

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Drainase mempunyai arti membuang atau mengalirkan kelebihan air pada suatu wilayah atau daerah. Drainase secara umum didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari usaha untuk mengalirkan air yang berlebihan dalam suatu konteks pemanfaatan tertentu (Hasmar, 2002:1). Sementara itu, menurut Suhardjono (2013:30) drainase adalah tindakan untuk mengurangi air yang berlebih. Baik air permukaan, maupun air bawah permukaan. Air yang berlebih umumnya berupa genangan dan disebut banjir.

Jenis drainase menurut Suhardjono (2013:32) dibedakan menjadi dua, ditinjau dari fungsinya dan sejarah terbentuknya.

1. Ditinjau dari Fungsinya

a. Drainase atas Permukaan (*Surface Drainage*)

Drainase yang dipergunakan sebagai pembuang limpasan air yang berada di permukaan tanah. Umumnya berupa saluran terbuka yang berada di permukaan tanah.

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

Drainase yang berfungsi untuk mengatur ketinggian muka air tanah. Umumnya berupa saluran tertutup dan berada di bawah permukaan tanah.

2. Ditinjau dari sejarah terbentuknya

a. Drainase Alam

Drainase alam yaitu saluran-saluran drainase yang terbentuk secara alami, oleh gerusan air yang kemudian membentuk jalan air pamanen, seperti sungai, lembah, dan saluran. Jaringan drainase primer umumnya menggunakan saluran-saluran drainase alam ini.

b. Drainase Buatan

Drainase buatan yaitu sistem saluran dan bangunan yang dibuat oleh manusia. Konstruksinya dapat berupa drainase permukaan, maupun drainase bawah permukaan, terbuat dari pasangan batu kali, beton atau bahan bangunan yang lain. Jaringan drainase sekunder maupun tersier biasanya menggunakan saluran drainase buatan ini.

Sementara itu, menurut Hasmar (2002:3), jenis drainase dibagi menjadi 4.

Pembagian jenis drainasenya adalah sebagai berikut:

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

2.2 Analisa Hidrologi

Perencanaan saluran drainase, baik drainase perkotaan maupun drainase pertanian 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 diperoleh dengan analisa hidrologi, sehingga analisa hidrologi menjadi bagian penting dalam perencanaan saluran drainase perkotaan.

Adapun tahapan-tahapan perhitungan dalam analisa hidrologi antar lain:

- Uji konsistensi data curah hujan
- Analisa Curah Hujan Rancangan

- Uji Kesesuaian Distribusi
- Debit Banjir Rancangan

2.2.1 Uji Konsistensi Data Curah Hujan

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)

Pengecekan kualitas data merupakan keharusan sebelum data hidrologi diproses. Pengecekan dapat dilakukan dengan berbagai cara, misalnya dengan (Soewarno, 1995:23):

1. inspeksi ke lapangan
2. perbandingan hidrograf
3. analisis kurva masa ganda.

Umumnya dilakukan dengan analisis kurva masa ganda, dengan menggambarkan besaran hujan kumulatif stasiun yang diuji dengan besaran hujan kumulatif rata-rata hujan dari beberapa stasiun referensi disekitarnya. Ketidakpangghahan data ditunjukkan dengan penyimpangan garisnya dari garis lurus. hal ini masih sering menimbulkan keraguan. Kesulitan yang lain adalah ketidakyakinan akan prosedur itu sendiri, karena dalam satu DAS, suatu stasiun akan berfungsi ganda, sebagai stasiun yang diuji dan stasiun referensi pada pengujian lain. (Harto, 1993:266)

Alat pengujian lain adalah menguji ketidakpangghahan data suatu stasiun dengan data dari stasiun itu sendiri, dengan mendeteksi penggeseran nilai rata-rata (mean). Cara ini lebih dapat diterima, diantaranya adalah *Von Neumann Test*, *Rescaled Adjusted Partial Sum (RAPS)*, *Weighted Adjusted Partial Sum*, *Worsley test* dan *Buishand test*.

