

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Drainase mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air. Dalam bidang teknik pengairan, 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/lahan, sehingga fungsi kawasan/lahan tidak terganggu. Drainase dapat juga diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas. Drainase perkotaan mencakup pengelolaan pengaliran air limpasan (*run off*) yang berasal dari hujan yang jatuh pada daerah perkotaan kedalam sistem pembuang/drainase alamiah seperti sungai, danau, dan laut.

Jenis drainase dibedakan menjadi 4, menurut letak saluran, sejarah terbentuknya, konstruksi, dan menurut fungsinya.

A. Menurut Letak Saluran

1. Drainase Permukaan Tanah, yaitu saluran drainase yang berada di atas permukaan tanah, yang berfungsi untuk mengalirkan air limpasan permukaan.
2. Drainase Bawah Permukaan, yaitu saluran drainase yang bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media di bawah permukaan tanah karena alasan-alasan tertentu. Alasan tersebut antara lain karena tuntutan fungsi permukaan tanah yang tidak memperbolehkan adanya saluran di permukaan tanah, seperti lapangan sepak bola, taman, dan lapangan terbang.

B. Menurut Sejarah Terbentuknya

1. Drainase Alamiah, yaitu sistem drainase yang terbentuk secara alami dan tidak ada unsur campur tangan manusia. Pada daerah yang belum berkembang, drainase terjadi secara alamiah sebagai bagian dari siklus hidrologi. Drainase alami ini berlangsung tidak secara statis, melainkan terus berubah secara konstan menurut keadaan fisik lingkungan sekitar.
2. Drainase Buatan, yaitu saluran drainase yang dibentuk berdasarkan analisis ilmu drainase, untuk menentukan debit akibat hujan, dan dimensi saluran. Drainase buatan dibagi menjadi 3 berdasarkan tempatnya, yaitu:
 - a. Drainase Jalan Raya

Salah satu aspek terpenting dalam perencanaan jalan raya adalah melindungi jalan dari permukaan air dan air tanah. Genangan air di permukaan jalan memperlambat laju kendaraan dan memberikan andil terjadinya kecelakaan akibat permukaan jalan yang licin. Berdasarkan fungsinya drainase jalan dibedakan menjadi drainase permukaan dan drainase bawah permukaan. (Suripin, 2004:266)

- Drainase permukaan
- Drainase bawah permukaan

b. Drainase Lapangan Terbang

Sistem drainase yang memadai untuk membuang air permukaan dan air dari bawah permukaan pada lapangan terbang merupakan komponen vital untuk keselamatan pesawat dan umur perkerasan. Drainase yang tidak memadai mengakibatkan terbentuknya gelombang pada perkerasan yang membahayakan pesawat. Drainase lapangan terbang berfungsi untuk membuang air permukaan dan air bawah tanah dari lapangan terbang. Berdasarkan fungsinya, drainase lapangan terbang terdiri dari dua bagian, (Suripin, 2004:284)

- Drainase permukaan
- Drainase bawah permukaan

c. Drainase Lapangan Olahraga

Drainase lapangan olahraga direncanakan berdasarkan infiltrasi atau resapan air hujan pada lapisan tanah, dan tidak boleh terjadi genangan air. Batas antara keliling lapangan olahraga dengan jalur atletik harus memiliki collector drain.

C. Menurut Konstruksi

1. Saluran Terbuka, yaitu sistem saluran yang biasanya direncanakan hanya untuk menampung dan mengalirkan air hujan, namun pada umumnya sistem saluran ini berfungsi sebagai saluran campuran. Pada pinggiran kota, saluran terbuka ini biasanya tidak diberi lining (lapisan pelindung). Akan tetapi, saluran terbuka di dalam kota harus diberi lining dengan beton, masonry (pasangan batu).
2. Saluran Tertutup, yaitu saluran untuk air kotor yang mengganggu kesehatan lingkungan. Sistem drainase ini baik untuk diterapkan di daerah perkotaan, terutama dengan tingkat penduduk yang tinggi.

D. Menurut Fungsi

1. Single Purpose, yaitu saluran yang berfungsi untuk mengalirkan satu jenis air buangan saja.
2. Multi Purpose, yaitu saluran yang berfungsi untuk mengalirkan beberapa jenis buangan, baik secara bercampur maupun bergantian.

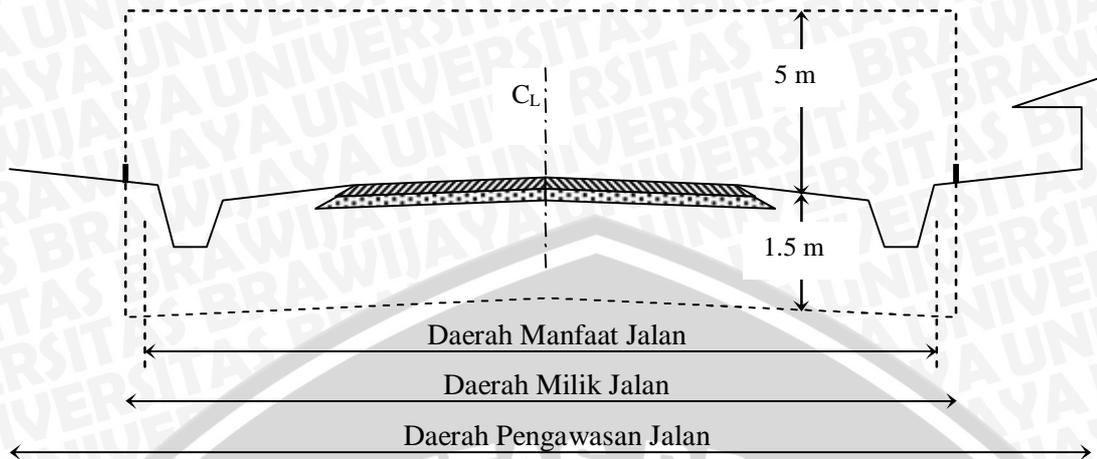
2.2 Jalan Raya

Jalan raya ialah jalan utama yang menghubungkan satu kawasan dengan kawasan yang lain. Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No. 38 Th. 2004 tentang Jalan, jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala badan jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas. Biasanya jalan besar ini mempunyai ciri-ciri berikut:

- Digunakan untuk kendaraan bermotor
- Digunakan oleh masyarakat umum
- Dibiayai oleh perusahaan negara
- Penggunaannya diatur oleh undang-undang pengangkutan

Menurut PP No. 26 Tahun 1985, dijelaskan beberapa pengertian mengenai pembagian daerah jalan raya, yaitu:

1. Damaja (Daerah Manfaat Jalan) yaitu merupakan ruang sepanjang jalan yang dibatasi oleh lebar, tinggi dan kedalaman ruang bebas tertentu yang ditetapkan oleh pembina jalan. Yang termasuk ruang Damaja ini meliputi perkerasan jalan jalur pemisah, bahu jalan, saluran tepi jalan, trotoar lereng, ambang pengaman, timbunan dan galian gorong-gorong, perlengkapan jalan dan bangunan pelengkap lainnya.
2. Damija (Daerah Milik Jalan) yaitu merupakan ruang sepanjang jalan yang dibatasi oleh lebar dan tinggi tertentu sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Ruang Damija ini termasuk ruang Damaja, dan pelebaran jalan maupun penambahan jalur lalu lintas di kemudian serta kebutuhan ruangan untuk pengamanan jalan.
3. Dawasja (Daerah Pengawasan Jalan) yaitu merupakan ruang sepanjang jalan di luar Damija yang dibatasi oleh lebar dan tinggi tertentu, yang ditetapkan oleh pembina jalan dan diperuntukkan bagi pandangan bebas pengemudi dan pengamanan konstruksi jalan.



