate* (Tabel 2.4)

Sn = *Reduced Standard Deviation* (Tabel 2.5)

**Tabel 2.3. Harga *Reduced Variate* (Y_{Tr})
Pada Periode Ulang Hujan T tahun**

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

Sumber : Dr. Ir. Suripin, M.Eng 2003

Tabel 2.4 Recuded Mean (Y_n)

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5520
20	0,5236	0,5252	0,5269	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5402	0,5402	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5463	0,5472	0,5477	0,5481
50	0,5486	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5530	0,5533	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5557	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5572	0,5572	0,5574	0,5576	0,5576	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5573	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

Sumber : Dr. Ir. Suripin, M.Eng 2003

Tabel 2.5 Recuded Standard Deviation (S_n)

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0315	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0664	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1086
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1638	1,1667	1,1681	1,1696	1,1706	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1770	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1873	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1953	1,9670	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

Sumber Dr. Ir. Suripin, M.Eng 2003

c) Metode Log Pearson Type III

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

Langkah-langkah yang diperlukan adalah sebagai berikut :

1. Gantilah data $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ menjadi data dalam logaritma, Yaitu : $\log X_1, \log X_2, \log X_3, \dots, \log X_n$.
2. Hitung rata-rata dari logaritma data tersebut :

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \quad (2.31)$$

3. Hitung standar deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^2}{n-1}} \quad (2.32)$$

4. Hitung koefesien skewness

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3}{(n-1) * (n-2) * S^3} \quad (2.33)$$

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

$$\text{Log} X_{Tr} = (\log \overline{X}) + S \log^* K(Tr, Cs) \quad (2.34)$$

dimana :

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

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

S = Standar deviasi (mm)

$K(Tr, Cs)$ = Faktor frekuensi Pearson tipe III yang tergantung pada harga Tr (periode ulang) dan Cs (koefesien skewness), yang dapat dibaca pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Faktor Frekuensi K Distribusi Log Pearson Type III

Koef. Kemencengan Cs	Interval ulang, tahun							
	1,0101	1,2500	2	5	10	25	50	100
	Persen peluang							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3,00	-0,667	-0,636	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051
2,80	-0,714	-0,666	-0,385	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
2,60	-0,769	-0,696	-0,368	0,499	1,238	2,367	3,081	3,889
2,40	-0,832	-0,725	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
2,20	-0,905	-0,752	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705
2,00	-0,990	-0,777	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,606
1,80	-1,087	-0,799	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499
1,60	-1,197	-0,817	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388
1,40	-1,318	-0,732	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,760	3,271
1,20	-1,449	-0,844	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
1,00	-1,588	-0,015	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
0,80	-1,733	-0,856	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891
0,60	-1,880	-0,857	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755
0,40	-2,029	-0,855	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615
0,20	-2,175	-0,850	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472
0,00	-2,326	-0,842	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326
-0,20	-2,472	-0,830	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
-0,40	-2,615	-0,816	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
-0,60	-2,755	-0,800	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
-0,80	-2,891	-0,780	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
-1,00	-3,022	-0,758	0,164	0,852	1,128	1,366	1,920	1,588
-1,20	-3,149	-0,732	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
-1,40	-3,271	-0,706	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
-1,60	-3,388	-0,675	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197
-1,80	-3,499	-0,643	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
-2,00	-3,605	-0,609	0,307	0,777	0,896	0,956	0,980	0,990
-2,20	-3,705	-0,574	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905
-2,40	-3,800	-0,539	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832
-2,60	-3,889	-0,499	0,368	0,696	0,747	0,764	0,768	0,769
-2,80	-3,943	-0,460	0,384	0,666	0,705	0,712	0,714	0,714
-3,00	-4,051	-0,420	0,390	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

Sumber : Ray K. Linsey, Jr. 1983

2.3.3 ANALISIS WAKTU KONSENTRASI

Besarnya nilai intensitas hujan tergantung pada periode yang digunakan dan waktu konsentrasi (t_c). Besarnya nilai t_c dapat dihitung dengan rumus :

$$t_c = t_o + t_d \quad (2.35)$$

Keterangan :

t_o adalah waktu yang diperlukan untuk mengalir dari titik yang terjauh dalam daerah tangkapan tersebut sampai kebagian hulu saluran yang direncanakan. Dengan menggunakan Rumus Kirpich didapatkan nilai t_o :

$$t_o = 53,71 L^{1,156} D^{-0,385} \text{ (menit)} \quad (2.36)$$

dimana : L = Jarak dari titik terjauh sampai kebagian hulu saluran (km)

D = Beda tinggi muka tanah titik yang terjauh dengan bagian hulu saluran (m)

t_d adalah waktu yang diperlukan untuk mengalir sepanjang saluran yang direncanakan (dari hulu sampai hilir). Besarnya nilai t_d tergantung dari panjang saluran yang direncanakan (L dalam meter) dan kecepatan aliran (V dalam meter / detik).

$$t_d = \frac{L}{60V} \quad (2.37)$$

Besarnya nilai V (m/detik) tergantung dari pada slope dasar saluran (s), kekasaran permukaan saluran (n Manning) dan bentuk saluran.

