

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Banjir merupakan peristiwa alam yang dapat menimbulkan kerugian harta benda penduduk serta dapat pula menimbulkan korban jiwa. Banjir adalah peristiwa yang terjadi ketika aliran air yang berlebihan merendam daratan (Sumber: <http://id.wikipedia.org/wiki/Banjir>, Diakses 8 April 2013). Banjir juga dapat diartikan sebagai luapan air yang terjadi melebihi kapasitas sungai, saluran maupun tampungan air akibat hujan yang terjadi. Jika dilihat akar permasalahan banjir di perkotaan terutama di Kota Surabaya berawal dari pertumbuhan penduduk yang sangat cepat, di atas rata-rata pertumbuhan nasional, akibat urbanisasi, baik migrasi musiman maupun permanen.

Pertambahan penduduk serta pembangunan terus menerus yang tidak diimbangi dengan sarana dan prasarana memadai mengakibatkan sistem drainase di perkotaan diabaikan, sehingga pada saat terjadi hujan dengan intensitas yang tinggi terjadi genangan bahkan banjir. Di sisi lain masalah banjir Surabaya makin parah karena kondisi topografi, sifat tanah, tingginya curah hujan, meningkatnya pasang naik dan perubahan tata guna lahan yang ekstrim. Karena itulah masalah banjir patut diperhatikan dengan serius karena sangat mempengaruhi keberlanjutan Kota Surabaya.

2.2. Drainase

Drainase berasal dari bahasa Inggris *drainage* mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang atau mengalihkan air. Dalam bidang teknik sipil, drainase secara umum dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan atau lahan, sehingga fungsi kawasan atau lahan tersebut tidak terganggu. Drainase dapat juga diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas. Jadi, drainase menyangkut tidak hanya air permukaan tapi juga air tanah (Suripin, 2003:7). Drainase secara umum didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari usaha untuk mengalirkan air yang berlebihan dalam suatu konteks pemanfaatan tertentu (Halim Hasmar, 2012:1). Sementara itu, menurut Suhardjono (1984:1) drainase adalah suatu cara pembuangan kelebihan air yang tidak diinginkan pada suatu daerah, serta cara-cara penanggulangan akibat yang ditimbulkan oleh kelebihan air tersebut.

Jenis drainase menurut Suhardjono (1984:3) dibedakan menjadi 2, ditinjau dari fungsinya dan cara pengalirannya.

1. Ditinjau dari fungsinya

a. Drainase Pertanian

Sistem drainase yang direncanakan di areal pertanian untuk mencegah genangan yang mengakibatkan kerusakan atau kematian tanaman.

b. Drainase Perkotaan atau Pemukiman

Sistem drainase di daerah perkotaan atau pemukiman atau pusat pendidikan untuk mencegah terjadinya banjir yang menimbulkan kerusakan atau kerugian dan terganggunya aktivitas kehidupan.

c. Drainase Pusat Industri

Drainase ini biasanya dititik beratkan pada usaha pencegahan terjadinya polusi atau pencemaran air buangan.

d. Drainase Jalan Raya atau Lapangan Terbang

Direncanakan di sisi kiri atau kanan jalan raya dan landasan (run-way) agar tidak terjadi banjir yang mengganggu lalu lintas atau membahayakan penerbangan dan merusak konstruksi tubuh jalan.

2. Ditinjau dari cara pengalirannya

a. Sistem Gravitasi

Saluran drainase yang mengalirkan air dengan memanfaatkan tinggi tempat (gaya gravitasi).

b. Sistem Pompa

Drainase yang menggunakan tenaga pompa untuk membuang air, hal ini karena keadaan topografi daerah setempat (areal yang akan didrain lebih rendah dari tempat pembuangannya).

Sementara itu, menurut Halim Hasmar (2012:3), jenis drainase dibagi menjadi 4, menurut sejarah terbentuknya, letak saluran, fungsi drainase dan konstruksinya.

1. Menurut Sejarah Terbentuknya

a. Drainase Alamiah (*Natural Drainage*)

Terbentuk secara alami, tidak ada unsur campur tangan manusia.

b. Drainase Buatan (*Artificial Drainage*)

Dibentuk berdasarkan analisis ilmu drainase, untuk menentukan debit akibat hujan, kecepatan resapan air dalam lapisan tanah dan dimensi saluran.

2. Menurut Letak Saluran

a. Drainase Muka Tanah (*Surface Drainage*)

Saluran drainase yang berada di atas permukaan tanah yang berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan. Analisa alirannya merupakan analisa *open cannel flow*.

b. Drainase Bawah Tanah (*Sub Surface Drainage*)

Saluran drainase yang bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media di bawah permukaan tanah (pipa-pipa) dikarenakan alasan-alasan tertentu.

3. Menurut Fungsi Drainase

a. Single Purpose

Saluran berfungsi mengalirkan satu jenis air buangan saja.

b. Multi Purpose

Saluran berfungsi mengalirkan beberapa jenis buangan, baik secara bercampur maupun bergantian.

4. Menurut Konstruksi

a. Saluran Terbuka

Saluran untuk air hujan yang terletak di area yang cukup luas. Juga untuk saluran air non hujan yang tidak mengganggu kesehatan lingkungan.

b. Saluran Tertutup

Saluran untuk air kotor yang mengganggu kesehatan lingkungan. Juga untuk saluran dalam kota.