Gambar 2.1 Daerah penguasaan jalan

Sumber: Shirley, 2000:70, dalam Nasruddin, 2001:5

2.2.1 Lama dan Tinggi Genangan di Jalan Raya

Hujan yang turun di badan jalan harus secepatnya mengalir ke saluran pembuang. Tinggi genangan yang diijinkan untuk beberapa jenis jalan adalah:

Tabel 2.1 Genangan ijin di badan jalan

Klasifikasi jalan	Tinggi kedalaman yang diijinkan (penampang melintang)	
	Akibat debit andalan ($T_r = 2$)	Akibat debit banjir ($T_r = 25$)
Lokal	6 inci di bahu jalan	18 inci di bahu jalan
Kolektor	≤ 6 inci di bahu jalan	18 inci di bahu jalan
Arteri	Tidak boleh ada	≤ 6 inci diatas sumbu jalan
Bebas hambatan	Tidak boleh ada	≤ 6 inci diatas sumbu jalan

Sumber: Anonim, 1975, dalam Nasruddin, 2001:6

Sedangkan lama genangan (*travel time*) yang diijinkan di badan jalan adalah kurang dari 5 menit untuk kawasan pemukiman (*single dwellings*) dan 5 - 15 menit untuk kawasan industri (Pilgrim, 1991, dalam Nasruddin, 2001:6).

2.3 Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi yaitu penjelasan tentang pengolahan data-data hidrologi yang tersedia sehingga didapat debit perencanaan yang diperlukan.

Data hidrologi sangat penting dalam merencanakan saluran drainase. Data hidrologi salah satunya adalah data curah hujan untuk menganalisis jumlah debit yang ada. Data curah hujan diambil dari dua stasiun hujan. Data kemudian diurutkan menurut

fungsi waktu sehingga merupakan data deret berkala. Data deret berkala tersebut kemudian dilakukan pengtesan/pengujian tentang (Soewarno, 1995:23):

1. konsistensi, dan
2. kesamaan jenis (homogenitas)

2.3.1 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 ketidakyakinkan 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 penguji 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):

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

Data dikatakan pangghah 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) buishand 1982

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

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

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

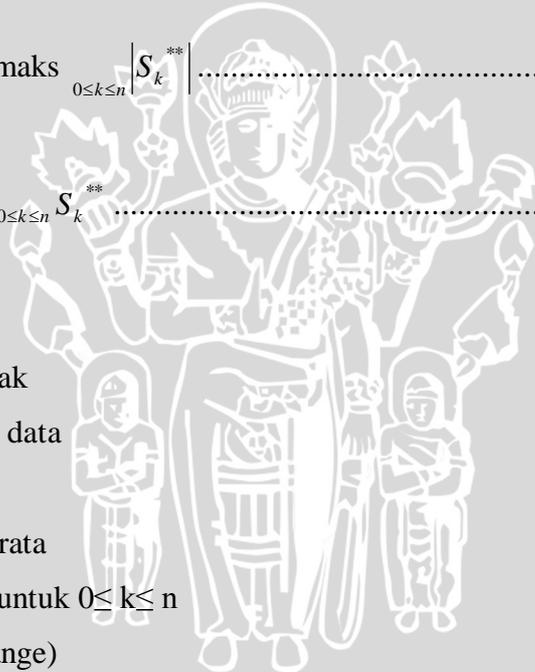
Nilai statistik R (Range)

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

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 ≤ k ≤ n
- R = nilai statistik (range)

Nilai statistik Q dan R diberikan pada tabel berikut:



Tabel 2.2 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

$$Z_k^* = [k(n-k)]^{-0.5} S_k^* ; k= 1,2,\dots,n-1 \dots\dots\dots (2-7)$$

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

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

i/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 :

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

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 :

$$U = [1/\{n(n+1)\}] \sum_{k=1}^{n-1} (S_k^{**})^2 \dots\dots\dots (2-12)$$

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

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 2.3 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.

2.3.1.1 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, dalam Rhanty, 2004:8) menetapkan dua batas ambang X_L dan X_H sebagai berikut :

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

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*

2.3.2 Uji variansi data

Perlu dipastikan tentang keandalan data sebelum dilakukan perhitungan dan analisis. Untuk itu dilakukan pengujian secara statistic. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah data berasal dari populasi yang sama.

Ada beberapa macam metode uji variansi data dengan berbagai syarat kondisi penggunaannya, yaitu :

1. Metode Parametrik

Metode parametrik menganggap populasinya mempunyai atau mengikuti distribusi tertentu. Dalam metode parametrik diperlukan parameter khusus, misal : nilai rata-rata, deviasi standar, variansi dari populasi yang diamati.

Ada beberapa uji variansi yang bersifat parametrik, diantaranya :

a. Uji T

Umumnya digunakan untuk menguji sampel data ukuran kecil ($N < 30$). Data yang diuji adalah nilai rata-rata dua kelompok, nilai rata-rata terhadap populasi, menguji data yang berpasangan.

b. Uji F

Uji F biasa digunakan untuk sampel data besar ($N \geq 30$) atau untuk sampel data kecil ($N < 30$). Pada uji F yang diuji adalah varian dari sample data tersebut untuk membuktikan apakah ada perbedaan atau tidak setiap varian dari sampel data tersebut untuk membuktikan apakah ada perbedaan atau tidak setiap varian dalam satu kelas data atau setiap varian antar kelas data.

2. Metode Non Parametrik

Metode non parametrik tidak memerlukan parameter-parameter di dalam sampel data. Di dalam metode non parametrik dibuat anggapan bahwa data pengukuran atau pengamatan adalah merupakan variabel bebas. Dalam uji non parametrik umumnya data disusun dalam suatu rangkaian data dari yang terbesar.

Salah satu contoh uji variansi yang bersifat non parametrik yaitu :

a. Uji Z

Uji Z dapat digunakan untuk menguji apakah dua kelompok data yang tidak berpasangan berasal dari populasi yang sama atau tidak.