2.3.4 ANALISA INTENSITAS HUJAN RENCANA

Intensitas hujan rencana adalah besarnya intensitas hujan maksimum yang mungkin terjadi pada periode ulang tertentu. Hujan dalam intensitas yang besar umumnya terjadi dalam waktu yang pendek. Hubungan intensitas hujan dengan waktu hujan banyak dirumuskan, yang pada umumnya tergantung pada parameter setempat. Besarnya intensitas curah hujan berbeda-beda biasanya disebabkan oleh lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Untuk perhitungan biasanya didekati dengan rumus empiris yang biasa digunakan untuk karakteristik hujan didaerah tropis.

a) Untuk hujan dengan waktu < 2 jam, Talbot (1881)

$$I = \frac{a}{t + b} \quad (2.38)$$

dimana :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

t = Waktu (durasi) curah hujan (menit)

a, b = Konstanta yang tergantung pada keadaan setempat

b. Untuk hujan dengan waktu > 2jam, Sherman (1905)

$$I = \frac{c}{t^n} \quad (2.39)$$

dimana :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

t = Waktu (durasi) curah hujan (menit)

c, n = Konstanta yang tergantung pada keadaan setempat

c. Rumus diatas dikembangkan oleh Ishiguro (1953) menjadi :

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

dimana :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

t = Waktu (durasi) curah hujan (menit)

a, b = Konstanta yang tergantung pada keadaan setempat

d. Rumus diatas dikembangkan lagi oleh Mononobe menjadi :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left[\frac{24}{t} \right]^{2/3} \quad (2.41)$$

dimana :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

t = Waktu (durasi) curah hujan (jam)

R₂₄ = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

Rumus-rumus pada point a, b dan c yang tertera diatas digunakan untuk curah hujan jangka pendek, sedangkan rumus pada point d digunakan untuk menghitung intensitas curah hujan setiap waktu berdasarkan data curah hujan harian.

2.3.5 KOEFISIEN PENGALIRAN

Koefisien pengaliran “ c “, besarnya tergantung pada kondisi dan karakteristik fisik dari daerah pengalirannya, yang biasanya dinyatakan sesuai dengan tata guna lahan pada kondisi terakhir.

Besaran koefisien pengaliran untuk berbagai penggunaan lahan / tata guna tanah dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2.7 Koefisien Limpasan Rata-Rata Untuk Daerah Perkotaan

Type	Kondisi daerah Pengaliran	Nilai C
Berdasar sifat permukaan		
Rerumputan tanah berpasir	kemiringan 2 %	0,05 - 0,10
	rata-rata 2-7 %	0,10 - 0,15
	curam 7 %	0,15 - 0,20
Rerumputan tanah keras	datar 2 %	0,13 - 0,17
	rata-rata 2-7 %	0,18 - 0,22
	curam 7 %	0,25 - 0,35
Jalan	Aspal	0,70 - 0,95
	Beton	0,80 - 0,95
	Batu bata	0,70 - 0,95
	Kerikil	0,15 - 0,35
	Jalan raya dan trotoir	0,70 - 0,85
Atap		0,75 - 0,95
Berdasar deskripsi daerah		
Bisnis dan perdagangan	Daerah kota	0,70 - 0,95
	Daerah pinggiran	0,50 - 0,70
Pemukiman	Rumah tinggal terpencar	0,30 - 0,50
	Kompleks perumahan	0,40 - 0,50
	Pemukimam (sub urban)	0,25 - 0,40
	Apartemen	0,50 - 0,70
Industri	Ringan	0,50 - 0,80
	Berat	0,60 - 0,90
Pertamanan, kuburan		0,10 - 0,25
Lapangan bermain		0,10 - 0,25
Halaman kereta api		0,20 - 0,40
Daerah tidak terawat		0,10 - 0,30

Sumber : DPU Cipta Karya, 1998

Koefisien ini diperoleh dari hasil perbandingan antara jumlah hujan yang jatuh dengan yang mengalir sebagai limpasan dari suatu hujan dalam permukaan tanah. Faktor-faktor yang mempengaruhi harga koefisien pengaliran ini adalah adanya infiltrasi dan tampungan hujan pada tanah sehingga mempengaruhi jumlah air hujan yang mengalir.

