

BAB III LANDASAN TEORI

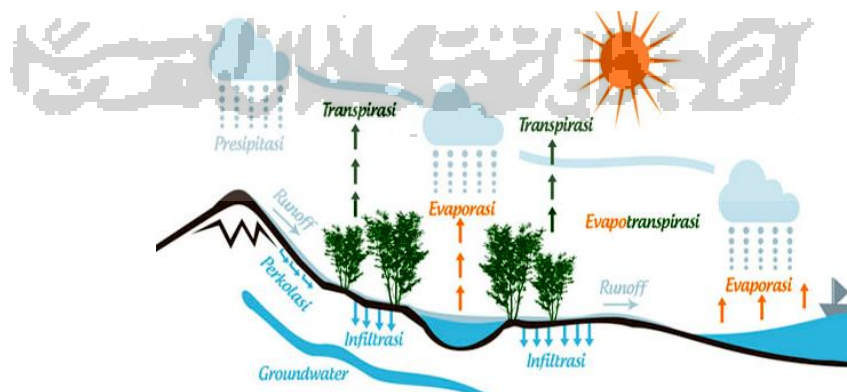
3.1 HIDROLOGI

Hidrologi adalah suatu ilmu mempelajari pergerakan, distribusi, dan hubungan dengan lingkungannya. Secara khusus hidrologi didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari system kejadian air diatas, pada permukaan, dan di dalam tanah. Definisi tersebut terbatas pada hidrologi rekayasa. Secara luas hidrologi meliputi pula berbagai bentuk air, termasuk transformasi antara keadaan cair, padat, dan gas dalam atmosfer, diatas dan di bawah permukaan tanah. Di dalamnya tercakup pula air laut yang merupakan sumber dan penyimpanan air yang mengaktifkan kehidupan di planet bumi ini (Soemarto, 1995).

Analisis hidrologi dilakukan untuk mendapatkan karakteristik hidrologi dan meteorologi daerah aliran sungai. Tujuannya adalah untuk mengetahui karakteristik hujan, debit air yang ekstrim maupun yang wajar yang akan digunakan sebagai dasar analisis selanjutnya dalam pelaksanaan detail desain

3.1.1 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi adalah gerakan air di permukaan tanah ke udara kemudian jatuh ke permukaan tanah dan akhirnya mengalir ke laut. Seperti pada Gambar 3.1 sebagai berikut



Gambar 3.1 Daur Hidrologi
(www.miamidish.net)

Gambar 3.1 menunjukkan air laut menguap menjadi uap air kemudian, uap air tersebut bergerak dan naik ke atmosfer, yang kemudian mengalami kondensasi dan berubah menjadi titik-titik air yang berbentuk awan. Presipitasi yang terjadi karena adanya tabrakan antara butir-butir uap air akibat desakan angin, dapat berbentuk hujan dan salju. Setelah jatuh ke permukaan tanah akan menimbulkan limpasan (*runoff*) yang mengalir kembali ke laut. Dalam usahanya untuk mengalir kembali ke laut beberapa diantaranya masuk ke dalam tanah (*infiltration*) dan bergerak terus ke bawah (perkolasi) ke dalam daerah jenuh (*saturated zone*) yang terdapat di bawah permukaan air tanah atau yang juga dinamakan permukaan freatik. Air dalam daerah ini bergerak perlahan-lahan melewati akuifer masuk ke sungai atau kadang-kadang langsung masuk ke laut.

Air yang masuk ke dalam tanah (*infiltration*) memberi hidup kepada tumbuhan namun ada diantaranya naik ke atas lewat akuifer diserapkan dan batangnya, sehingga terjadi transpirasi, yaitu evaporasi (penguapan) lewat tumbuhan melalui bagian bawah daun (*stomata*). Air tertahan di permukaan tanah (*surface detention*) sebagian besar mengalir masuk ke sungai sebagai limpasan permukaan (*surface runoff*) ke dalam palung sungai.