Walaupun demikian apabila anggapan-anggapan yang diperlukan dalam uji parametrik terpenuhi, datanya cukup banyak, dan hasil pengukuran lebih teliti maka lebih baik menggunakan uji parametrik (Suwarno, 1995:48)

Pada studi ini uji variansi yang digunakan adalah uji F (Fisher Test). Uji analisis pada dasarnya adalah menghiung *F score*, lalu membandingkan dengan F tabel. Yang diuji adalah ketidaktergantungan (*independence*) atau keseragaman. Uji analisa variansi dapat bersifat satu arah atau dua arah. Besaran F berupa nisbah (*ratio*). Oleh karenanya ada dua parameter bebas yaitu v_1 (derajat bebas pembilang) dan v_2 (derajat bebas

penyebut). Nilai Fcr dapat diperoleh dari table F untuk berbagai nilai *Level of significance* (α), dengan menggunakan kedua parameter derajat bebas v_1 dan v_2 tersebut.

Prinsip uji hipotesis ini adalah membandingkan variansi gabungan antara kelompok sampel dengan varian kombinasi seluruh kelompok.

$$F \text{ hitung} = \frac{S1^2}{S2^2}, (S1^2 > S2^2) \dots\dots\dots (2-15)$$

$$F \text{ hitung} = \frac{S2^2}{S1^2}, (S1^2 < S2^2) \dots\dots\dots (2-16)$$

Dengan :

$$S1^2 = \text{variansi sampel 1 (debit histories)} = \frac{n_1 Sd_1^2}{n_1 - 1} \dots\dots\dots (2-17)$$

$$S2^2 = \text{variansi sampel 2 (debit sintetis)} = \frac{n_2 Sd_2^2}{n_2 - 1} \dots\dots\dots (2-18)$$

Harga F kritis = (n_1-1, n_2-1) dengan :

n_1 = jumlah sampel 1 (debit histories)

n_2 = jumlah sampel 2 (debit sintetis)

H_0 diterima jika harga F hitung < F kritis

H_0 ditolak jika harga F hitung > F kritis

Untuk selanjutnya digunakan uji F dengan analisa variansi yang bersifat dua arah, dengan hipotesa sebagai berikut :

Hipotesa 1 : H_0 = hujan homogen dari bulan ke bulan

H_1 = hujan tidak homogen dari bulan ke bulan.

Hipotesa 2 : H_0 = hujan homogen dari tahun ke tahun

H_1 = hujan tidak homogen dari tahun ke tahun

Ada dua F score dihitung dengan rumus rumus-rumus berikut :

$$F1 = \frac{(n-1) \sum_{i=1}^k n(\bar{x}_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i - \bar{x}_j + \bar{x})^2} \dots\dots\dots (2-19)$$

$$F2 = \frac{(k-1) \sum_{j=1}^n k(\bar{x}_j - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i - \bar{x}_j + \bar{x})^2} \dots\dots\dots (2-20)$$

Dengan :

x_i : harga rata-rata untuk bulan i

x_j : harga rata-rata untuk tahun j

x : harga rata-rata keseluruhan

x_{ij} : pengamatan untuk bulan i pada tahun j

n : banyak pengamatan perbulan (tahun)

k : banyak bulan

2.3.3 Curah hujan daerah

Curah hujan yang diperlukan untuk menyusun suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah dan dinyatakan dalam milimeter. Curah hujan ini harus diperkirakan dari beberapa titik pengamatan curah hujan. (Sosrodarsono, 2003:27)

Ada enam cara yang digunakan untuk menghitung curah hujan rerata daerah, antara lain :

1. Cara rata-rata aljabar
2. Cara thiessen
3. Cara garis isohiet
4. Cara garis potongan antara (*intersection line method*)
5. Cara dalam-elevasi (*deph-t-elevation method*)
6. Cara elevasi daerah rata-rata (*mean areal elevation method*)

Rata-rata aljabar merupakan metode yang paling sederhana dalam perhitungan hujan kawasan. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara. Cara ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar (Suripin, 2004:27).

Cara rata-rata aljabar adalah perhitungan rata-rata secara aljabar curah hujan di dalam dan sekitar daerah yang bersangkutan. Hasil yang diperoleh dengan cara ini tidak berbeda jauh dari hasil yang diperoleh dengan cara lain. (Sosrodarsono, 2003:27)

Rumus untuk curah hujan daerah metode rata-rata aljabar adalah :

$$\bar{R} = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \dots\dots\dots (2-21)$$

Dimana :

\bar{R} = curah hujan daerah (mm)

n = jumlah titik pengamatan

R_1, R_2, R_n = curah hujan di tiap titik pengamatan

Cara *thiessen*, dikenal juga sebagai metode rata-rata timbang (*weighted mean*). Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar terdekat. (Suripin, 2004:27)

Cara *thiessen* digunakan jika titik pengamatan tidak tersebar merata. Persamaan cara *thiessen* adalah sebagai berikut (Sosrodarsono, 2003:27):

$$\begin{aligned}\bar{R} &= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2-22) \\ &= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A} \\ &= W_1 R_1 + W_2 R_2 + \dots + W_n R_n.\end{aligned}$$

Dimana :

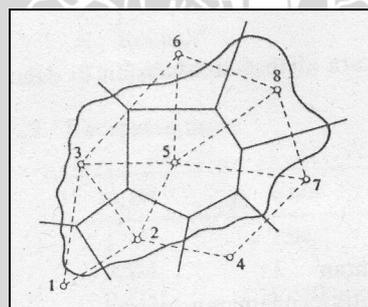
\bar{R} = curah hujan daerah

n = jumlah titik pengamatan

R_1, R_2, R_n = curah hujan di tiap titik pengamatan

A_1, A_2, A_n = bagian daerah yang mewakili tiap titik pengamatan

$$W_1, W_2, W_n = \frac{A_1}{A}, \frac{A_2}{A}, \frac{A_n}{A}$$



Gambar 2.2 Cara Thiessen

Sumber: Sosrodarsono, 2003:28

Cara *thiessen* ini memberikan hasil yang lebih teliti dari pada cara rata-rata aljabar. Akan tetapi, penentuan titik pengamatan dan pemilihan ketinggian akan mempengaruhi hasil yang didapat.

Cara *isohyet* merupakan cara rasional terbaik jika garis-garis *isohyet* digambar dengan teliti. Jika tiap pengamatan mencakup beberapa ratus kilometer persegi maka pembuatan peta topografi skala 1:20.000 sampai 1:500.000 adalah cukup. Peta harus

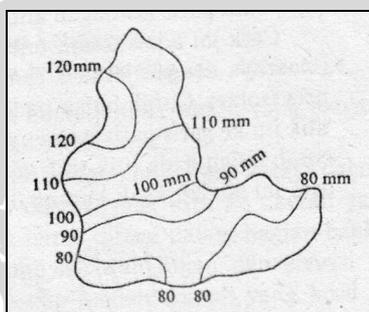
mencantumkan antara lain sungai-sungai utama dan garis kontur yang cukup. Pada pembuatan peta *isohyet*, maka topografi dan arah angin di daerah bersangkutan harus turut dipertimbangkan. Peta isohyet digambar pada peta topografi dengan perbedaan (interval) 10-20 mm berdasarkan data hujan pada titik pengamatan di dalam dan di sekitar daerah yang dimaksud. Curah hujan daerah metode *isohyet* dapat dihitung menurut persamaan sebagai berikut (Sosrodarsono, 2003:29):