Salah satu cara klasik adalah Von Neumann Ratio dalam persamaan (Harto, 1993:59):

$$N \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n Y_i^2} \dots \dots \dots (2-1)$$

Data dikatakan panggh apabila nilai E (N) = 2

Buishand (1982) memperkenalkan cara cumulative deviation, yaitu nilai kumulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata (mean) dengan :

$$S_o^* = 0, S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})^2, k = 1, \dots, n \dots\dots\dots(2-2)$$

Nilai $S_n^* = 0$. untuk data yang homogin, maka nilai S_k^* berkisar nol. Karena tidak terdapat kesalahan sistematik pada nilai Y_i terhadap nilai \bar{Y} rata-rata. Oleh sebab itu,

S_k^* (harga mutlak) dapat digunakan sebagai indikator terjadinya perubahan atau ketidakpanggahan. Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) oleh buishand 1982:

$$S_k^{**} = S_k^* / Dy, \text{ dengan } k= 0, 1, \dots, n \dots\dots\dots(2-3)$$

$$D_y^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 / n \dots\dots\dots(2-4)$$

Nilai statistic Q $\rightarrow Q = \max_{0 \leq k \leq n} |S_k^{**}| \dots\dots\dots(2-5)$

Nilai statistik R (Range)

$$R = \max_{0 \leq k \leq n} S_k^{**} - \min_{0 \leq k \leq n} S_k^{**} \dots\dots\dots(2-6)$$

Dengan :

- S_o^* = simpangan awal
- S^*k = simpangan mutlak
- $S^{**}k$ = nilai konsistensi data
- n = jumlah data
- Dy = simpangan rata-rata
- Q = nilai statistik Q untuk $0 \leq k \leq n$
- R = nilai statistik (range)

Nilai statistik Q dan R diberikan pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Nilai Q/\sqrt{n} dan R/\sqrt{n}

N	Q/\sqrt{n}			R/\sqrt{n}		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.1	1.22	1.42	1.34	1.43	1.6
30	1.12	1.24	1.46	1.4	1.5	1.7
40	1.13	1.26	1.5	1.42	1.53	1.74
50	1.14	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78
100	1.17	1.29	1.55	1.5	1.62	1.86
	1.22	1.36	1.63	1.62	1.75	2

Sumber: Harto, 1993:60



Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan WAPS (*Weighted Adjusted Partial Sums*). Buishand, 1982:

$$Z_k^* = \frac{\sum_{i=1}^k (n - k + i) S_k^*}{(n - k + 1) S_k^*}; k = 1, 2, \dots, n-1 \dots\dots\dots (2-7)$$

$$Z_k^{**} = Z_k^* / D_y \dots\dots\dots (2-8)$$

$$V = \max_{1 \leq k \leq n-1} |Z_k^{**}| \dots\dots\dots (2-9)$$

Statistik ini dapat disajikan dalam persamaan :

$$W = (n - 2)^{0.5} V / (1 - V^2)^{0.5} \dots\dots\dots (2-10)$$

Dengan W adalah nilai Worsley's test :

$$W = \max_{1 \leq k \leq n-1} |t_k| \dots\dots\dots (2-11)$$

Dengan t_k adalah nilai 'Student's t' untuk membedakan nilai rata-rata dari k sample k yang pertama dan sample (n-k) terakhir. Pengujian 'V' berarti sama dengan pengujian 'W'.

Pengujian lain dengan cara 'Bayesian'. Uji statistic yang dapat digunakan adalah :

$$U = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^{n-1} (S_k^{**})^2 \dots\dots\dots (2-12)$$

$$A = (Z_k^{**})^2 \dots\dots\dots (2-13)$$

Nilai U dan A yang besar menunjukkan kecenderungan penyimpangan dari kepenggahan data. Nilai statistik U dan A disajikan dalam tabel berikut ini. Sebelum pemakaian cara ini sebaiknya dilakukan pengujian sebagai sarana pengujian silang.

Tabel 2.2 Nilai U dan A

N	U			A		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	0.336	0.414	0.575	1.9	2.31	3.14
20	0.343	0.447	0.662	1.93	2.44	3.5
30	0.344	0.444	0.691	1.92	2.42	3.7
40	0.341	0.448	0.693	1.91	2.44	3.66
50	0.342	0.452	0.718	1.92	2.48	3.78
100	0.341	0.457	0.712	1.92	2.48	3.82
	0.347	0.461	0.743	1.93	2.49	3.86

Sumber: Harto, 1993:62

Dalam beberapa pengujian banding, cara-cara yang disebutkan di atas memberikan hasil yang sama dengan cara pertama, selain keuntungan lain dapat



menghindarkan kemungkinan ketidakpangghaan data hujan stasiun-stasiun referensi. (Harto, 1993 : 266). Dalam studi ini dilakukan dengan metode RAPS.