2.3.6 ANALISA DEBIT RENCANA

Analisa debit banjir merupakan tahap penting dalam rangka perencanaan teknis drainase sehingga dapat ditentukan debit yang dipergunakan sebagai dasar untuk merencanakan bentuk dan dimensi saluran dan bangunan. Saluran dan bangunan disesuaikan dengan perkembangan-perkembangan terhadap resiko, biaya, keadaan lapangan, ketersediaan material di lapangan, dan faktor-faktor yang berkaitan antara satu dengan yang lainnya. Kualitas perencanaan akan sangat ditentukan oleh kualitas perhitungan debit rencana. Metode yang biasa digunakan untuk menghitung debit banjir rencana pada suatu ruas sungai adalah sebagai berikut :

o Metode Rasional

Metode ini digunakan untuk menentukan banjir maximum bagi saluran-saluran dengan daerah aliran kecil, kira-kira 100 – 200 acres (40 – 80 ha).

Bila hujan berlangsung lebih lama dari pada lama waktu konsentrasi alirannya, maka intensitas rata-ratanya akan lebih kecil dari pada jika lama waktu hujan sama dengan waktu konsentrasi. Yang dimaksud dengan lama waktu konsentrasi adalah selang waktu antara permulaan hujan dan saat seluruh areal daerah alirannya ikut berperan pada pengaliran sungai. Laju pengaliran maksimum terjadi jika lama waktu hujan sama dengan lama waktu konsentrasi daerah alirannya. Persamaan matematis metode rasional untuk memperkirakan besar aliran adalah sebagai berikut :

$$Q = \left(\frac{1}{3,6} \right) * C * I * A \quad (2.42)$$

dimana :

Q = Debit banjir periode ulang tertentu (m³/dt)

C = Koefisien run off (pengaliran)

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

(R₂₄ / 24) * (24 / tc)^{2/3} (mononobe)

- A = Luas DAS (km²)
R₂₄ = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)
tc = Waktu (durasi) curah hujan (jam)
= to + td
to = 53,71 L^{1,156} D^{-0,385}
L = Jarak dari titik terjauh sampai kebagian hulu saluran (km)
D = Beda tinggi muka tanah titik yang terjauh dengan bagian hulu saluran (m)
td = $\frac{L}{60V}$
V = Kecepatan aliran (m/det)
L = Panjang saluran (m)

2.4 ANALISIS HIDROLIKA

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

Pada normalisasi saluran yang dilakukan untuk menanggulangi genangan ini diasumsikan bahwa suatu tanggul tidak akan runtuh sebelum muka air melampaui tanggul, dan tak ada kerusakan akibat banjir yang mempunyai tinggi puncak kurang dari elevasi puncak tanggul. Hasil perhitungan jejak puncak banjir disepanjang ruas sungai tersebut menentukan tinggi efektif yang diperlukan dengan penambahan *freeboard* yang sesuai.

Untuk penentuan kapasitas penampang dalam menampung debit rencana yang telah ditentukan, maka perhitungannya dibuat berdasarkan analisis aliran pada saluran terbuka.

a. *Uniform Flow* (Aliran seragam)

Uniform flow adalah aliran seragam yang mempunyai variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan dan debit pada setiap tampang disepanjang aliran adalah konstan.

Rumus yang digunakan dalam kondisi aliran normal adalah rumus Manning karena mudah pemakaiannya (Bambang Triatmodjo, Hidraulika II, 1996). Rumus Manning yang persamaannya adalah sebagai berikut :

$$Q = (1/n) R^{2/3} I^{1/2} A \quad (2.3)$$

dimana :

- Q = Debit banjir rencana (m³ / det)
- n = Koefisien kekasaran dari Manning (Tabel 2.8)
- R = Radius hidrolis (m)
- I = Kemiringan dasar saluran
- A = Luas penampang basah (m²)

Tabel 2.8
Koefisien kekasaran permukaan Saluran
(n Manning)

Saluran	Keterangan	n Manning
Tanah	Lurus, baru, seragam, landai dan bersih	0,016 - 0,033
	Berkelok, landai dan berumput	0,023 - 0,040
	Tidak terawat dan kotor	0,050 - 0,140
Pasangan	Tanah berbatu, kasar dan tidak teratur	0,035 - 0,045
	Batu kosong	0,023 - 0,035
Beton	Pasangan batu belah	0,017 - 0,030
	Halus, sambungan baik dan rata	0,014 - 0,018
	Kurang halus dan sambungan kurang rata	0,018 - 0,030

Sumber : Imam Subarkah, 1980

b. Non Uniform Flow (Aliran tidak seragam)

Non uniform flow adalah aliran tidak seragam atau berubah yang mempunyai variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan dan debit pada setiap tampang disepanjang aliran adalah tidak konstan.