3.1.2 Daerah Aliran Sungai

Daerah aliran sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung gunung/pegunungan di mana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu titik/stasiun yang ditinjau. DAS ditentukan dengan menggunakan peta topografi yang dilengkapi dengan garis-garis kontur. Untuk maksud tersebut dapat digunakan peta topografi dengan skala 1:50.000, yang dapat diperoleh dari Direktorat Geologi, Dinas Topografi Angkatan Darat atau instansi lain. Garis-garis kontur dipelajari untuk menentukan arah dari limpasan permukaan. Limpasan berasal dari titik-titik tertinggi dan bergerak menuju titik-titik yang lebih rendah dalam arah tegak lurus dengan garis-garis kontur. Daerah yang dibatasi oleh garis yang menghubungkan titik-titik tertinggi tersebut adalah DAS. (Triatmodjo,2010) lebih jelasnya dapat dilihat Gambar 3.2 sebagai berikut



Gambar 3.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)

3.1.3 Curah hujan wilayah

Data curah hujan dan debit merupakan data yang paling fundamental dalam perencanaan saluran drainase. Ketetapan dalam memilih lokasi dan peralatan baik curah hujan maupun debit merupakan factor yang menentukan kualitas data yang diperoleh. Analisis data hujan dimaksudkan untuk mendapatkan besaran curah hujan dan analisis statistic yang diperhitungkan dalam perhitungan debit banjir rencana. Data curah hujan yang dipakai untuk perhitungan debit banjir adalah hujan yang terjadi pada *catchment area* yang ikut mempengaruhi besarnya debit limpasan banjir yang masuk kedalam saluran drainase.

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air, rancangan pengendalian banjir, serta saluran drainase adalah curah hujan rata-rata pada daerah yang ditinjau, bukan curah hujan pada satu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan area dan dinyatakan dalam mm.

Dalam menentukan curah hujan rerata pada daerah yang ditinjau terdapat 3 macam cara yaitu dengan cara metode rerata aritmatik(aljabar), metode poligon Thiessen dan metode Isohiet. Terdapat kriteria-kriteria yang dapat dijadikan acuan dalam memilih metode menentukan curah hujan.

1. Metode rerata aritmatik

Metode rerata aritmatik merupakan cara perhitungan paling sederhana untuk menghitung hujan rerata pada suatu daerah. Pengukuran yang dilakukan di beberapa stasiun dalam waktu yang bersamaan dijumlahkan dan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun. Metode rerata dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\bar{p} = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{n} \quad (3.1)$$

Dengan

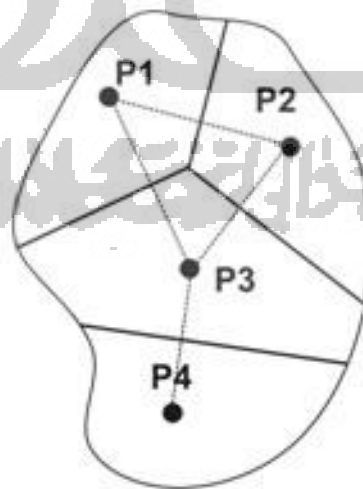
\bar{p} = curah hujan rerata kawasan

p_1, p_2, \dots, p_n = curah hujan rerata pada stasiun 1, 2, ..., n

n = jumlah stasiun

2. Metode poligon thiessen

Metode ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Meskipun belum dapat memberikan bobot yang tepat sebagai sumbangan satu stasiun hujan untuk hujan daerah, metode ini telah memberikan bobot tertentu kepada masing-masing stasiun sebagai fungsi jarak stasiun hujan. Metode poligon thiessen dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.



Gambar 3.3 Metode Poligon Thiessen

$$\bar{p} = \frac{p_1 A_1 + p_2 A_2 + \dots + p_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (3.2)$$