2.3. Analisa Hidrologi

Perencanaan saluran drainase, baik drainase perkotaan, pertanian maupun drainase pasang surut sudah pasti membutuhkan analisa hidrologi, karena dalam perencanaan saluran drainase, salah satu komponen utama yang harus diperhitungkan adalah jumlah air yang masuk ke saluran drainase, seperti air hujan dan limbah rumah tangga/industri. Data-data tersebut dapat kita peroleh dengan analisa hidrologi, sehingga analisa hidrologi menjadi bagian penting dalam perencanaan saluran drainase.

Analisa ini diperlukan untuk menentukan jumlah air yang akan menambah besarnya debit buangan disamping jumlah air hujan di lokasi yang harus dibuang.

Analisa-analisa itu meliputi (Suhardjono, 1984:6) :

1. Air Masuk (*inflow*)

Adalah air dari luar yang masuk atau melewati daerah pembangunan.

Terdiri dari :

- Jumlah hujan di daerah hulu
- Air buangan dari rumah-rumah penduduk
- Sumber-sumber air

2. Air Buangan

Air buangan berasal dari sarana dan prasarana perumahan.

3. Air Sedimen

Jumlah sedimen yang tersangkut dalam aliran perlu diperhatikan karena akan mempengaruhi fungsi saluran. Besar kecilnya sedimen tergantung pada :

- Besar dan deras limpasan permukaan.
- Bentuk dan kemiringan permukaan tanah
- Jenis tanah
- Tanaman di permukaan tanah
- Bangunan-bangunan yang ada

2.3.1. Uji Konsistensi Data

Uji konsistensi berarti menguji kebenaran data lapangan yang tidak dipengaruhi oleh kesalahan pada saat pengiriman atau saat pengukuran, data tersebut harus betul-betul menggambarkan fenomena hidrologi seperti keadaan sebenarnya di lapangan. Dengan kata lain data hidrologi disebut tidak konsisten apabila terdapat perbedaan antara nilai pengukuran dengan nilai sebenarnya (Soewarno, 1995:23). Data hujan disebut konsistensi berarti data yang terukur dan dihitung adalah teliti dan benar sesuai dengan fenomena saat hujan itu terjadi (Soewarno, 2000:199).

2.3.2. Curah Hujan Rerata Daerah

Untuk mendapatkan gambaran mengenai penyebaran hujan di seluruh daerah, di beberapa tempat tersebar pada DAS dipasang alat penakar hujan. Pada daerah aliran kecil kemungkinan hujan terjadi merata di seluruh daerah, tetapi tidak demikian pada daerah aliran yang besar, hujan di berbagai tempat pada DAS yang besar tidak sama, sedangkan pos-pos penakar hujan hanya mencatat hujan di suatu titik tertentu.

Selain berdasarkan stasiun pengamatan, curah hujan daerah dapat dihitung dengan parameter luas daerah tinjauan sebagai berikut :

- a. Untuk daerah tinjauan dengan luas 250 ha dengan variasi topografi kecil dapat diwakili oleh sebuah stasiun pengamatan.
- b. Untuk daerah tinjauan dengan luas 250-50.000 ha yang memiliki 2 atau 3 stasiun pengamatan dapat menggunakan metode rata-rata aljabar.
- c. Untuk daerah tinjauan dengan luas 120.000-500.000 ha yang memiliki beberapa stasiun pengamatan tersebar cukup merata dapat menggunakan metode rata-rata aljabar, tetapi jika stasiun pengamatan tersebar tidak merata dapat menggunakan metode Thiessen.
- d. Untuk daerah tinjauan dengan luas lebih dari 500.000 ha menggunakan metode Isohyet atau metode potongan antara.

Pada daerah lokasi studi digunakan satu stasiun hujan karena luas wilayah kurang dari 250 ha dengan variasi topografi yang kecil.

2.3.3. Analisa Curah Hujan Rancangan

Dalam perencanaan ini hujan rancangan dipilih cara Log Pearson III (Soemarto, CD, 1995:125) dengan pertimbangan bahwa cara ini lebih fleksibel dan dapat dipakai untuk semua sebaran data. Tahapan untuk menghitung hujan rancangan maksimum dengan metode Log Pearson III adalah sebagai berikut:

- a. Hujan bulanan maksimum diubah dalam bentuk logaritma.
- b. Menghitung harga logaritma rata-rata dengan rumus :

$$\overline{\text{LogX}} = \frac{\sum \text{LogXi}}{n} \quad (2-1)$$

- c. Menghitung harga simpangan baku dengan rumus :

$$Sd = \frac{\sum (\text{LogXi} - \overline{\text{LogX}})^2}{n-1} \quad (2-2)$$

- d. Menghitung harga koefisien kemencengan dengan rumus :

$$Cs = \frac{n \sum (\text{LogXi} - \overline{\text{LogX}})^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \quad (2-3)$$

- e. Menghitung logaritma hujan rancangan dengan kala ulang tertentu dengan rumus :

$$\text{LogX} = \overline{\text{LogX}} + G.Sd \quad (2-4)$$

dengan :

$\text{Log } x$ = Logaritma curah hujan rancangan.

$\overline{\text{Log } x}$ = Logaritma rerata curah hujan.

G = Koefisien frekuensi

Sd = Standar deviasi

2.3.4. Uji Kesesuaian Distribusi

Pengujian analisis curah hujan dilakukan dengan uji Smirnov-Kolmogorof maupun uji Chi-Square untuk mengetahui kesesuaian dari analisis curah hujan terhadap simpangan data vertikal dari plotting data curah hujan.