Aliran tidak seragam dapat dibedakan dalam dua kelompok berikut ini :

- a. Aliran berubah cepat (*Rapidly varied flow*), dimana parameter hidrolis berubah secara mendadak dan kadang-kadang juga tidak kontinyu (*discontinue*).
- b. Aliran berubah beraturan (*Gradually varied flow*), dimana parameter hidrolis (kecepatan, tampang basah) berubah secara progresif dari satu tampang ke tampang yang lain.

Penurunan persamaan dasar aliran berubah beraturan dilakukan dengan menggunakan Gambar 2.15. Gambar tersebut merupakan profil muka air dari aliran berubah beraturan pada elemen sepanjang dx yang dibatasi tampang 1 dan 2. Secara umum tinggi tekanan total terhadap garis referensi pada setiap tampang adalah :

$$H = z + d \cos \theta + \frac{V^2}{2g} \quad (2.43)$$

dimana,

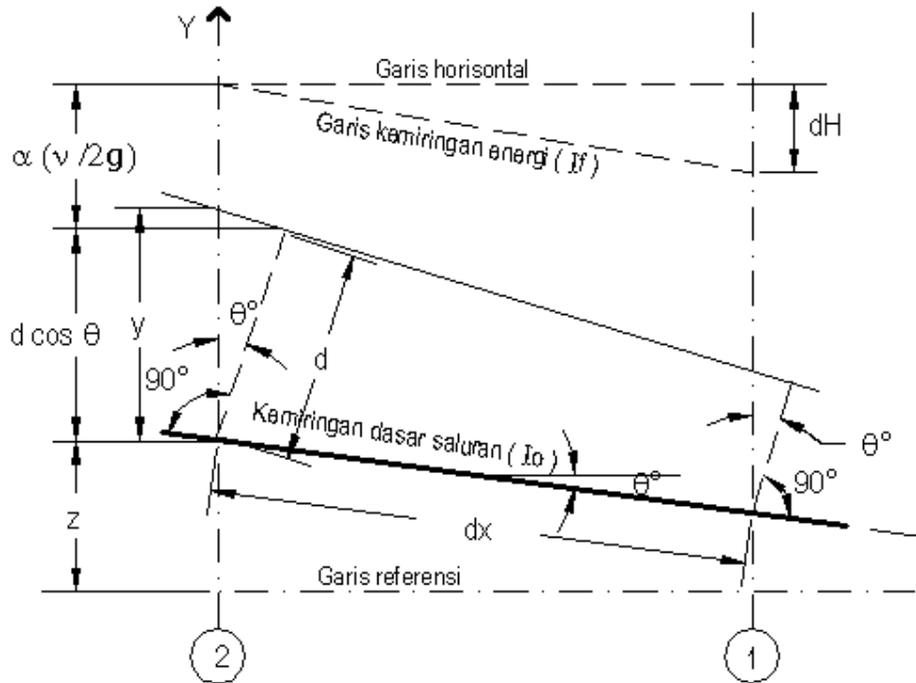
H = Tinggi tekanan total

z = Jarak vertikal dasar saluran terhadap garis referensi

d = Kedalaman aliran dihitung terhadap garis tegak lurus dasar

θ = Sudut kemiringan dasar saluran

V = Kecepatan pada aliran rerata pada setiap tampang



Gambar 2.13 Penurunan persamaan *Steady Gradually Varied Flow*

Secara umum tinggi tekanan total terhadap garis referensi pada setiap tampang adalah :

$$H = z + d \cos \theta + \frac{V^2}{2g} \quad (2.43)$$

jika θ kecil maka $\cos \theta \approx 1$ dan $d \cos \theta \approx y$

$$H = z + y + \frac{V^2}{2g} \quad (2.44)$$

Jika persamaan diatas di diferensialkan terhadap sumbu x , $\frac{dH}{dx}$, maka akan menghasilkan :

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{d}{dx} \left[\frac{V^2}{2g} \right] \quad (2.45)$$