dengan

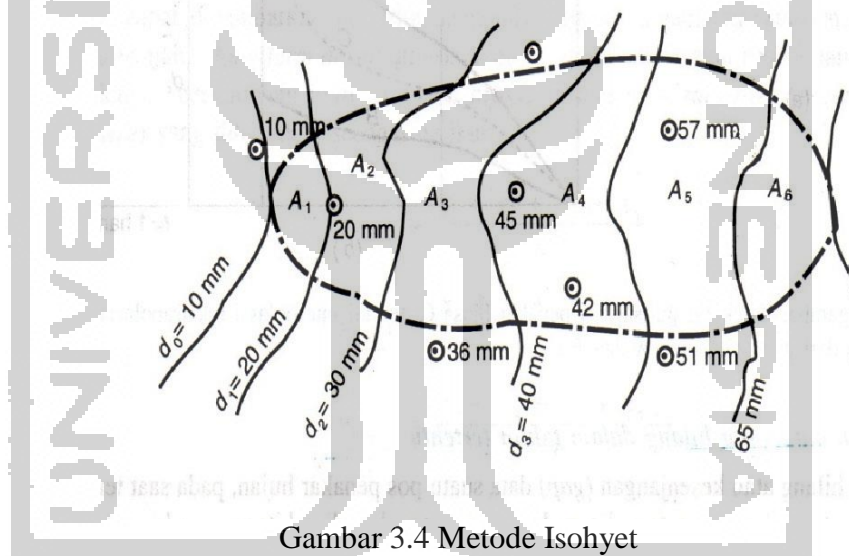
\bar{p} = curah hujan rerata kawasan

p_1, p_2, \dots, p_n = curah hujan rerata pada stasiun 1, 2, ..., n

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas wilayah yang diwakili stasiun 1, 2, ..., n

3. Metode isohyet

Metode ini memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan. Metode ini cocok untuk daerah berbukit dan tidak teratur dengan luas lebih dari 5000 km². Metode isohyet dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.



Gambar 3.4 Metode Isohyet

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[A_{i-1} \left(\frac{p_{i-1} + p_i}{2} \right) \right]}{\sum A} \quad (3.3)$$

Dengan

\bar{p} = curah hujan rerata kawasan

p_1, p_2, \dots, p_n = curah hujan rerata pada stasiun 1, 2, ..., n

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas wilayah yang diwakili stasiun 1, 2, ..., n

Pemilihan metode mana yang cocok dipakai DAS dapat ditentukan dengan mempertimbangkan tiga faktor berikut.

Tabel 3.1 Kriteria metode Hujan rerata

Metode	Luas DAS	Jumlah pos curah hujan	Topografi
Metode rerata aljabar	<500km ²	Pos hujan terbatas	Pegunungan
Metode poligon thiessen	500-5000km ²	Pos hujan terbatas	Dataran
Metode isohyet	>5000km ²	Pos hujan cukup	Berbukit dan tidak beraturan

(sumber: Suripin, 2003)

3.1.4 Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana digunakan untuk meramalkan besarnya hujan dengan periode ulang tertentu. 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 tipe 1, sebaran Log Pearson tipe III, sebaran Normal dan sebaran Log Normal. Secara sistematis metode analisis frekuensi perhitungan hujan rencana dilakukan secara berurutan sebagai berikut

1. Tendensi Sentral

Nilai rerata (*average*) dapat digunakan untuk pengukuran suatu distribusi; dan mempunyai bentuk berikut ini

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.4)$$

Dengan;

\bar{x} = rerata

x_i = variable random

n = jumlah data

2. Dispersi

Tidak semua variat dari variable hidrologi sama dengan nilai reratanya, tetapi ada yang lebih besar atau lebih kecil. Besarnya derajat sebaran variat di sekitar nilai reratanya disebut varian (*variance*) atau penyebaran (disperse,

dispersion). Penyebaran data dapat diukur dengan deviasi standar (*standar deviation*) dan varian dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.5)$$

Dengan

s = 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

3. Koefisien Varian

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

$$C_v = \frac{s_d}{x} \quad (3.6)$$

Dengan

C_v = koefisien variasi curah hujan

s_d = standar deviasi curah hujan

x = nilai rata-rata curah hujan

4. Koefisien Kemencengan

Koefisien Kemencengan (*coefficient of skewness*) dapat digunakan untuk mengetahui derajat ketidak-simetrisan (*asymmetry*) dari suatu bentuk distribusi. Kemencengan dapat dihitung sebagai berikut.