2.3.4.1. Uji Smirnov – Kolmogorov

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui simpangan horisontal tersebar sebaran teoritis dan sebaran empiris. Simpangan horisontal ini dinyatakan dengan $\Delta_{\text{maks}} < \Delta_{\text{cr}}$ (didapat dari tabel) untuk derajat nyata tertentu, disimpulkan hipotesa distribusi dapat diterima. Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering juga disebut uji kecocokan non parametrik (*non parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut:

- Data curah hujan diurutkan dari kecil ke besar.
- Menghitung persamaan empiris dengan persamaan berikut (Sri Harto,1981:179) :

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (2-5)$$

dengan:

P = Peluang (%)

m = Nomor urut data

n = Jumlah data

- Mencari nilai G

$$G = \frac{(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})}{S} \quad (2-6)$$

dengan :

G = Koefisien Frekuensi

S = Simpangan Baku

- d. Mencari harga Pr dengan melalui tabel distribusi Log Pearson type III.
- e. Menghitung nilai P(x)

$$P(x) = 100 - Pr \quad (2-7)$$

- f. Menghitung Selisih Sn(x) dan P(x)

$$Sn(x) = \text{peluang} \left(\frac{\text{ranking}}{\sum \text{data} + 1} \right) \quad (2-8)$$

- g. Bandingkan perbedaan terbesar dari perhitungan selisih terbesar (Δ_{maks}) dengan Δ_{cr} dari tabel Smirnov-Kolmogorof. Jika harga $\Delta_{\text{maks}} < \Delta_{\text{cr}}$, maka penyimpangan masih dalam batas ijin, yang berarti distribusi hujan pengamatan sesuai dengan model distribusi teoritis.

2.1.4.2. Uji Chi-Square

Uji Chi-Square dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter X^2 , oleh karena itu disebut dengan Chi-Square. Parameter X^2 dapat dihitung dengan rumus (Soewarno,1995;194) :

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2-9)$$

dengan :

E_i = Nilai yang diharapkan (*expected frequency*)

O_i = Nilai yang diamati (*observed frequency*)

Tahapan dalam uji ini adalah sebagai berikut :

- a. Urutkan data pengamatan dari besar ke kecil atau sebaliknya.
- b. Kelompokkan data menjadi G sub grup, tiap-tiap sub grup minimal 4 data pengamatan.
- c. Menjumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub grup
- d. Menjumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i
- e. Untuk tiap-tiap sub grup hitung nilai : $(O_i - E_i)^2$ dan $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
- f. menjumlah nilai $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ pada seluruh G sub grup untuk menentukan nilai Chi Square hitung (X^2 hit).

- g. Menentukan derajat kebebasan, $dk = G - R - 1$
- h. Harga X^2 hit dibandingkan dengan harga X^2 Cr dari table Chi Square dengan dk dan jumlah data (n) tertentu. Apabila X^2 hit $<$ X^2 Cr maka hipotesa distribusi dapat diterima.

2.4. Debit Banjir Rancangan

Debit banjir rancangan adalah jumlah debit air hujan dan debit air kotor. Debit banjir rancangan ini nantinya akan digunakan dalam penentuan kapasitas saluran drainase. Bentuk perumusan dari debit banjir rancangan tersebut sebagai berikut:

$$Q_r = Q_{ah} + Q_{ak} \quad (2-10)$$

dengan:

Q_r = debit banjir rancangan (m^3/dtk)

Q_{ah} = debit air hujan (m^3/dtk)

Q_{ak} = debit air kotor (m^3/dtk)

2.4.1. Debit Air Hujan

Metode yang digunakan untuk menghitung debit air hujan pada saluran-saluran drainase dalam studi ini adalah metode rasional. Rumus ini banyak digunakan untuk sungai-sungai biasa dengan daerah pengaliran yang luas dan juga untuk perencanaan drainase daerah pengaliran yang sempit. Bentuk umum persamaan ini adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,278.C.I.A \quad (2-11)$$

dengan:

Q = debit limpasan (m^3/dtk)

C = koefisien pengaliran

I = intensitas hujan selama waktu tiba banjir (mm/jam)

A = luas daerah (km^2)

0,278 = faktor konversi

Adapun pengertian dari rumus ini adalah jika terjadi curah hujan selama 1 jam dengan intensitas 1 mm/jam dalam daerah seluas 1 km^2 , maka besarnya debit banjir adalah $0,278m^3/dtk$ dimana debit banjir tersebut akan melimpas merata selama 1 jam.

Apabila luas daerah pengaliran antara 0,80 – 50 km^2 , maka metode rasional tersebut harus dimodifikasi dengan memperhitungkan efek penampungan saluran.