2.2.1.1 Pemeriksaan *Outlier* (Data di Luar Ambang Batas)

Outlier adalah data yang menyimpang cukup jauh dari trend kelompoknya. Keberadaan *outlier* biasanya dianggap mengganggu pemilihan jenis distribusi suatu sample data, sehingga *outlier* ini perlu dibuang. Uji Grubbs dan Beck (Chow, 1987 : 403) menetapkan dua batas ambang X_L dan X_H sebagai berikut :

$$\begin{aligned} X_H &= \bar{x} + Kn S \\ X_L &= \bar{x} - Kn S \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(2-14)$$

Dengan :

X_H = nilai ambang atas

X_L = nilai ambang bawah

\bar{x} = nilai rata-rata

S = simpangan baku dari logaritma terhadap sampel

Kn = besaran yang tergantung pada jumlah sampel data (pada lampiran tabel outlier)

n = jumlah sampel data

Data yang nilainya di luar X_H dan X_L diklasifikasikan sebagai *outlier*

2.2.2 Analisa Curah Hujan Rancangan

Curah hujan rancangan merupakan curah hujan terbesar tahunan yang mungkin terjadi di suatu daerah dengan periode ulang tertentu. Periode waktu yang diperlukan dalam mencari curah hujan rancangan disesuaikan dengan keperluan perencanaan, yaitu perhitungan debit rencana yang diperlukan. Terdapat beberapa metode pendekatan yang bisa dilakukan untuk mendapatkan nilai dari curah hujan rancangan antara lain:

- ◆ Distribusi Normal
- ◆ Distribusi Log Normal
- ◆ Distribusi Log Pearson III
- ◆ Distribusi Gumbel

Metode-metode tersebut memiliki persyaratan tersendiri yang harus dipenuhi dalam penggunaannya. Pada studi ini, metode yang digunakan adalah metode *Log Pearson III* karena metode ini dapat digunakan untuk semua sebaran data serta sesuai untuk berbagai macam koefisien kepengcengan (*skewness*) dan koefisien kepuncakan (*kurtosis*). Menurut Harto (1999:20), data hujan maupun data debit untuk 30 DAS di Pulau Jawa menunjukkan bahwa analisis frekuensi hujan yang dilakukan banyak

mengikuti distribusi Log Pearson Type III. Parameter statistik yang diperlukan ada 3, yaitu:

1. Harga rata-rata (*mean*)
2. Simpangan Baku (*standard deviation*)
3. Koefisien Kepencengan (*skewness*)

Tahapan untuk menentukan curah hujan rancangan dengan menggunakan metode Log Pearson III adalah sebagai berikut:

1. Mengubah curah hujan harian maksimum ke dalam bentuk logaritma
2. Menghitung nilai logaritma rata-rata:

$$\text{Log}\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log .x_i}{n} \dots\dots\dots(2-15)$$

3. Menghitung standart deviasinya (simpangan baku):

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \overline{\log x})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(2-16)$$

4. Menghitung koefisien kepencengan:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \overline{\log x})^3}{(n - 1)(n - 2)S_i^3} \dots\dots\dots(2-17)$$

5. Hitung logaritma curah hujan rancangan dengan kala ulang tertentu:

$$\text{Log } X_t = \overline{\log x} + G \cdot S_i \dots\dots\dots(2-18)$$

6. Menghitung antilog dari X_t

dengan:

x_i = data hujan (mm)

\bar{x} = rerata data hujan (mm)

n = jumlah data

X_t = curah hujan rancangan (mm)

$\overline{\log x}$ = rerata logaritma curah hujan tahunan maksimum

G = konstanta

S_i = simpangan baku

2.2.3 Uji Kesesuaian Distribusi

Uji kesesuaian distribusi bertujuan untuk mengetahui kesesuaian data yang tersedia dengan distribusi yang dipakai. Ada 2 macam uji yang akan dipakai yaitu uji Smirnov Kolmogorov dan Chi Square.