$$C_s = \frac{\alpha}{\sigma^3} \quad (3.7)$$

$$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2 \quad (3.8)$$

Untuk sampel :

$$C_s = \frac{a}{S_d^3} \quad (3.9)$$

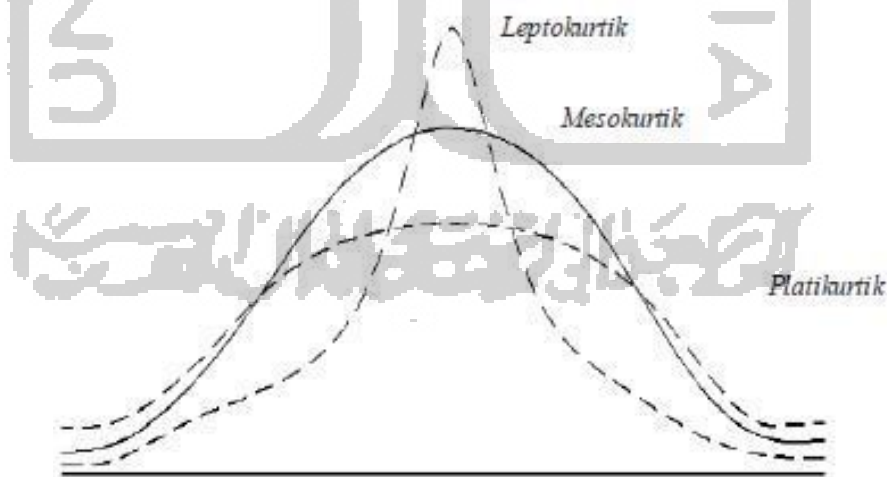
$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (3.10)$$

Dengan

- 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
- X = nilai rata-rata dari data sampel curah hujan
- X_i = curah hujan ke i
- n = jumlah data curah hujan
- a = parameter kemencengan

5. Koefisien kurtosis

Koefisien kurtosis adalah parameter keempat untuk mengukur distribusi variable yang merupakan tingkat kepuncakan dari sebuah distribusi yang biasanya diambil secara relatif terhadap suatu distribusi normal. Biasanya hal itu dibandingkan dengan distribusi normal yang mempunyai koefisien kurtosis sama dengan 3, yang dinamakan mesokurtik.



Gambar 3.5 Koefisien Kurtosis

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 \quad (3.11)$$

dengan

x = nilai rata-rata curah hujan

x_i = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke i

n = jumlah data curah hujan

6. Jenis Distribusi Sebaran

Tabel 3.2 Parameter statistik untuk menentukan jenis distribusi

No	Distribusi	Persyaratan
1	Normal	$C_s \approx 0$
		$C_k \approx 3$
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v = 0,90$
		$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3 = 4,48$
3	Gumbel	$C_s = 1,14$
		$C_k = 5,4$
4	Log Pearson III	Selain di nilai diatas

(sumber: Triatmodjo,2008)

Pada penelitian jenis distribusi yang sesuai dengan kriteria ialah distribusi Log Pearson III. Berikut langkah-langkah penggunaan distribusi Log Pearson III

- Ubah data ke dalam bentuk logaritmis $y = \log x$
- Menghitung harga rata-rata :

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y}{n} \quad (3.12)$$

- Menghitung standar deviasi(s) :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}{n - 1}} \quad (3.13)$$

- Menghitung koefisien *skewness*(C_s) :

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^3}{(n - 1)(n - 2)s^3} \quad (3.14)$$

- e. Menghitung logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T dengan rumus :

$$\text{Log } X_T = \text{Log } \bar{X} + K \cdot s \quad (3.15)$$

dengan :

X_T = curah hujan kala ulang T tahun

K = variabel standar yang ditentukan oleh besarnya Cs

3.1.5 Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan adalah 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. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau (Suripin, 2004)

Rumus yang digunakan adalah rumus oleh Dr Mononobe, intensitas hujan dapat dihitung dengan rumus dibawah ini:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left[\frac{24}{t} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (3.16)$$

Dengan

I = intensitas hujan(mm/jam)

t = lamanya hujan(jam)

R_{24} = curah hujan maksimum harian (selama 24 jam satuan mm)

3.1.6 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi yaitu waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran DAS (titik kontrol). Menurut Suripin (2004) waktu konsentrasi dapat juga dapat dihitung dengan membedakannya menjadi dua komponen yaitu waktu yang diperlukan air untuk mengalir di permukaan lahan sampai saluran terdekat (t_0) dan waktu perjalanan dari pertama masuk saluran sampai titik keluaran (t_d). Berikut adalah persamaan yang dipakai.