Rumus modifikasi metode rasional:

$$Q = 0,278.Cs.C. I. A \quad (2-12)$$

dengan:

Q = debit limpasan (m^3/dtk)

Cs = koefisien penampungan

$$Cs = \frac{2tc}{2tc + td}$$

tc = waktu konsentrasi (menit)

td = lama pengaliran dalam saluran (menit)

2.4.1.1. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran adalah perbandingan antara jumlah air yang mengalir disuatu daerah akibat turunnya hujan dengan jumlah air hujan yang turun di daerah tersebut. Besarnya koefisien pengaliran berubah dari waktu ke waktu sesuai dengan pengaruh pemanfaatan lahan dan aliran sungai. Koefisien pengaliran pada suatu daerah dipengaruhi oleh faktor-faktor penting (Subarkah, 1980:51), yaitu:

- Keadaan hujan
- Luas dan bentuk daerah pengaliran dan kemiringan dasar sungai
- Daya infiltrasi dan perkolasi tanah
- Kemiringan daerah aliran dan kemiringan dasar sungai
- Kebasahan tanah
- Suhu, udara, angin dan evaporasi yang berhubungan dengan itu
- Letak daerah aliran terhadap arah angin
- Daya tampung palung sungai dan daerah sekitarnya

Penentuan nilai koefisien pengaliran suatu daerah yang terdiri dari beberapa jenis tata guna lahan dilakukan dengan mengambil angka rata-rata koefisien pengaliran dan setiap tata guna lahan dengan menghitung bobot masing-masing bagian sesuai dengan luas daerah yang diwakilinya.

Adapun cara perhitungannya dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Suhardjono, 1984:23):

$$C_m = \frac{C_1.A_1 + C_2.A_2 + \dots + C_n.A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2-13)$$

$$C_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i x C_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2-14)$$

dengan:

C_m = koefisien pengaliran rata-rata

C_1, C_2, \dots, C_n = koefisien pengaliran yang sesuai kondisi permukaan

A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah pengaliran yang disesuaikan kondisi permukaan

Besarnya koefisien pengaliran berdasarkan tata guna lahan dan jenis permukaan tanah dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Hubungan Kondisi Permukaan dengan Koefisien Pengaliran

No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)
1.	Jalan beton dan jalan aspal	0,70 - 0,95
2.	Jalan kerikil dan jalan tanah	0,40 - 0,70
3.	Bahu jalan :	
	- tanah berbutir halus	0,40 - 0,65
	- tanah berbutir kasar	0,10 - 0,20
	- batuan massif keras	0,70 - 0,85
	- batuan massif lunak	0,60 - 0,75
4.	Daerah perkotaan	0,70 - 0,95
5.	Daerah pinggiran kota	0,60 - 0,70
6.	Daerah industri	0,60 - 0,90
7.	Pemukiman padat	0,40 - 0,60
8.	Pemukiman tidak padat	0,40 - 0,60
9.	Taman dan kebun	0,20 - 0,40
10.	Persawahan	0,45 - 0,60
11.	Perbukitan	0,70 - 0,80
12.	Pegunungan	0,75 - 0,90

Sumber: Badan Standardisasi Nasional (SNI Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan, 1994:19)

2.4.1.2. Intensitas Hujan Rancangan

Intensitas hujan rancangan adalah tinggi hujan yang jatuh pada suatu kurun waktu dimana air tersebut terkonsentrasi, dan dihitung sesuai periode ulang banjir. Untuk mendapatkan intensitas hujan selama waktu konsentrasi digunakan rumus Mononobe (Subarkah, 1980:20):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left[\frac{24}{t_c} \right]^{2/3} \quad (2-15)$$

dengan :

- I = intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)
- R_{24} = curah hujan maksimum harian dalam 24 jam (mm/jam)
- t_c = waktu konsentrasi (jam)

2.4.1.3. Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan air hujan untuk mengalir dari suatu titik yang paling jauh ke suatu titik tertentu yang ditinjau pada suatu daerah pengaliran. Untuk menghitung waktu konsentrasi dipakai persamaan Kirpich (Subarkah, 1980:50)

$$t_c = \frac{0,0195}{60} \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.77} \quad (2-16)$$

dengan:

- L = panjang saluran (m)
- S = kemiringan rata-rata saluran

2.4.1.4 Luas Daerah Pengaliran

Daerah pengaliran (*catchment area*) adalah daerah tempat curah hujan mengalir menuju saluran. Ditentukan berdasarkan prakiraan dengan pedoman garis kontur yaitu garis-garis yang menghubungkan titik-titik dengan ketinggian yang sama. Luas daerah pengaliran diperkirakan dengan pengukuran daerah itu pada peta topografi (Sosrodarsono, 2003:169). Daerah tangkapan hujan pada perencanaan saluran samping jalan adalah daerah pengaliran yang menerima curah hujan selama waktu tertentu sehingga menimbulkan debit yang harus ditampung oleh saluran samping untuk dialirkan ke saluran induk.

2.4.2 Perhitungan Debit Air Kotor

Debit air kotor adalah debit yang berasal dari buangan rumah tangga, bangunan gedung, instansi dan sebagainya. Besarnya dipengaruhi oleh banyaknya jumlah penduduk dan kebutuhan air rata-rata penduduk. Adapun besarnya kebutuhan air penduduk rata-rata adalah 150 liter/orang/hari. Sedangkan debit air kotor yang harus dibuang di dalam saluran adalah 70% dari kebutuhan air bersih sehingga besarnya air buangan adalah (Suhardjono, 1984:39): $150 \times 70\% = 105 \text{ liter/orang/hari} = 0,00121 \text{ liter/dtk/orang}$

Dengan demikian jumlah air kotor yang dibuang pada suatu daerah setiap km^2 adalah:

$$Q_{ak} = \frac{Pn \times q}{A} \quad (2-17)$$

$$Q_{ak} = \frac{Pn \times 0,00121}{A} \quad (2-18)$$

dengan:

- Q_{ak} = debit air kotor
- Pn = jumlah penduduk (jiwa)
- q = jumlah air buangan (litr/dtk/orang)
- A = luas daerah (km^2)

2.4.2.1 Perhitungan Pertumbuhan Penduduk

Jumlah penduduk saat perencanaan dimulai dan pada tahun yang akan datang harus diperhitungkan untuk menghitung kebutuhan air tiap penduduk. Sehingga dapat diketahui jumlah air kotor (buangan) rumah tangga.