2.2.3.1 Uji Smirnov Kolmogorov (Uji Horizontal)

Uji Smirnov-Kolmogorov adalah uji distribusi terhadap penyimpangan data kearah horizontal, yaitu untuk mengetahui suatu data sesuai dengan jenis sebaran teoritis yang dipilih atau tidak. Uji Smirnov-Kolmogorov sering disebut juga uji kecocokan *non-parametric*, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Pengujian dilakukan dengan membandingkan probabilitas tiap data, antara sebaran empiris dan sebaran teoritis, yang dinyatakan dalam D. Harga D terbesar (D maksimum atau D maks) dibandingkan dengan D kritis (dari tabel Smirnov-Kolmogorov) dengan tingkat keyakinan (α) tertentu. Distribusi dianggap sesuai jika D maks < D kritis (Montarjih, 2009:68).

Sebelum dilakukan uji kesesuaian, terlebih dahulu dilakukan *plotting* data dengan tahapan sebagai berikut:

1. Data hujan harian maksimum tahunan disusun dari besar ke kecil.
2. Hitung probabilitas dengan rumus Weibull

$$P = \frac{m}{n} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2-19)$$

dengan:

P = probabilitas (%)

m = nomer urut data

n = jumlah data

3. *Plotting* data debit (X) terhadap probabilitas P.
4. Tarik garis durasi dengan mengambil 2 titik pada Metode Gumbel (garis teoritis berupa garis lurus) dan 3 titik pada Metode *Log Pearson III* (garis teoritis berupa garis lengkung kecuali untuk Cs = 0, garis teoritis berupa garis lurus).

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\Delta_{maks} = [P_e - P_t] \dots\dots\dots (2-20)$$

dengan: Δ_{maks} = selisih maksimum antara peluang empiris dan teoritis

P_e = peluang empiris (%)

P_t = peluang teoritis (%)

Δ_{cr} = simpangan kritis (dari tabel)

Kemudian dibandingkan antara Δ_{maks} dan Δ_{cr} , distribusi frekuensi yang dipilih dapat diterima apabila $\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$ dan terjadi sebaliknya jika $\Delta_{maks} > \Delta_{cr}$ (Montarcih, 2009:69).

2.2.3.2 Uji Chi-Square (Uji Vertikal)

Uji Chi-Square digunakan untuk menghitung besarnya simpangan vertikal antara data perhitungan dan data teoritis. Uji ini didasarkan pada perbedaan nilai ordinat teoritis dan empiris pada sumbu vertikal yang merupakan data curah hujan rancangan. Uji Chi-Square dikatakan berhasil jika X^2 hitung $< X^2$ kritis.

Tahapan dalam uji ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah kelas dengan rumus:

$$K = 1 + 3.22 \log n \dots\dots\dots(2-21)$$

dengan:

K = jumlah kelas

n = banyaknya data

2. Membuat kelompok-kelompok kelas sesuai dengan jumlah kelas
3. Menghitung frekuensi pengamatan $O_j = n /$ jumlah kelas
4. Mencari besarnya curah hujan yang masuk dalam batas kelas (E_j)
5. Menghitung X^2 dengan rumus:

$$X^2 = \sum_{j=1}^n \frac{O_j \cdot E_j}{E_j} \dots\dots\dots (2-22)$$

6. Mencari derajat kebebasan (dk) = $k - (P+1)$ dimana $P=2$, lalu mencari nilai X^2 kritis dengan nilai derajat kebebasan melalui tabel Chi Square
7. Membandingkan X^2 hitung dengan X^2 kritis, apabila X^2 hitung $< X^2$ kritis maka analisa distribusi curah hujan pengamatan sesuai dengan model teoritis.

2.3 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:

$$Q_r = Q_{ah} + Q_{ak} \dots\dots\dots(2-23)$$

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)

2.3.1 Debit Air Hujan

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

$$Q = 0,278.C.I.A \dots\dots\dots (2-24)$$

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 0,278 m^3/dtk yang debit banjir tersebut akan melimpas merata selama 1 jam.