$$t_c = t_0 + t_d \quad (3.17)$$

$$t_0 = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{s}} \right)^{0,167} \quad (3.18)$$

$$t_d = \frac{L_s}{60 \times V} \quad (3.19)$$

Dengan

t_c = waktu yang diperlukan air untuk menempuh dari titik terjauh jatuh air sampai dengan titik kontrol saluran.(menit)

t_0 = waktu yang diperlukan air untuk menempuh dari titik terjauh jatuh air di lahan sampai dengan titik saluran drainase.(menit)

t_d = waktu yang diperlukan air untuk menempuh dari titik terjauh air di saluran drainase sampai dengan titik kontrol saluran drainase.(menit)

n = Angka kekasaran Manning,

s = Kemiringan lahan,

L = Panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m),

L_s = Panjang lintasan aliran di dalam saluran/sungai (m),

V = Kecepatan aliran di dalam saluran (m/detik).

3.1.7 Faktor Limpasan

Faktor limpasan merupakan faktor atau angka yang dikalikan dengan koefisien *runoff* biasa dengan tujuan agar kinerja saluran tidak melebihi kapasitasnya akibat daerah pengaliran yang terlalu luas. Nilai faktor limpasan (f_k) disesuaikan dengan kondisi permukaan tanah dapat dilihat Tabel 3.4

Tabel 3.4 Nilai C berdasarkan jenis daerah dan kondisi permukaan

Diskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien aliran, C
Business	
Perkotaan	0,70 – 0,95
Pinggiran	0,50 – 0,70
Perumahan	
Rumah tunggal	0,30 – 0,50
Multiunit, terpisah	0,40 – 0,60
Multiunit, tergabung	0,60 – 0,75

Diskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien aliran, C
Perkampungan	0,25 – 0,40
Apartemen	0,50 – 0,70
Industri	
Ringan	0,50 – 0,80
Berat	0,60 – 0,90
Perkerasan	
Aspal dan beton	0,70 – 0,95
Batu bata, paving	0,50 – 0,70
Atap	0,75 – 0,95
Halaman, tanah berpasir	
Datar 2%	0,05 – 0,10
Rata-rata, 2-7%	0,10 – 0,15
Curam, 7%	0,15 – 0,20
Halaman, tanah berat	
Datar 2%	0,13 – 0,17
Rata-rata, 2-7%	0,18 – 0,22
Curam, 7%	0,25 – 0,35
Halaman kereta api	0,10 – 0,35
Taman tempat bermain	0,20 – 0,35
Taman, pekuburan	0,10 – 0,25
Hutan	
Datar, 0 % - 5%	0,10 – 0,40
Bergelombang 5% - 10%	0,25 – 0,50
Berbukit 10% - 30%	0,30 – 0,60

(Sumber: Suripin, 2004)

Bila daerah pengaliran atau daerah layanan terdiri dari beberapa tipe kondisi permukaan yang mempunyai nilai C yang berbeda, harga C rata-rata ditentukan dengan persamaan berikut

$$C = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots + C_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (3.20)$$

Dengan

C_1, C_2, \dots, C_n = Koefisien pengaliran yang sesuai dengan tipe kondisi permukaan

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah pengaliran yang diperhitungkan sesuai dengan kondisi permukaan

3.1.8 Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah laju aliran puncak yang dihitung berdasarkan beberapa parameter yaitu intensitas hujan, durasi hujan, frekuensi hujan, luas DAS, abstraksi dan konsentrasi aliran. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah Metode Rasional. Metode ini sering digunakan dalam perencanaan dengan DAS yang relatif kecil, yaitu kurang dari 300 ha. Berikut adalah persamaan Metode Rasional.

$$Q = 0,002778CIA \quad (3.21)$$

dengan

Q = debit puncak yang ditimbulkan oleh hujan dengan intensitas durasi dan frekuensi tertentu (m^3/d)

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas daerah tangkapan (ha)

C = Koefisien Aliran yang tergantung pada jenis permukaan lahan, yang nilainya diberikan dalam Tabel 3.4

3.2 ANALISIS HIDROLIKA

Analisis hidrolika merupakan analisis lanjutan dari analisis hidrologi sebagai penentuan bentuk dimensi saluran berdasarkan evaluasi dari kapasitas saluran drainase dengan debit yang direncanakan.