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2-23)$$

\bar{R} = curah hujan daerah

R_1, R_2, R_n = curah hujan rata-rata pada bagian A_1, A_2, A_n

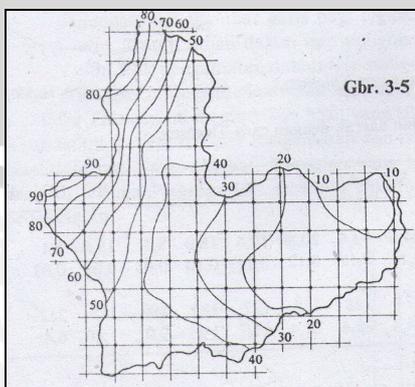
A_1, A_2, A_n = luas bagian-bagian antara garis *isohyet*



Gambar 2.3 Cara Garis Isohiet

Sumber: Sosrodarsono, 2003:29

Cara garis potongan antara (*intersection line method*), adalah cara untuk menyederhanakan metode isohyet. Garis-garis potong ini (biasanya dengan jarak 2 sampai 5 km) yang merupakan kotak-kotak digambar pada peta isohyet. Curah hujan di titik perpotongan dihitung dari perbandingan jarak titik itu ke garis isohyet terdekat. Harga rata-rata aljabar dari curah hujan pada titik-titik perpotongan diambil sebagai curah hujan daerah. (Sosrodarsono, 2003:29)



Gambar 2.4 Cara Garis Potongan

Sumber: Sosrodarsono, 2003:29



Cara dalam-elevasi (*depth-elevation method*), umpunya curah hujan bertambah jika elevasi beertambah tinggi. Dengan demikian, maka dapat dibuatkan diagram mengenai hubungan antara elevassi titik pengamatan dan curah hujan. Kurva ini dapat dibuat dengan cara kuadrat terkecil. Curah hujan daerah dapat dihitung dengan persamaan (Sosrodarsono, 2003:30) :

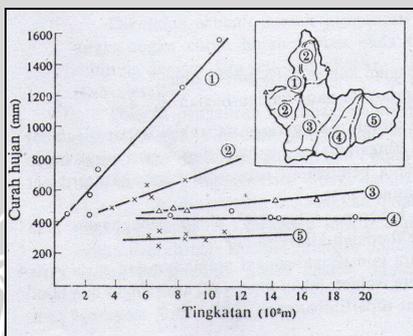
$$\bar{R} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2-24)$$

\bar{R} = curah hujan daerah

R_1, R_2, R_n = curah hujan rata-rata pada bagian A_1, A_2, A_n

A_1, A_2, A_n = luas bagian di setiap ketinggian

Cara ini sesuai untuk menentukan curah hujan jangka waktu yang panjang seperti curah hujan bulanan atau tahunan.



Gambar 2.5 Cara Dalam-Elevasi

Sumber: Sosrodarsono, 2003:30

Cara elevasi daerah rata-rata (*mean areal elevation method*), dapat digunakan jika hubungan antara curah hujan dan elevasi daerah bersangkutan dapat dinyatakan dengan sebuah persamaan linier. Curah hujan R_i pada elevasi h_i di daerah itu dinyatakan dengan persamaan (Sosrodarsono, 2003:31)

$$R_i = a + b.h_i$$

Dimana a dan b adalah tetapan.

Jika elevasi rata-rata antara garis kontur yang berdekatan adalah h_i dan luasnya adalah A_i , maka elevasi rata-rata di daerah itu adalah :

$$\bar{h}_i = \frac{\sum A_i h_i}{\sum A_i} \dots\dots\dots (2-25)$$

Curah hujan daerah \bar{R} :

$$\bar{R} = \frac{\sum A_i R_i}{\sum A_i} = \frac{\sum A_i (a + bh_i)}{\sum A_i} \dots\dots\dots (2-26)$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{\sum(aA_i + bA_i h_i)}{\sum A_i} \\
 &= a + b \frac{\sum A_i h_i}{\sum A_i} = q + bh \bar{h} \dots \dots \dots (2-27)
 \end{aligned}$$

Curah hujan rerata daerah dalam studi ini menggunakan metode thiessen.

2.3.4 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 kepencengan (*skewness*) dan koefisien kepuncakan (*kurtosis*). Menurut Sri Harto, 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 :

$$\text{Log} \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log .x_i}{n} \dots \dots \dots (2-28)$$

3. Menghitung standart deviasinya (simpangan baku):

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \overline{\log x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2-29)$$

4. Menghitung koefisien kepeccengan :

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log x_i - \overline{\log x})^3}{(n-1)(n-2)S_i^3} \dots\dots\dots (2-30)$$

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

$$\text{Log } X_t = \overline{\log x} + G \cdot S_i \dots\dots\dots (2-31)$$

6. Menghitung antilog dari X_t

Dengan :

x_i = data hujan

\overline{x} = rerata data hujan

n = jumlah data

X_t = curah hujan rancangan

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

G = konstanta

S_i = simpangan baku

2.3.5 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*.

2.3.5.1 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-parametic*, 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 (Montarcih, 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

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots (2-32)$$

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:

$$\Delta_{maks} = [P_e - P_t] \dots\dots\dots (2-33)$$

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).

2.3.5.2 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 :

$$K = 1 + 3.22 \log n \dots\dots\dots (2-34)$$

Dimana :

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 :

$$X^2 = \sum_{j=1}^n \frac{O_j - E_j}{E_j} \dots\dots\dots (2-35)$$

6. Mencari derajat kebebasan (dk) = $k - (P+1)$ dimana $P=2$, lalu mencari nilai X^2 kritis dengan nilai derajat kebebasan melalui tabel Smirnov Kolmogorov
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.

2.4 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:

$$Q_r = Q_{ah} + Q_{ak} \dots\dots\dots (2-36)$$

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:

$$Q = 0,278.C. I.A \dots\dots\dots (2-37)$$

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 km², maka besarnya debit banjir adalah 0,278m³/dtk dimana debit banjir tersebut akan melimpas merata selama 1 jam.

Apabila luas daerah pengaliran antara 0,80 – 50 km², maka metode rasional tersebut harus dimodifikasi dengan memperhitungkan efek penampungan saluran.

Rumus modifikasi metode rasional:

$$Q = 0,278.Cs.C. I. A \dots\dots\dots (2-38)$$

dengan:

Q = debit limpasan (m³/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):

$$C_m = \frac{C_1.A_1 + C_2.A_2 + \dots + C_n.A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2-39)$$

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

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 2.4 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)

2.4.1.2 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):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left[\frac{24}{t_c} \right]^{2/3} \dots\dots\dots (2-40)$$

Dimana :

- I = intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)
- R₂₄ = 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)

$$t_c = \frac{0,0195}{60} \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0,77} \dots\dots\dots (2-41)$$

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 km² adalah:

$$Q_{ak} = \frac{Pn \times q}{A} \dots\dots\dots (2-42)$$

$$Q_{ak} = \frac{Pn \times 0,00121}{A}$$

dengan:

Q_{ak} = debit air kotor

Pn = jumlah penduduk (jiwa)

q = jumlah air buangan (ltr/dtk/orang)

A = luas daerah (km²)

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 (*Eksponential 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:

$$P_n = P_0(1+r)^n \dots\dots\dots (2-43)$$

Dimana :

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 (*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 penambahan penduduk adalah:

$$P_n = P_0 \cdot e^{rn} \dots\dots\dots (2-44)$$

Dimana:

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)

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:

$$P_n = P_0(1+rn) \dots\dots\dots (2-45)$$

Dimana:

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 Drainase Jalan Raya

Drainase jalan raya dimaksudkan untuk mengeringkan air permukaan dan air tanah. Tujuannya untuk mencegah kehancuran konstruksi dengan memindahkan permukaan air dan membuang air dari badan jalan. Fungsi drainase jalan raya yaitu mengalirkan air menjauhi jalan, mencegah air masuk ke jalan, dan mengalirkannya ke tempat yang ditentukan.