2.3.1.1 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):

- ◆ 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, 2013:80):

$$C_m = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots + C_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2-25)$$

$$C_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

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 2.3 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 industry	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 : Anonim (SNI Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan, 1994:19)

2.3.1.2 Intensitas Hujan Rancangan

Intensitas hujan rancangan adalah tinggi hujan yang jatuh pada suatu kurun waktu dimana air tersebut terkonsentrasi, dan dihitung sesuai periode ulan banjir. Untuk

mendapatkan intensitas hujan selama waktu konsentrasi digunakan rumus Mononobe (Subarkah, 1980:20):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^{2/3} \dots \dots \dots (2-26)$$

dengan:

- I = intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)
- R₂₄ = curah hujan maksimum harian dalam 24 jam (mm)
- t_c = waktu konsentrasi (jam)

Selain itu, untuk perbandingan antara perhitungan dengan kondisi lapangan maka digunakan juga rumus intensitas hujan berikut ini (Suyono, 2003):

$$I_t = \frac{R_t}{t} \dots \dots \dots (2-27)$$

dengan

- I_t = intensitas hujan (mm/jam)
- R_t = curah hujan maksimum harian dalam 24 jam (mm)
- t = lama durasi hujan (jam)

Rumus inilah yang akan digunakan dalam mencari debit banjir rancangan.

2.3.1.3 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 (Nugroho, 2011:156)

$$t_c = 0,01947.L^{0,77}.S^{-0,385} \dots \dots \dots (2-28)$$

dengan:

- L = panjang saluran (m)
- S = kemiringan daerah pengaliran

2.3.1.4 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.

2.3.2 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, 2013:110):

$$150 \times 70\% = 105 \text{ liter/orang/hari} = 0,00121 \text{ liter/dtk/orang}$$

Dengan demikian jumlah air kotor yang dibuang pada suatu daerah setiap km² adalah:

$$Q_{ak} = \frac{P_n \cdot q}{A} \dots\dots\dots (2-29)$$

$$Q_{ak} = \frac{P_n \cdot 0,00121}{A}$$

dengan:

- Q_{ak} = debit air kotor
- P_n = jumlah penduduk (jiwa)
- q = jumlah air buangan (ltr/dtk/orang)
- A = luas daerah (km²)

2.3.2.1 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 (*eksponential rate of growth*) atau cara arimatika (*arithmetic 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:

$$P_n = P_o(1+r)^n \dots\dots\dots (2-30)$$

dengan:

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



r = angka pertumbuhan penduduk (%)

n = interval waktu (tahun)

b. Pertumbuhan penduduk eksponensial (*eksponential 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:

$$P_n = P_o \cdot e^{rn} \dots\dots\dots(2-31)$$

dengan:

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

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

e = bilangan logaritma

n = interval waktu (tahun)

c. Pertumbuhan penduduk cara aritmatika (*arithmetic rate of growth*)

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

$$P_n = P_o(1+rn) \dots\dots\dots(2-32)$$

dengan:

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

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

r = angka pertumbuhan penduduk (%)

n = interval waktu (tahun)

2.4 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) (Hasmar, 2012:17-18).

2.4.1 Aliran Air Pada Saluran Terbuka

1. Aliran Tunak (*Steady Flow*)

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

Aliran tunak di klasifikasi menjadi :



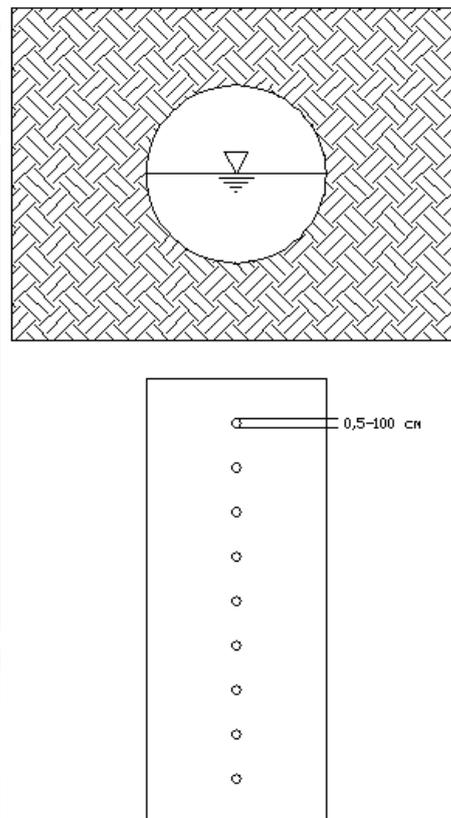
- a. Aliran seragam, tinggi muka air sama pada setiap penampang.
 - b. Aliran berubah, kedalaman air berubah di sepanjang saluran.
2. Aliran Tidak Tunak (*Unsteady Flow*)

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

2.4.2 Aliran Air Pada Saluran Pipa (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 lubang-lubang dengan diameter sekitar 0,50 sampai 100 cm, untuk masuknya atau mengalirnya air yang berada di dalam tanah ke dalam pipa drain.