Drainase secara umum merupakan saluran yang saling berhubungan dan berkelanjutan sebagai tempat aliran air yang berasal dari air hujan, rembesan, maupun dari kelebihan air dari bangunan-bangunan air dari suatu kawasan/lahan, untuk dialirkan atau dialihkan sehingga kawasan/lahan tersebut tidak tergenang air

yang dapat mengganggu aktivitas. Saluran drainase terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan permukaan bebas yang terbuka terhadap tekanan atmosfer.

Drainase terdiri dari saluran penerima (*interceptor drain*), saluran pengumpul (*collector drain*), saluran pembawa (*conveyor drain*), saluran induk (*main drain*), dan badan air penerima (*receiving water*). Disepanjang system sering dijumpai bangunan lainnya seperti gorong-gorong siphon, jembatan air (*aqueduct*), pelimpah, pintu-pintu air, bangunan terjun, kolam tando, dan stasiun pompa. Pada system yang lengkap, sebelum masuk pada badan air penerima, air diolah dahulu di Instalasi Pengolah Air Limbah (IPAL), khususnya pada system tercampur. Hanya air yang memenuhi baku mutu tertentu yang dimasukkan ke badan air penerima, sehingga tidak merusak lingkungan (Suripin, 2004)

Pemahaman yang baik terhadap permasalahan dan didukung dengan dasar teori yang baik mengenai system saluran drainase harus dimiliki oleh setiap perencana sehingga mampu merencanakan saluran drainase yang baik, murah, dan efektif.

Dalam menghitung kapasitas saluran dapat menggunakan rumus *Manning*, sebagai berikut:

$$Q = V \times A \quad (3.22)$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (3.23)$$

$$S = \frac{\Delta h}{L} \quad (3.24)$$

dengan:

Q = Debit aliran (m³/det)

A = Luas penampang basah (m²)

V = Kecepatan aliran (m/det)

R = jari-jari hidrolis

S = Kemiringan dasar aliran

Δh = Beda tinggi hulu ke hilir

L = Panjang saluran

n = Koefisien manning

nilai koefisien manning dapat dilihat ada Tabel 3.5 sebagai berikut :

Tabel 3.5 Nilai Koefisien Manning

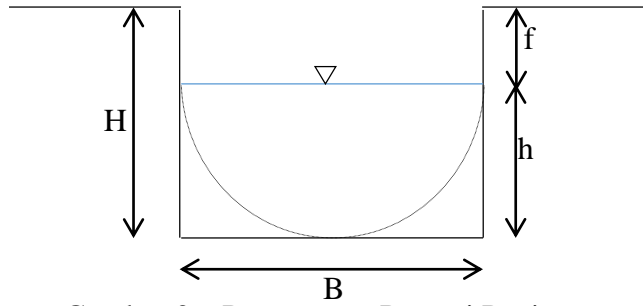
Bahan	Koefisien Manning
Besi tuang dilapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Bata dilapis mortar	0,015
Pasangn batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
Saluran pada galian batu padas	0,040

(sumber : Triatmodjo, 2008)

Potongan melintang saluran yang paling ekonomis adalah saluran yang dapat melewati debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran, dan kemiringan dasar tertentu. Berdasarkan persamaan kontinuitas, tampak jelas bahwa untuk luas penampang melintang tetap, debit maksimum dicapai jika kecepatan aliran maksimum. Dari rumus Manning dapat dilihat bahwa untuk kemiringan dasar dan kekasaran tetap, kecepatan maksimum dicapai jika jari-jari hidrolis, R , maksimum. Selanjutnya untuk luas penampang tetap, jari-jari hidrolis maksimum jika keliling basah, P , minimum. Jenis-jenis penampang saluran drainase sebagai berikut :

1. Penampang berbentuk segi empat

Perencanaan saluran dengan penampungan segiempat berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan dengan debit yang besar. Sifat alirannya terus menerus dengan fluktuasi kecil (Suripin, 2003). Berikut rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan:



Gambar 3.6 Penampang Persegi Panjang

- a. Luas penampang basah (A)

$$A = B \times h \quad (3.25)$$

- b. Keliling basah (P)

$$P = B + 2h \quad (3.26)$$

- c. Jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{b \times h}{B + 2h} \quad (3.27)$$

- d. Tinggi jagaan (f)

$$f = 5\% - 30\% \quad (3.28)$$