Proyeksi jumlah penduduk pada tahun-tahun yang akan datang dapat digunakan cara perhitungan laju pertumbuhan geometri (*Geometric Rate of Growth*) dan pertumbuhan eksponensial (*Ekspponential Rate of Growth*) atau cara *Aritmatic Rate of Growth*.

a. Pertumbuhan geometrik (*Geometric Rate of Growth*)

Pertumbuhan penduduk diasumsikan mengikuti deret geometris dan rasio pertumbuhan adalah sama untuk setiap tahun. rumus dari pertumbuhan geometris adalah:

$$P_n = P_0(1+r)^n \quad (2-19)$$

dengan :

P_n = jumlah penduduk pada tahun ke n (jiwa/tahun)

P_0 = jumlah penduduk pada awal tahun (jiwa/tahun)

r = angka pertumbuhan penduduk (%)

n = interval waktu (tahun)

b. Pertumbuhan penduduk eksponensial (*Exponential Rate of Growth*)

Pertumbuhan penduduk ini mengasumsikan bahwa pertumbuhan penduduk secara terus-menerus setiap hari dengan angka pertumbuhan konstan. Pengukuran penduduk dengan cara ini tepat karena dalam kenyataannya pertumbuhan penduduk juga berlangsung terus menerus. Ramalan pertambahan penduduk adalah:

$$P_n = P_0 \cdot e^{r \cdot n} \quad (2-20)$$

dengan:

P_n = jumlah penduduk pada tahun ke n (jiwa/tahun)

P_0 = jumlah penduduk pada awal tahun (jiwa/tahun)

e = bilangan logaritma

n = interval waktu (tahun)

r = angka pertumbuhan penduduk (%)

c. Pertumbuhan penduduk cara aritmatika (*Aritmatic Rate of Growth*)

Pada proyeksi pertumbuhan penduduk ini angka pertumbuhan rata-rata berkisar pada prosentase r (angka pertambahan penduduk) yang konstan setiap tahun (Mulianakusuma, 2002:254). Rumus pertumbuhan penduduk cara ini yaitu:

$$P_n = P_0(1+rn) \quad (2-21)$$

dengan:

P_n = jumlah penduduk pada tahun ke n (jiwa/tahun)

P_0 = jumlah penduduk pada awal tahun (jiwa/tahun)

r = angka pertumbuhan penduduk (%)

n = interval waktu (tahun)

2.5. Analisa Hidraulika

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran pada saluran terbuka (*open channel flow*) maupun pada saluran tertutup (*pipe channel flow*). Pada saluran tertutup dapat dengan saluran penuh dengan air (bertekanan) dan saluran tidak penuh air (tidak bertekanan) (Halim Hasmar, 2012:17-18).

2.5.1. Aliran Air Pada Saluran Terbuka

1. Aliran Lunak (*Steady Flow*)

Aliran lunak adalah aliran yang mempunyai kedalaman tetap untuk waktu tertentu.

Aliran lunak di klasifikasi menjadi :

- a. Aliran seragam, tinggi muka air sama pada setiap penampang.
- b. Aliran berubah, kedalaman air berubah di sepanjang saluran.

2. Aliran Tidak Lunak (*Unsteady Flow*)

Aliran ini mempunyai kedalaman aliran yang berubah tidak sesuai dengan waktu. Contoh : banjir.

2.5.2. Aliran Air Pada Saluran Tertutup

Aliran air dalam pipa dapat merupakan aliran yang bertekanan, air penuh mengisi pipa, dapat pula aliran yang tidak bertekanan, air tidak mengisi penuh pipa. Seperti halnya gorong-gorong dapat direncanakan muka air memenuhi sisi atas saluran, merupakan saluran yang bertekanan tidak terdapat muka air bebas, pipa penuh terisi air. Tekanan air dalam pipa ditentukan oleh muka air di kedua ujung pipa. Dapat pula muka air tidak sampai sisi atas saluran yang merupakan saluran tidak bertekanan.

Untuk pipa drain pada saluran drainase bawah muka tanah, ketinggian rencana muka air pada pipa drain rencana lebih kecil dari diameter pipa drain, di atas muka air rencana terdapat lobang-lobang dengan diameter sekitar 0,50 sampai 100 cm, untuk masuknya/mengalirnya air yang berada di dalam tanah ke dalam pipa drain.

2.5.3. Sifat-sifat Aliran

Pada saluran terbuka, aliran yang terjadi pada saluran adalah :

1. Aliran Laminer

Gaya kekentalan (*viscosity*) relatif sangat besar dibandingkan dengan gaya inersia, sehingga kekentalan berpengaruh besar terhadap perilaku aliran. Butir-butir air bergerak menurut lintasan tertentu yang teratur atau lurus. Aliran ini ditandai dengan tidak terjadinya olakan pada muka air (Halim Hasmar, 2012:18).

2. Aliran Turbulen

Gaya kekentalan (*viscosity*) relatif lemah dibandingkan dengan gaya inersia. Butir-butir air bergerak menurut lintasan yang tidak teratur, tidak lancar dan

tidak tetap. Aliran ini ditandai dengan terjadinya olakan pada muka air (Halim Hasmar. 2012:18).