Gambar 2.1. Contoh Drainasi Saluran Pipa (Tertutup)

2.4.3 Sifat-Sifat Aliran

Pada saluran terbuka, aliran yang terjadi pada saluran adalah:

1. Aliran Laminar

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 (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 (Hasmar, 2012:18).

3. Aliran Subkritis

Aliran subkritis adalah aliran yang kecepatannya 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).

2.4.4 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:

$$Q_{sal} = V_{sal} \cdot A_{sal}$$

$$V_{sal} = \frac{1}{n} R^{2/3} S_{sal}^{0.5} \dots\dots\dots(2-33)$$

dengan:

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

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

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

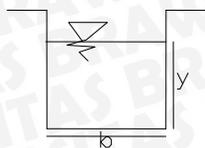
n = koefisien kekasaran Manning

R = jari-jari hidrolis (m)

S_{sal} = kemiringan dasar saluran

Unsur geometris penampang saluran:

a. Persegi



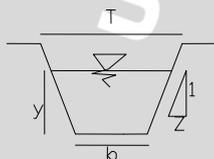
$$\text{Luas (A)} = b \cdot y \dots\dots\dots(2-34)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2y \dots\dots\dots(2-35)$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{by}{b + 2y} \dots\dots\dots(2-36)$$

$$\text{Kedalaman hidrolis} = y \dots\dots\dots(2-37)$$

b. Trapesium



$$\text{Luas (A)} = (b + zy) y \dots\dots\dots(2-38)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2y\sqrt{1 + z^2} \dots\dots\dots(2-39)$$

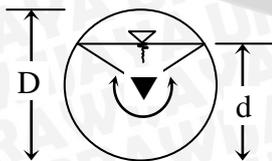
$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}} \dots\dots\dots(2-40)$$

$$\text{Kedalaman hidrolis} = \frac{(b + zy)y}{b + 2zy} \dots\dots\dots(2-41)$$

$$\text{Lebar puncak (T)} = b + 2zy \dots\dots\dots(2-42)$$

$$\text{Faktor penampang (z)} = \frac{((b + zy)y)^{0.5}}{\sqrt{b + 2zy}} \dots\dots\dots(2-43)$$

c. Lingkaran



$$\Theta = 4,5 \text{ radial} \dots\dots\dots(2-44)$$

$$\text{Kedalaman hidrolis (d)} = 0,80 D \dots\dots\dots(2-45)$$

$$\text{Luas penampang basah (A)} = 1/8 (\theta^2 - \sin \theta) D^2 \dots\dots\dots(2-46)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = 3,14 \cdot D(1-\theta/180^\circ)\dots\dots\dots(2-47)$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = A/P \dots\dots\dots(2-48)$$

2.4.5 Side Channel

Side Channel adalah saluran tambahan yang diletakkan tegak lurus atau sejajar dengan saluran drainasi eksisting, yang berfungsi sebagai tampungan cadangan (*long storage*) apabila tampungan atau kapasitas saluran eksisting sudah tidak mampu menampung air yang masuk ke saluran drainasi sehingga dapat menyebabkan luapan air ke jalan atau tanah. *Side Channel* berbentuk saluran tertutup agar tidak terlalu menghabiskan banyak lahan dalam prakteknya, karena posisinya yang di bawah tanah. *Side Channel* dihitung dengan cara:

1. Menghitung kapasitas volume eksisting dengan menggunakan rumus:

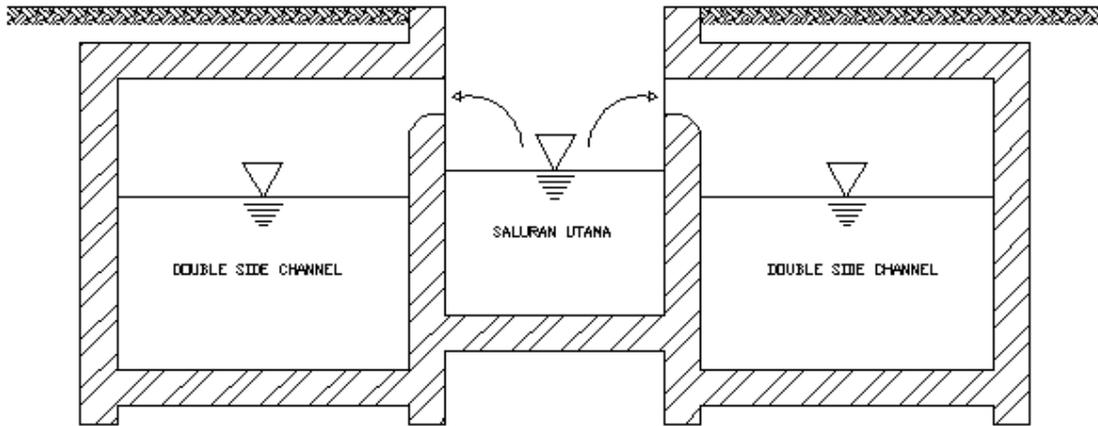
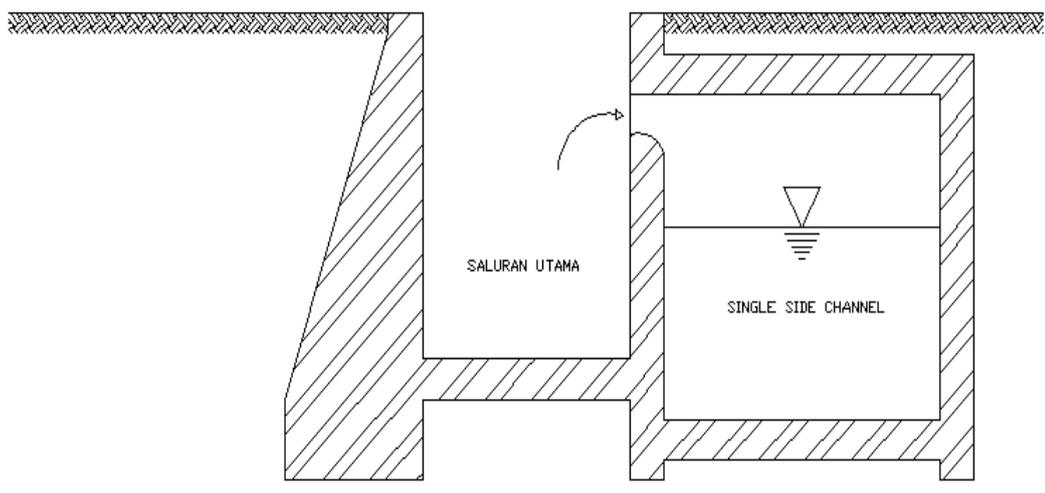
$$\text{Volume} = \frac{A_1 - A_2}{2} \times L \dots\dots\dots(2-49)$$

2. Membandingkan volume eksisting dengan volume rencana untuk mengetahui jumlah kekurangan tampungan
3. Dengan coba-coba, dicari dimensi *Side Channel* yang tepat untuk menampung kekurangan tampungan yang terjadi di saluran eksisting
4. Menghitung dimensi lubang pelimpah dengan menggunakan rumus (Soedradjat, 1983:159):

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_2^{3/2} \cdot H_1^{3/2} \dots\dots\dots(2-50)$$

$$C_d = \frac{Q}{Q_t} \dots\dots\dots(2-51)$$

Berikut ini contoh desain *Side Channel*:

Gambar 2.2. *Double Side Channel*Gambar 2.3. *Single Side Channel*

2.4.6 Pintu Klep

Pada daerah datar, khususnya daerah pantai, kita sering menghadapi kondisi saluran drainase mempunyai pembuangan (outlet) di badan air yang muka airnya berfluktuasi. Salura drainase yang membuang langsung ke laut dipengaruhi oleh pasang surut, sedangkan drainase yang membuang ke banjir kanal 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 pembuang, 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.