Limpasan air hujan di jalan raya harus segera dialirkan menuju saluran pembuang. Hal tersebut sangat penting untuk diperhatikan dalam setiap perencanaan drainase jalan raya agar tidak terjadi genangan yang melebihi lama dan tinggi genangan ijin di jalan raya. Secara umum drainase jalan raya terdiri dari badan dan bahu jalan sebagai saluran pembawa (*gutter*), saluran penangkap (*inlet*) dan saluran pembuang (*drainage channel*).

2.5.1 Saluran pembawa

Pada keadaan hujan, jalan akan memiliki fungsi sebagai saluran air (*gutter*) yang menampung aliran air dari badan jalan menuju saluran pembuang. Debit yang mengalir pada saluran pembawa dihitung berdasarkan persamaan (Pilgrim, 1991:304 dalam Nasruddin 2001:18):

$$Q_g = 0.375 \cdot F \cdot \frac{d_g^{8/3} \cdot i^{1/2}}{S_N \cdot n_N} \dots\dots\dots (2-46)$$

dengan:

Q_g = debit yang mengalir di saluran pembawa (m^3/dt)

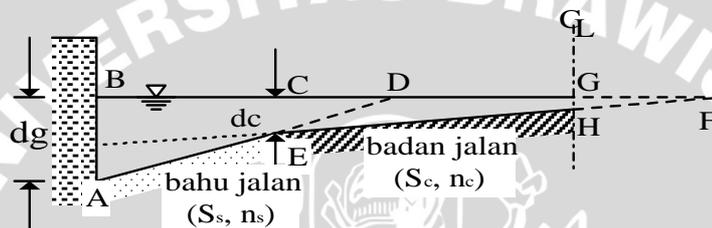
F = faktor akibat bentuk saluran pembawa
(0.8 bila trotoar tidak tegak lurus, 0.9 bila tegak lurus)

d_g = kedalaman aliran tertinggi (m)

i = kemiringan memanjang ruas jalan

S_N = kemiringan melintang, badan atau bahu jalan

n_N = kekasaran manning, tergantung bahan



Gambar 2.6 Bahu jalan yang berfungsi sebagai saluran pembawa
(penampang melintang)

Sumber: Nasruddin, 2001:21

Berdasarkan kemiringan bahu jalan terhadap badan jalan, saluran pembawa dibedakan menjadi dua, yaitu kemiringan bahu jalan dan badan jalan sama (*undepressed gutter*) dan kemiringan bahu dan badan jalan berbeda (*depressed gutter*). Untuk *depressed gutter*, besarnya debit per ruas jalan dihitung dengan Persamaan

$$Q_g = Q_{ABD} - Q_{CDE} + Q_{CEF} - Q_{FGH} \dots\dots\dots (2-47)$$

$$Q_g = 0.375 \cdot F \cdot i^{0.5} \left(\frac{d_g^{8/3}}{S_s \cdot n_s} - \frac{d_c^{8/3}}{S_s \cdot n_c} + \frac{d_c^{8/3}}{S_c \cdot n_c} - \frac{d_{gh}^{8/3}}{S_c \cdot n_c} \right) \dots\dots\dots (2-48)$$

disederhanakan menjadi:

$$Q_g = 0.375 \cdot F \cdot i^{0.5} \left(\frac{(d_c + S_s \cdot W_s)^{8/3}}{S_s \cdot n_s} - \frac{d_c^{8/3}}{S_s \cdot n_c} + \frac{d_c^{8/3}}{S_c \cdot n_c} - \frac{(d_c - S_c \cdot W_c)^{8/3}}{S_c \cdot n_c} \right) \dots\dots\dots (2-49)$$

2.5.2 Bangunan inlet

Inlet menerima air permukaan dan meyalurkannya ke saluran drainase. *Street Inlets* adalah bukaan/lubang di sisi-sisi jalan yang berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan yang berada sepanjang jalan menuju ke saluran.

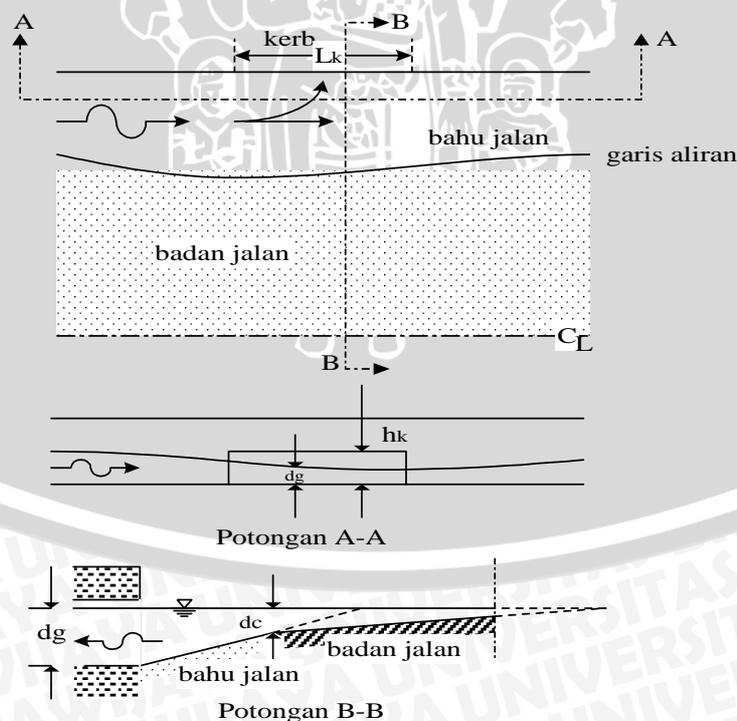
Perencanaan dan penempatan *inlet* harus benar-benar dipertimbangkan sehingga dapat berfungsi dengan baik. Perletakkan *street inlet* mempunyai ketentuan sebagai berikut:

- Diletakkan pada tempat yang tidak memberikan gangguan terhadap lalu lintas maupun pejalan kaki
- Ditempatkan pada daerah yang rendah dimana limpasan air hujan menuju ke arah tersebut
- Air yang masuk ke dalam *inlet* harus secepatnya menuju ke dalam saluran
- Jumlah *inlet* harus cukup untuk dapat menangkap limpasan air hujan pada jalan yang bersangkutan

Sebagian besar aliran permukaan yang mengalir di jalan raya dengan kondisi terhalang, akan dialirkan menuju saluran pembuang melalui lubang-lubang inlet yang biasanya diletakkan di bahu jalan maupun median jalan (Pilgrim, 1991:303). Terdapat beberapa macam jenis *inlet*, seperti *inlet* berkisi, *kerb* dan *grill*. Umumnya di jalan raya inlet yang sering digunakan adalah *kerb* dan *inlet* berkisi.