3. Aliran Subkritis

Aliran subkritis adalah aliran yang kecepatan alirannya lebih kecil daripada kecepatan kritis (Suripin, 2003:123).

4. Aliran Kritis

Aliran dikatakan kritis apabila kecepatan aliran sama dengan kecepatan gelombang gravitasi dengan amplitude kecil. Gelombang gravitasi dapat dibangkitkan dengan merubah kedalaman (Suripin, 2003:123).

5. Aliran Superkritis

Sedangkan, aliran superkritis adalah aliran yang kecepatannya alirannya lebih besar daripada kecepatan kritis (Suripin, 2003:123).

2.5.4. Macam - Macam Bentuk Penampang

Saluran drainase jalan menggunakan penampang hidrolis terbaik, yakni dengan luas minimum yang mampu membawa debit maksimum. Secara umum, debit yang mampu dibawa oleh saluran drainase dapat didekati dengan menggunakan persamaan Manning sebagai berikut:

$$Q_{\text{sal}} = V_{\text{sal}} \cdot A_{\text{sal}} \quad (2-22)$$

$$V_{\text{sal}} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_{\text{sal}}^{0.5} \quad (2-23)$$

dengan:

Q_{sal} = debit pada saluran (m^3/dt)

V_{sal} = kecepatan aliran di saluran (m/dt)

A_{sal} = luas penampang basah (m^2)

n = koefisien kekasaran Manning

R = jari-jari hidrolis (m)

S_{sal} = kemiringan dasar saluran

Tabel 2.2 Harga koefisien Manning (n) untuk berbagai tipe saluran

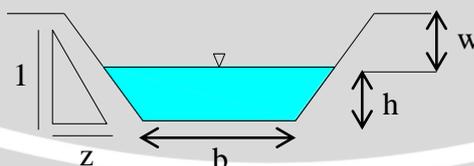
No.	Tipe Saluran	Kondisi		
		Baik	Cukup	Buruk
Saluran Buatan:				
1	Saluran tanah, lurus beraturan.	0.020	0.023	0.025
2	Saluran tanah, digali biasa.	0.028	0.030	0.040
3	Saluran batuan, tidak lurus dan tidak beraturan.	0.040	0.045	0.050
4	Saluran dari pasangan batu tanpa plengsengan	0.020	0.023	0.025
5	Saluran dari pasangan batu dengan pasangan	0.013	0.014	0.015
6	Saluran batuan, lurus beraturan.	0.030	0.033	0.035
7	Saluran batuan, vegetasi pada sisinya.	0.030	0.035	0.040
8	Dasar tanah, sisi batu koral.	0.030	0.030	0.040
9	Saluran berliku-liku kecepatan rendah.	0.025	0.028	0.030
Saluran Alami:				
1	Bersih, lurus, tapi tanpa pasir dan tanpa celah.	0.028	0.030	0.033
2	Bersih, lurus, tapi tanpa pasir, tanpa celah, dengan vegetasi dan kerikil.	0.033	0.035	0.040
3	Berliku, bersih, tapi berpasir dan berlubang.	0.035	0.040	0.045
4	Berliku, bersih, tapi berpasir, berlubang, tidak dalam dan kurang beraturan.	0.045	0.050	0.055
5	Berliku, bersih, tapi berpasir, berlubang, batuan dan vegetasi.	0.040	0.045	0.050
6	Aliran lambat, banyak tanaman dan lubang.	0.050	0.055	0.060
7	Tumbuhan tinggi dan padat.	0.060	0.070	0.080
8	Dengan rumput	0.100	0.125	0.150
Saluran dilapisi:				
1	Batu kosong tanpa adukan semen.	0.015	0.016	0.017
2	Batu kosong dengan adukan semen.	0.030	0.033	0.035
3	Beton	0.020	0.025	0.030
4	Dengan beton pratekan.	0.015	0.016	0.017
5	Lapisan beton sangat halus.	0.016	0.019	0.021
6	Lapisan beton biasa dengan tulangan baja.	0.011	0.012	0.013
7	Lapisan beton biasa dengan tulangan baja.	0.014	0.014	0.015
		0.016	0.016	0.018

(Sumber: Ven te Chow, 1997: 109-112)

Fungsi dan unsur geometris penampang saluran:

a. Trapezium

Berfungsi untuk menyalurkan limbah dan air hujan dengan debit besar yang sifat alirannya terus menerus dengan fluktuasi kecil. Lokasinya pada daerah yang masih cukup lahan.



Gambar 2.1 Penampang saluran trapesium

$$\text{Luas (A)} = (b + zh) h \quad (2-24)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2h\sqrt{1+z^2} \quad (2-25)$$

$$\text{Jari-jari hidrolik (R)} = \frac{(b + zh)h}{b + 2h\sqrt{1+z^2}} \quad (2-26)$$

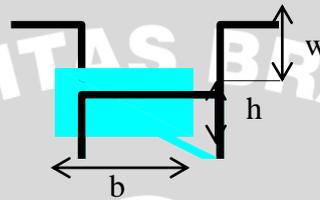
$$\text{Kedalaman hidrolis} = \frac{(b + zh)h}{b + 2zh} \quad (2-27)$$

$$\text{Lebar puncak (T)} = b + 2zy \quad (2-28)$$

$$\text{Faktor penampang (z)} = \frac{((b + zh)h)^{1.5}}{\sqrt{b + 2zh}} \quad (2-29)$$

b. Persegi

Sama dengan trapesium, bedanya adalah dimana lokasi jalur saluran tidak atau kurang tersedia lahan yang cukup.