Dalam hal ini $-\frac{dH}{dx}$ merupakan Kemiringan garis energi atau I_f dan $-\frac{dz}{dx}$ merupakan Kemiringan dasar saluran atau I_o

$$I_f = -\frac{dH}{dx} \quad (2.46)$$

$$I_o = -\frac{dz}{dx} \quad (2.47)$$

Persamaan (2.46) dan (2.47) dimasukkan kedalam persamaan (2.45) maka menjadi :

$$-I_f = -I_o + \frac{dy}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

$$I_o - I_f = \frac{dy}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

$$I_o - I_f = \frac{dy}{dx} \left(1 + \frac{d}{dx} \left(\frac{V^2}{2g} \right) \right)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{I_o - I_f}{1 + \frac{d}{dx} \left(\frac{V^2}{2g} \right)} \quad (2.48)$$

Perubahan tinggi kecepatan

$$\begin{aligned} \frac{d}{dy} \left(\frac{V^2}{2g} \right) &= \frac{Q^2}{2g} \frac{dA^{-2}}{dy} = -\frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dy} \\ &= -\frac{Q^2 T}{gA^3} \end{aligned} \quad (2.49)$$

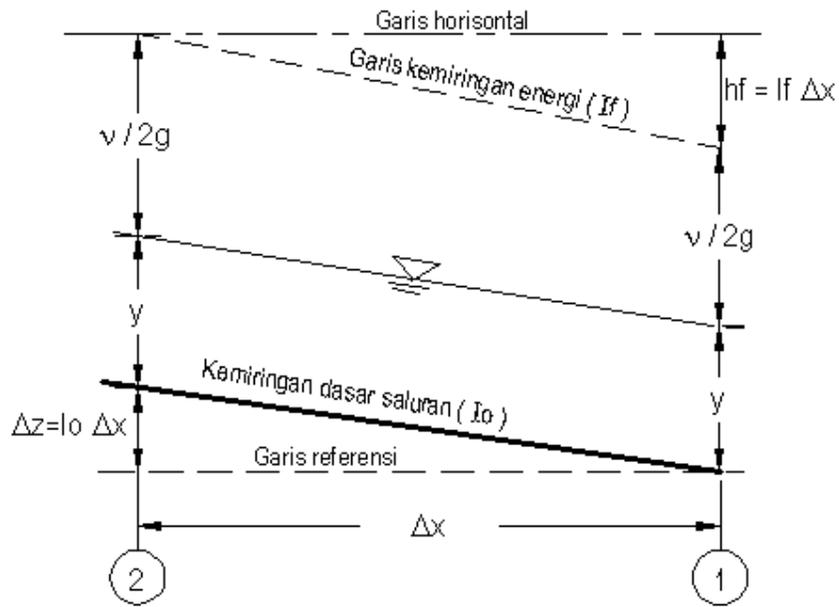
Dengan demikian persamaan (2.48) dapat ditulis dalam bentuk :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{I_o - I_f}{1 - \frac{Q^2 T}{gA^3}} \quad (2.50)$$

Persamaan 2.50 merupakan perubahan kedalaman air di saluran di sepanjang sumbu x.

Ada beberapa metoda yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan (2.50), salah satu diantaranya adalah metode langkah langsung (*Direct Step Method*). Metode langkah langsung dilakukan dengan membagi saluran menjadi sejumlah pias dengan panjang Δx .

Gambar 2.16. menunjukkan pias saluran antara tampang 1 dan 2 yang berjarak Δx .



Gambar 2.14 Metode tahapan langsung

Metode tahapan langsung dikembangkan dari persamaan energi berikut ini:

$$z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + hf \quad (2.51)$$

dimana,

z = Ketinggian dasar saluran dari garis referensi

y = Kedalaman air dari dasar saluran

V = Kecepatan rata-rata pada setiap tampang

g = Percepatan gravitasi

hf = Kehilangan energi karena gesekan dasar saluran

Dari Gambar 2.16 diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + hf \quad (2.51)$$

$$\underbrace{\Delta z + y_1 + \frac{V_1^2}{2g}}_{E_1} = \underbrace{y_2 + \frac{V_2^2}{2g}}_{E_2} + hf \quad (2.52)$$

Mengingat $\Delta z = I_o * \Delta x$ dan $hf = I_f * \Delta x$ maka dari persamaan (2.52) didapat :

$$E_1 + I_o * \Delta x = E_2 + I_f * \Delta x \quad (2.53)$$

$$\Delta x = \frac{E_2 - E_1}{I_o - I_f} \quad (2.54)$$

Prosedur perhitungannya dimulai dengan kedalaman yang diketahui (y_1), yang diperoleh dari hubungan kedalaman debit. Untuk kedalaman berikutnya (y_2) diasumsikan, dan hitung jarak Δx antara kedua kedalaman tersebut dengan persamaan (2.54).