2.5.2.1 Saluran penangkap samping (*Kerb Opening Inlet*)

Merupakan jenis saluran penangkap yang berada di samping jalan (*side entries*). Air hujan yang jatuh di puncak jalan akan mengalir melalui badan jalan dan bahu jalan membentuk *gutter*, dan masuk ke saluran pembuang melewati *kerb inlet*.



Gambar 2.7 Saluran penangkap samping (*Kerb opening inlet*)

Ketinggian kerb yang direkomendasikan adalah 5cm Besarnya debit yang mengalir ke dalam saluran penangkap samping dihitung berdasarkan persamaan (Pilgrim, 1991:303 dalam Nasruddin, 2001:19)

- untuk kedalaman aliran $d_g \leq 1,4$ tinggi *kerb inlet*

$$Q_{kerb} = 1,66 \cdot L_{kerb} \cdot d_g^{1,5} \dots\dots\dots (2-50)$$

- untuk kedalaman aliran $d_g \geq 1,4$ tinggi *kerb inlet*

$$Q_{kerb} = 0,67A_{kerb}[2g(d_g - 0,5h_{kerb})]^{0,5} \dots\dots\dots (2-51)$$

Dengan :

Q_{kerb} : kapasitas tangkapan *kerb inlet* (m^3/dt)

L_{kerb} : lebar *kerb inlet* (m)

d_g : kedalaman genangan rerata (m)

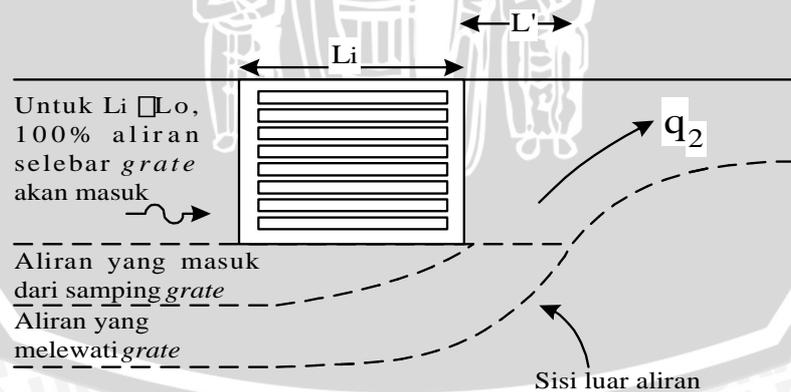
A_{kerb} : Luas bukaan *kerb inlet* (m^2)

g : percepatan gravitasi (m/dt^2)

h_{kerb} : tinggi *kerb inlet* (m)

2.5.2.2 Saluran penangkap berkisi (*Grated Inlet*)

Berbeda dengan *kerb inlet*, pada penangkap berkisi diletakkan tegak lurus arah aliran, sehingga air hujan yang jatuh akan mengalir ke bawah. Untuk menjaga fungsi dan kenyamanan jalan, maka muka *inlet* ini diberi kisi. Berdasarkan percobaan yang dilakukan Mostkow disarankan untuk merencanakan kisi dengan posisi sejajar arah aliran (Chow, 1997:306, dalam Rhanty, 2004:22). Untuk keamanan lebar kisi minimal harus lebih besar dari 2,5 cm (Linsley, 1992:62, dalam Rhanty, 2004:22).



Gambar 2.8 Skema aliran pada saluran penangkap berkisi

Sumber : Chow, 1997:306 dalam Nasruddin, 2001:21

Pada dasarnya persamaan dalam perhitungan dimensi saluran penangkap berkisi sama dengan *kerb*. Perbedaan terletak pada faktor kisi.



Persamaan debit pada saluran penangkap berkisi adalah (Pilgrim, 1991:303 dalam Nasruddin, 2001:21):

$$Q_{\text{grated}} = 1.66 \cdot P_g \cdot d_g^{1.5} \dots\dots\dots (2-52)$$

$$Q_{\text{grated}} = 0.67 \cdot A_g (2g \cdot d_g)^{0.5} \dots\dots\dots (2-53)$$

dengan:

Q_{grated} = debit yang mengalir di *greated* (m³/dt)

d_g = kedalaman aliran tertinggi di *gutter* (m)

P_g = panjang kisi searah aliran (m)

A_g = luas ruang terbuka kisi, luas total dikurangi luas kisi (m²)

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

Persamaan (2-52) digunakan bila kedalaman aliran (d) < 0,12 m, Sedangkan Persamaan (2-53) digunakan bila kedalaman aliran lebih dari 0,43 m. Bila kedalaman aliran terletak antara 0,12 m sampai 0,43 m, terjadi kondisi yang tidak terdefinisi (*indefinite*). Namun demikian Persamaan (2-52) masih diperbolehkan untuk menentukan nilai pendekatan.

Panjang minimum saluran penangkap berkisi agar dapat menampung aliran yang lewat di atasnya dinyatakan dalam (Anonim, 1975:215 dalam Nasruddin, 2001:22):

$$L_{\text{min}} = m \cdot v \sqrt{\frac{d_g}{g}} \dots\dots\dots (2-54)$$

dengan:

L_{min} = panjang minimum *inlet* untuk menampung aliran di atasnya (m)

m = koefisien akibat konfigurasi kisi

v = kecepatan aliran di *gutter* (m/dt)

d_g = kedalaman aliran tertinggi pada *gutter* (m)

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

2.5.2.3 Kisi melintang (*Slotted Inlet*)

Pada kemiringan ruas jalan yang curam, air akan mengalir ke bawah memenuhi badan dan bahu jalan. Pada kondisi ini perlu direncanakan tipe saluran penangkap yang melintang badan dan bahu jalan. Debit yang mengalir dapat didekati dengan persamaan (Subramanya, K, 1984):

$$Q_{\text{kisi}} = C_1 \cdot \varepsilon \cdot B \cdot L_{\text{kisi}} \sqrt{2gE} \dots\dots\dots (2-55)$$

dengan:

Q_{kisi} = debit yang masuk kisi (m^3/dt)