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 itu, operator pintu sering ketiduran.
2. Pada waktu pintu ukuran besar, pembukaan secara manual sangat memakan waktu dan bisa jadi kalah cepat dengan datangnya banjir. (Suripin, 2003:200)

Adapun rumus-rumus yang akan digunakan dalam perhitungan Pintu Klep ini adalah sebagai berikut (Bambang Triatmodjo, 1996:62):

- a. Kedalaman air di hilir (h_1) dan hulu pintu (h_2)

$$h_1 = D \cos \alpha \quad (2-52)$$

$$h_2 = h_1 \quad (2-53)$$

- b. Luas pintu (A)

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (2-54)$$

- c. Gaya tekanan hidrostatik di hilir (F_1)

$$F_1 = A \cdot \rho \cdot g \cdot h_{01} \quad (2-55)$$

- d. Momen inersia (I)

$$I = \frac{\pi}{64} D^4 \quad (2-56)$$

- e. Letak pusat tekanan (y_{p1})

$$y_{p1} = y_{01} \frac{1}{A \cdot y_{01}} \quad (2-57)$$

- f. Gaya tekanan hidrostatik di hulu (F_2)

$$F_2 = A \cdot \rho \cdot g \cdot h_{02} \quad (2-58)$$

- g. Jarak searah pintu dari sendi ke muka air (y)

$$y = \frac{h}{\cos \alpha} \quad (2-59)$$

- h. Letak pusat tekanan dari muka air ke hulu (y_{p2})

$$y_{02} = y \frac{D}{2} \quad (2-60)$$

$$y_{p2} = y_{02} \frac{1}{A \cdot y_{02}} \quad (2-61)$$

- i. Menghitung berat pintu pada saat kondisi pintu setengah terisi air

$$W = m \cdot g \quad (2-62)$$

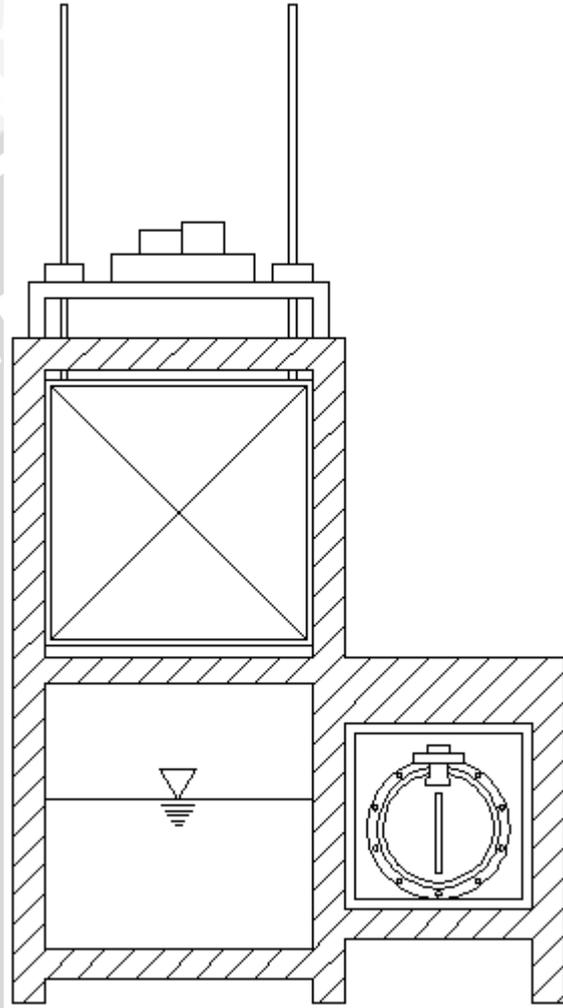
$$m = \rho \cdot Vol \quad (2-63)$$

j. Pada saat pintu mulai membuka, momen statis terhadap sendi adalah nol,

$$(\sum M_s = 0)$$

$$F_1 \cdot y_{p1} - W \cdot 0,5 \sin \alpha - F_2 \cdot (y_{p2} \cdot \alpha) = 0 \dots\dots\dots (2-64)$$

Berikut contoh desain pintu klep:



Gambar 2.4. Contoh Desain Pintu Klep