Gambar 2.2 Penampang saluran persegi

$$\text{Luas (A)} = b \cdot h \quad (2-30)$$

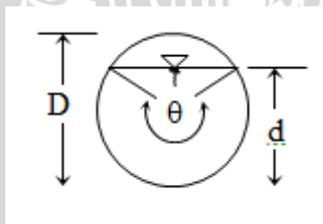
$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2h \quad (2-31)$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{bh}{b + 2h} \quad (2-32)$$

$$\text{Kedalaman hidrolis} = h \quad (2-33)$$

c. Lingkaran

Berfungsi untuk menyalurkan air bersih, limbah dan air hujan. Pada penggunaannya biasanya untuk gorong-gorong atau pipa distribusi air bersih.



Gambar 2.3 Penampang saluran lingkaran

$$\theta = 4,5 \text{ radial} \quad (2-34)$$

$$\text{Kedalaman hidrolis (d)} = 0,80 D \quad (2-35)$$

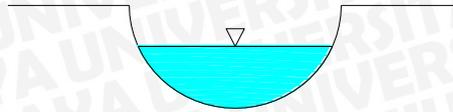
$$\text{Luas penampang basah (A)} = \frac{1}{8} (\theta - \sin \theta) D^2 \quad (2-36)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = 2r \quad (2-37)$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{A}{P} \quad (2-38)$$

d. Setengah lingkaran.

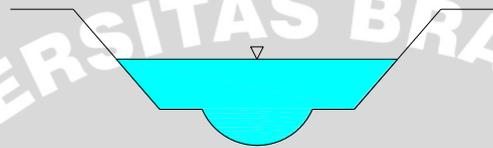
Berfungsi untuk menyalurkan limbah air hujan dengan debit kecil.



Gambar 2.4 Penampang saluran setengah lingkaran

e. Trapesium kombinasi dengan setengah lingkaran.

Sama dengan trapesium berganda, tetapi dengan debit minimum kecil.

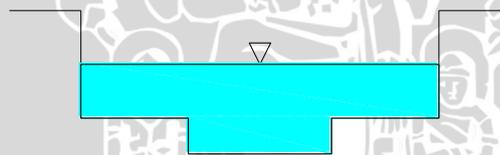


Gambar 2.5 Penampang saluran kombinasi

f. Segiempat berganda.

Sama dengan segiempat, tapi untuk fluktuasi debit yang besar dan dengan debit minimum yang cukup besar pula.

Gambar :



Gambar 2.6 Penampang saluran segiempat berganda

2.5.5. Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan adalah jarak vertikal dari puncak tanggul sampai permukaan air pada kondisi perencanaan. Jagaan direncanakan dapat mencegah luapan air akibat gelombang serta fluktuasi permukaan air. Tinggi jagaan untuk saluran berbentuk trapesium dan segi empat dapat dihitung dengan rumus (SNI Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan, 1994:24) :

$$W = \sqrt{0,5 \times h} \quad (2-39)$$

dengan :

W = tinggi jagaan (m)

h = tinggi air (m)

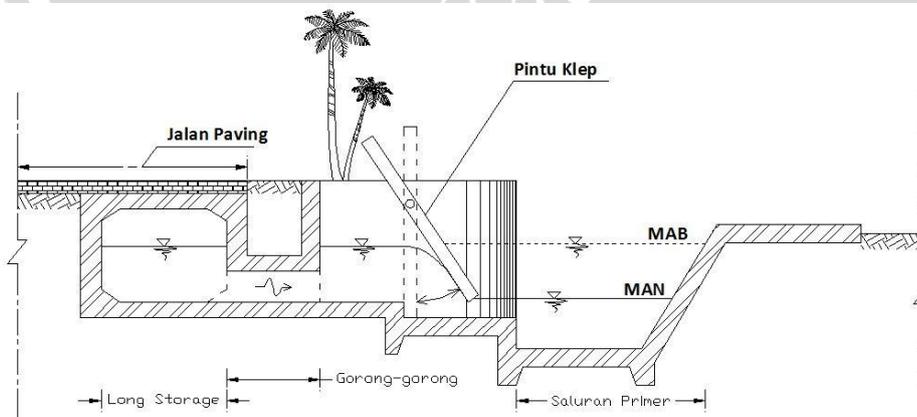
2.6. Long Storage

Long storage berasal dari 2 kata, yaitu *long* yang berarti panjang dan *storage* yg mempunyai arti penyimpanan. Sehingga *long storage* merupakan bangunan penyimpanan air sementara yang mempunyai dimensi memanjang, bangunan ini biasanya direncanakan karena keterbatasan lahan ([http://www.scrib.com/doc/edu: 5B BUSEM~2003.html](http://www.scrib.com/doc/edu:5B%20BUSEM~2003.html), diakses 8 April 2013). Di dalam studi ini *long storage* lebih berfungsi untuk menyimpan air saat banjir untuk sementara waktu dan mengalirkan lagi ke sungai setelah hujan mulai surut.

Dengan *long storage*, akan ada daya tampung dari saluran drainase sebelum masuk ke dalam saluran induk untuk membuang limpasan hujan dalam suatu kawasan. Bangunan ini sangat diperlukan karena pada sungai utama sering terjadi aliran dengan debit sangat yang besar di saat musim hujan sehingga muka air di sungai utama lebih tinggi daripada muka air *long storage*, sehingga pembuangan tidak bisa berjalan secara gravitasi. Dan setelah muka air turun, maka *long storage* dikosongkan.