C_1 = koefisien akibat arah kisi

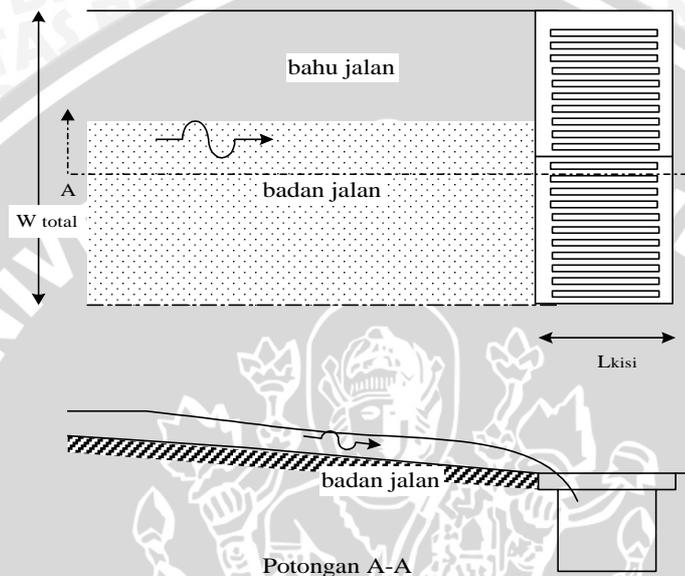
ε = perbandingan luas ruang terbuka dengan luas total

W_{total} = lebar melintang (m)

L_{kisi} = panjang kisi (m)

g = percepatan gravitasi (m/dt^2)

E = energi spesifik (m)



Gambar 2.9 Profil kisi melintang

Sumber: Nasruddin, 2001:26

2.5.2.4 Saluran penangkap kombinasi (*Combination Inlet*)

Saluran penangkap (*inlet*) kombinasi adalah gabungan antara saluran penangkap samping (*kerb opening inlet*) dan saluran penangkap berkisi (*grated inlet*). Saluran penangkap jenis ini dapat digunakan di berbagai macam konfigurasi jalan, terutama pada jalan yang berkelok-kelok. Dan juga saluran penangkap jenis kombinasi ini dapat mengalirkan dengan cepat air yang akan melimpas ke dalam saluran pembuang. Perawatan dari saluran jenis ini cukup mudah, karena kisi-kisi pada saluran berkisinya mudah untuk dilepas.

2.5.2.5 Penentuan jarak antar *inlet*

Penentuan jarak penempatan *inlet* dapat dilakukan berdasarkan pengalaman perencanaan jalan raya, misalnya dalam suatu jalan direncanakan dibuat 10 buah *inlet*, maka jarak dapat ditentukan dengan membagi panjang alur dengan jumlah inlet. Metode lain yang bisa digunakan adalah dengan melihat profil aliran yang terjadi. Metode ini

didasarkan pada pemilihan lokasi inlet yang paling ekonomis, yaitu inlet diletakkan pada suatu titik ketika penambahan lebar aliran permukaan mencapai batas (Pilgrim, 1991:300, dalam Rhanty, 2004:24). *Inlet* akan menangkap debit yang mengalir melewatinya demikian seterusnya sampai debit jalan raya dapat tertangkap sempurna (Ardianto, 2004:11, dalam Rhanty, 2004:24). Yang perlu diperhatikan pada perencanaan jarak antar *inlet* adalah bahwa setiap genangan maupun aliran permukaan di jalan raya akan mengganggu pengguna serta meningkatkan resiko kecelakaan lalu lintas.

Pada studi ini akan dibahas mengenai metode penentuan jarak yang penempatan *inlet* yang paling efektif mereduksi genangan.

2.5.3 Bangunan *outlet* (*Outfall*)

Outfall adalah ujung saluran yang di tempatkan pada sungai atau badan air penerima. Struktur bangunan *outfall* hampir sama dengan struktur bangunan terjunan. Karena biasanya titik ujung saluran terletak pada saluran yang lebih tinggi dari permukaan badan air penerima. Bangunan *outfall* dibuat dari pasangan batu kali/batu belah.

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam mendesain *outfall*:

1. Ujung dasar saluran mempunyai elevasi yang lebih tinggi dari permukaan air maksimum badan air penerima.
2. Tidak meletakkan mulut *outfall* pada tempat yang arusnya (badan air penerima) kuat, untuk mengurangi kerusakan struktur.
3. Mencegah terhalangnya mulut *outfall* dari benda-benda terapung dan terendapkan.
4. Lokasi yang ideal dari *outfall* adalah dimana benda-benda terapung dan terendapkan selalu dapat dialirkan atau didistribusikan.

2.5.4 Saluran Pembuang (*Drainage Channel*)

Saluran drainasi 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:

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

$$V_{sal} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_{sal}^{0.5} \dots\dots\dots (2-56)$$

dengan:

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

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

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

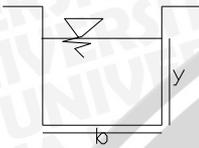
n = koefisien kekasaran Manning

R = jari-jari hidrolis (m)

S_{sal} = kemiringan dasar saluran

Unsur geometris penampang saluran:

a. Persegi



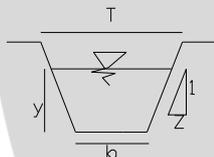
$$\text{Luas (A)} = b \cdot y \dots\dots\dots (2-57)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2y \dots\dots\dots (2-58)$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{by}{b + 2y} \dots\dots\dots (2-59)$$

$$\text{Kedalaman hidrolis} = y \dots\dots\dots (2-60)$$

b. Trapesium



$$\text{Luas (A)} = (b + zy) y \dots\dots\dots (2-61)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2y\sqrt{1 + z^2} \dots\dots\dots (2-62)$$

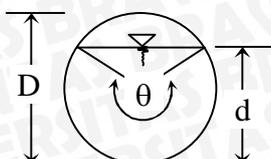
$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}} \dots\dots\dots (2-63)$$

$$\text{Kedalaman hidrolis} = \frac{(b + zy)y}{b + 2zy} \dots\dots\dots (2-64)$$

$$\text{Lebar puncak (T)} = b + 2zy \dots\dots\dots (2-65)$$

$$\text{Faktor penampang (z)} = \frac{((b + zy)y)^{1.5}}{\sqrt{b + 2zy}} \dots\dots\dots (2-66)$$

c. Lingkaran



$$\Theta = 4,5 \text{ radial} \dots\dots\dots (2-67)$$

$$\text{Kedalaman hidrolik (d)} = 0,80 D \dots\dots\dots (2-68)$$

$$\text{Luas penampang basah (A)} = 1/8 (\theta - \sin \theta) D^2 \dots\dots\dots (2-69)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = 2r \dots\dots\dots (2-70)$$

$$\text{Jari-jari hidrolik (R)} = A/P \dots\dots\dots (2-71)$$

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 (Anonim/SNI Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan, 1994:24) :

$$W = \sqrt{0,5 \times h} \dots\dots\dots (2-72)$$

Dengan :

W = tinggi jagaan (m)

h = tinggi air (m)

2.6 Limpasan Permukaan

2.6.1 Debit Rancangan Jalan Raya

Debit rancangan untuk daerah pengaliran yang relatif kecil, dengan selisih yang cukup pendek antara hujan yang jatuh dengan puncak banjir dapat didekati dengan menggunakan metode rasional:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

dengan :

Q = debit banjir maksimum (m^3/det)

C = koefisien pengaliran

I = intensitas hujan

A = luas daerah pengaliran (km^2)

2.6.1.1 Luas Daerah Pengaliran

Daerah pengaliran yang dimaksud dalam perencanaan *inlet* adalah daerah yang menampung curah hujan dalam waktu tertentu sehingga menimbulkan debit limpasan yang harus ditangkap oleh *inlet* untuk kemudian dialirkan ke dalam saluran pembuang.

Oleh karena itu dalam studi ini, yang menjadi luasan daerah pengaliran adalah perkalian antara jarak antar inlet dengan jarak antara puncak jalan dengan *inlet*.

$$A = (W_c + W_s) \times L_{inlet} \dots \dots \dots (2-73)$$

Dengan:

L_{inlet} = jarak antar *inlet* (m)

2.6.1.2 Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran merupakan rasio perbandingan air yang melimpas dengan jumlah hujan yang terjadi. Besarnya koefisien tersebut dipengaruhi oleh topografi, tata guna lahan dan intensitas hujan.

2.6.1.3 Waktu Konsentrasi

Bila koefisien kekasaran badan jalan dan bahu jalan berbeda, maka digunakan koefisien kekasaran ekuivalen. Persamaan koefisien kekasaran ekuivalen dinyatakan (Chow, Ven Te; 1985):

$$n_{eq} = \frac{\left[\sum_1^N (P_N n_N^2) \right]^{1/2}}{P^{1/2}} \dots \dots \dots (2-74)$$

dengan :

n_{eq} = koefisien kekasaran Manning ekuivalen

P_N = keliling basah, tergantung bahan (m)

n_N = koefisien kekasaran Manning, tergantung bahan

Dengan modifikasi untuk aliran pada daerah datar, persamaan menjadi:

$$n_{eq} = \frac{\left[\sum_1^N (L_N n_N^2) \right]^{1/2}}{L^{1/2}} \dots \dots \dots (2-75)$$

dimana L adalah lebar melintang badan dan bahu jalan. Untuk badan dan bahu jalan persamaan menjadi:

$$n_{eq} = \frac{\left[(W_s \cdot n_s^2 + W_c \cdot n_c^2) \right]^{1/2}}{(W_s + W_c)^{1/2}} \dots \dots \dots (2-76)$$

Untuk satu sisi jalan raya, panjang aliran dapat dihitung dengan persamaan resultan vektor:

$$L_r = (L_x^2 + L_y^2 + L_z^2)^{0.5} \dots \dots \dots (2-77)$$

$$L_r = (L^2 + (W_c + W_s)^2 + (S_c \cdot W_c + S_s \cdot W_s + i \cdot L)^2)^{0.5} \dots \dots \dots (2-78)$$



Karena terdapat perbedaan kemiringan dan beda tinggi, maka kemiringan aliran dihitung dengan persamaan:

$$S_a = \frac{\sum_{N=1}^N (s_N \cdot L_N)}{\left(L_x^2 + L_y^2\right)^{0.5}} \quad \dots\dots\dots (2-79)$$

$$S_a = \frac{W_c \cdot S_c + W_s \cdot S_s + iL}{\left(L^2 + (W_c + W_s)^2\right)^{0.5}} \quad \dots\dots\dots (2-80)$$

dengan:

S_a = kemiringan muka air

W_c = lebar badan jalan (m)

W_s = lebar bahu jalan (m)

L = panjang ruas jalan (m)

L_x = lebar ke arah sumbu x (m)

L_y = lebar ke arah sumbu y (m)

L_z = lebar ke arah sumbu z (m)

i = kemiringan memanjang ruas jalan

S_c = kemiringan melintang badan jalan

S_s = kemiringan melintang bahu jalan

Sehingga persamaan waktu konsentrasi (di badan dan bahu jalan) menjadi:

$$t_c = \left(\frac{2}{3} \times 3.28 \times L_r \frac{n_{eq}}{\sqrt{S_a}} \right)^{0.167} \quad \dots\dots\dots (2-81)$$

t_c = waktu konsentrasi (menit)

L_r = panjang aliran di badan dan bahu jalan (m)

n_{eq} = koefisien hambatan permukaan ekuivalen

S_a = kemiringan muka air

2.7 Tinggi Genangan

Proses aliran air akibat hujan dari badan jalan ke saluran pembuang akan mengakibatkan genangan dengan tinggi tertentu. Terdapat dua kondisi di jalan raya, yaitu kondisi terhalang dan kondisi bebas. Kondisi pertama adalah kondisi terhalang dimana air dari badan jalan terhalang untuk langsung masuk ke saluran. Air dari badan jalan harus terlebih dulu melalui saluran pembawa (*gutter*), masuk ke saluran

penangkap (*inlet*) untuk selanjutnya mengalir ke saluran. Kondisi kedua adalah kondisi bebas, dimana air hujan dari badan dan bahu jalan mengalir sesuai kemiringan aliran langsung menuju saluran samping. Tidak ada bangunan yang menjadi penghalang aliran air masuk ke saluran.

Untuk kondisi bebas, tinggi genangan dapat diperoleh dengan persamaan (Linsley, et. al, 1949:261 dalam Nasruddin, 2001:14):

$$d_e = 0.01166 \frac{(i.Lr.N_{eq})^{0.6}}{S_a^{0.3}} \dots\dots\dots (2-82)$$

Dengan:

- d_e = kedalaman konstan (cm)
- I = intensitas hujan (mm/jam)
- n = koefisien kekasaran Manning
- s = kemiringan lahan

Untuk kondisi terhalang, tinggi genangan dapat diperoleh dengan persamaan (Pilgrim, 1991:304 dalam Nasruddin 2001:18):

$$d_g = \left(\left(\frac{Q_g}{0,375 \cdot 0,9 \cdot i^{0,5}} \right) / (s_N \cdot n_N) \right)^{3/8} \dots\dots\dots (2-83)$$

Dengan:

- Q_g = debit yang mengalir di saluran pembawa (m^3/dt)
- F = faktor akibat bentuk saluran pembawa
(0.8 bila trotoar tidak tegak lurus, 0.9 bila tegak lurus)
- d_g = kedalaman aliran (m)
- i = kemiringan memanjang ruas jalan
- s_N = kemiringan melintang, badan atau bahu jalan
- n_N = kekasaran manning, tergantung bahan

2.8 Lama Genangan

Lama genangan yang terjadi pada section antar *inlet* adalah waktu yang diperlukan aliran permukaan dari titik terjauh di daerah tangkapan hujan menuju ke titik pengamatan (*inlet*). Lamanya genangan dapat ditentukan dengan pendekatan melalui persamaan gelombang kinematis (Pilgrim, 1991;300 dalam Ardianto, 2004:14). Adapun persamaan gelombang kinematis adalah sebagai berikut:

$$t_c = \frac{6,94 \cdot (L + nd)^{0,6}}{I_r^{0,4} \times Sa^{0,3}} \dots\dots\dots (2-84)$$

Dengan:

t_c = lama genangan (menit)

L = panjang jalur aliran (m)

n_d = koefisien hambatan

I_r = intensitas hujan rancangan (mm/jam)

S = kemiringan jalur aliran (m)