2.7. Pintu Air

Pada daerah datar, kita sering menghadapi kondisi saluran drainase mempunyai pembuangan (*outlet*) di badan air yang muka airnya berfluktuasi. Saluran drainase yang membuang langsung ke laut dipengaruhi oleh pasang surut, sedangkan drainase yang membuang langsung ke laut dipengaruhi oleh tinggi banjir. Pada kondisi air di hilir tinggi, baik akibat air pasang maupun air banjir, maka air dari drainase tidak dapat mengalir ke pembuangan, bahkan dimungkinkan terjadi aliran balik. Pada ujung saluran drainase perlu dilengkapi dengan bangunan pengatur berupa pintu pengatur untuk menghindari terjadinya aliran balik. Ada dua kelompok pintu pengatur, yaitu pintu manual dan pintu otomatis.



Gambar 2.7 Rencana penggunaan pintu air klep sederhana beserta cara kerjanya

Penggunaan pintu manual untuk sistem drainase atau pengendalian banjir tidak populer, karena banyak kekurangannya sebagai berikut:

1. Air pasang atau banjir dapat terjadi kapan saja dan sering terjadi tengah malam. Pada saat inilah yang menjadi perhatian karena operator sering ketiduran.
2. Pada pintu ukuran besar, pembukaan secara manual sangat memakan waktu dan bias jadi kalah cepat dengan datangnya banjir.

Oleh karena itulah, sekarang banyak dipakai pintu otomatis, baik yang bekerja secara mekanis maupun elektrik.

Gerakan membuka dan menutup pada pintu mekanis mengandalkan keseimbangan momen yang ditimbulkan oleh pemberat pintu dan atau pelampung dan tekanan air. Pintu mekanis sederhana terbuka karena desakan aliran air dibantu oleh momen pemberat pintu. Pada saat air di hilir naik (akibat pasang atau banjir), maka tekanan air di hilir lebih tinggi dari tekanan air di hulu, sehingga mendorong pintu untuk menutup.

Sedangkan pada pintu air elektrik digerakkan oleh motor yang mendapat suplai aliran listrik. Aliran listrik diatur oleh sensor yang dihubungkan dengan kondisi muka air. Pada saat muka air di hilir tinggi, aliran listrik ke motor menyebabkan putaran roda putar bergigi menutup pintu. Sebaliknya pada saat muka air di hilir rendah, aliran listrik menyebabkan putaran yang menutup pintu.

2.8. *Manhole*

Manhole adalah salah satu bangunan pelengkap sistem penyaluran air buangan yang berfungsi sebagai tempat memeriksa, memperbaiki, dan membersihkan saluran dari kotoran yang mengendap dan benda-benda yang tersangkut selama pengaliran, serta untuk mempertemukan beberapa cabang saluran, baik dengan ketinggian sama maupun berbeda. *Manhole* dapat ditempatkan pada :

1. Permulaan saluran lateral.
2. Setiap perubahan diameter.
3. Setiap perubahan bangunan.
4. Setiap pertemuan atau percabangan beberapa pipa.
5. Setiap terjadi perubahan kemiringan lebih besar dari 45°
6. Sepanjang jalan lurus, dengan jarak tertentu dan sangat tergantung pada diameter saluran.

Penempatan dan jarak manhole berdasarkan standar PU tentang air limbah dan sanitasi. Berikut adalah tabel jarak perletakan *manhole* menurut diameter saluran :

Tabel 2.3 Jarak *Manhole* Menurut Diameter

Diameter (mm)	Jarak Antar <i>Manhole</i> (m)
< 200	50 – 100
200 – 500	100 – 125
500 – 1000	125 – 150
> 1000	150 – 200

Sumber : Materi Training Sektor Air Limbah, DPU 1986

Salah satu syarat utama *manhole* adalah besarnya diameter *manhole* harus cukup untuk pekerja dan peralatannya masuk kedalam serta dapat mudah melakukan pekerjaannya, diameter *manhole* bervariasi sesuai dengan kedalaman manhole. Berikut adalah tabel ukuran diameter manhole menurut kedalaman:

Tabel 2.4 Diameter *Manhole* Menurut Kedalaman

Kedalaman (m)	Diameter (m)
< 0,8	0,75
0,8 – 2,5	1,00 – 1,20
> 2,5	1,20 – 1,80

Sumber : Materi Training Sektor Air Limbah, DPU 1986

Ada beberapa kriteria manhole saat pemasangan dilakukan di lapangan maupun pada saat pembuatan. Berikut adalah kriteria/persyaratan *manhole* :

- *Manhole* harus ditutup dengan tutup yang dilengkapi kunci, agar tidak dibuka/dicuri oleh orang yang tidak bertanggung jawab
- Bersifat padat dan kokoh
- Kuat menahan gaya-gaya dari luar
- Dinding dan pondasinya kedap air
- Terbuat dari beton atau pasangan batu kali. Jika diameternya lebih dari atau sama dengan 2,50 m, konstruksinya beton bertulang.

- Bagian atas dinding *manhole*, sebagai perletakkan tutup *manhole*, merupakan konstruksi yang fleksibel, agar dapat selalu disesuaikan dengan level permukaan jalan yang mungkin berubah, sehingga tutup *manhole* tidak menonjol atau tenggelam terhadap permukaan jalan.

