

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dibutuhkan peneliti agar dapat melihat perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan. Selain itu juga diharapkan dalam penelitian ini dapat lebih memperhatikan mengenai kekurangan dan kelebihan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

| No | Peneliti | Judul | Hasil |
|----|----------------------------------|---|---|
| 1 | Permata Prameswari (2017) | Perencanaan Drainase Jalan Lingkar Luar Barat Surabaya Tahap 3 (STA 4+000 sampai dengan 11+502.94) | Saluran Drainase tepi jalan lingkar luar barat menggunakan u-ditch berdimensi 2m x 2m. Untuk sungai atau saluran kota yang terpotong jalan menggunakan gorong-gorong berupa box culvert dengan dimensi menyesuaikan kapasitas penampang existing yang ada. Melakukan normalisasi dan pembangunan untuk saluran sememi selatan, saluran made, dan saluran Lakarsantri. |
| 2 | Krisman Pebrian Manullang (2018) | Evaluasi Sistem Jaringan Drainase Jalan Raya (Studi Kasus : Lingkungan Jalan Nusantara Raya Perumnas 3 Kota Bekasi) | Debit banjir rencana (Q_r) dengan menggunakan kapasitas daya tampung saluran (Q_s) di dapatkan hasil sebesar 0,829m ³ /detik sehingga $Q_r > Q_s$ dalam hal ini saluran drainase jalan Nusantara Raya tidak mampu menampung debit limpasan sehingga perlu mendimensi ulang. Selain itu permasalahan banjir juga di karenakan topografi tanah yang cekung, sedimentasi, sampah yang menyumbat, arah aliran yang tidak baik karena kemiringan saluran yang datar, bagian |

| | | | |
|---|--|--|--|
| | | | <p>hilir kali sasak jarang terdapat gundukan tanah yang di hasilkan dari pengendapan, keersihan lingkungan sekitar yang membuat aliran limasan sulit mengalir dan kurangnya pemeliharaan saluran drainase secara berkala yang membuat system jaringan drainase jalan kurang berfungsi dengan baik sehingga genangan air banjir di sekitaran jalan Nusantara Raya Perumnas 3 Kota Bekasi.</p> |
| 3 | <p>Hilqim Lintang Adhidarma Persada (2017)</p> | <p>Perencanaan Saluran Drainase (Studi Kasus; Gerbang Barat – Gerbang Selatan Itera)</p> | <p>Perencanaan ini di lakukan dengan bentuk saluran terbuka yang efisien dan ekonomis sepanjang 1.486 meter dengan memperhitungkan data curah hujan. Data hujan yang di gunakan berupa data hujan dengan kurun waktu 10 tahun yang di dapat dari 3 (tiga) stasiun penakar hujan yang berada dekat dengan lingkup Institut Teknologi Sumatera, yaitu Sukarame (PH-003), Negara Ratu (PH- 033), dan Way Galih (PH-035). Pengelolaan data curah hujan di analisis dengan metode aritmatik, kemudian untuk mendapatkan hasil dari analysis dengan menggunakan metode Log Person III, dan Perhitungan debitnya, perencanaan ini menggunakan metode rasioanal. Dalam penelitian atas perencanaan ini, Di rencnaakan Lebar x tinggi),8meter, dengan debit 0,344 m3/detik dibutuhkannya biaya Rp. 2.702.283.151</p> |

1.2 Pengertian Drainase

Drainase merupakan sarana dan prasarana kota yang merupakan salah satu bangunan pelengkap pada ruas jalan yang berfungsi untuk mengendalikan limpasan air hujan di permukaan ruas jalan dan juga dari daerah sekitarnya agar tidak merusak konstruksi jalan akibat genangan air yang melimpas diatas perkerasan jalan atau erosi pada badan jalan. Tujuan dan Manfaat Drainase (Sriliani Surbakti, 2021).

Drainase memiliki tujuan penting dalam pembangunannya yaitu untuk mengurangi dan membuang kelebihan air dari suatu kawasan agar lahan tersebut bisa berfungsi secara optimal sesuai dengan kegunaannya. Sistem ini juga dapat mengendalikan erosi tanah serta kerusakan pada jalanan dan bangunan yang ada di sekitarnya.

Manfaat dengan adanya saluran drainase ini antara lain, Untuk mengurangi kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal. Sebagai pengendali air kepermukaan dengan tindakan untuk memperbaiki daerah becek, genangan air/banjir. (Suripin, 2004)

Jenis- jenis Drainase.

Drainase umumnya dapat di bedakan dalam beberapa jenis.

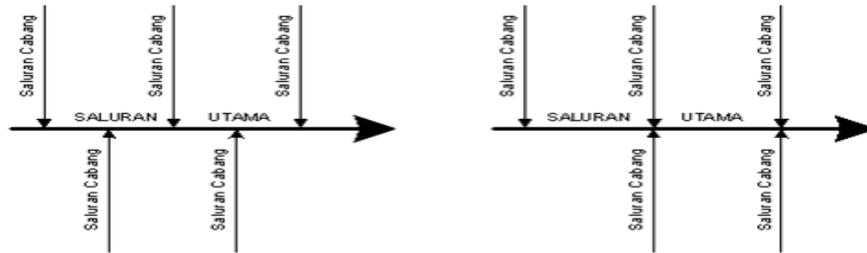
1. Drainase alami yaitu drainase yang dibentuk secara alamiah tanpa adanya bangunan pendukung di dalamnya. Saluran ini terbentuk dari gerusan air dari waktu ke waktu hingga membentuk saluran air permanen seperti sungai.
2. Drainase buatan yaitu drainase yang dibangun dengan tujuan tertentu. Dibutuhkan pembangunan khusus seperti selokan, gorong-gorong menggunakan beton, pipa maupun batu.
3. Drainase permukaan tanah yaitu saluran air yang berada di atas permukaan tanah untuk mengalirkan aliran curah hujan yang berada di atas permukaan sebuah kawasan. *Open Chanel Flow* adalah analisa yang digunakan untuk mengetahui nilainya.

4. Drainase bawah tanah yaitu drainase yang dibuat di bawah tanah karena ada alasan tertentu. Alasan yang paling umum adalah alasan artistik. Drainase dipasang di bawah tanah agar tatanan pembangunan terlihat lebih rapi.
5. Drainase *single purpose* yaitu saluran yang berfungsi hanya untuk mengalirkan satu jenis air pada saluran pembuangan. Seperti saluran yang hanya membuang aliran air hujan atau hanya membuang aliran air limbah.
6. Drainase *multi purpose* yaitu saluran drainase yang digunakan untuk membuang beberapa aliran air sekaligus. Pembuangannya bisa secara langsung sehingga airnya bercampur menjadi satu atau bergantian. Contohnya saluran air yang digunakan untuk membuang limbah rumah tangga sekaligus air hujan.
7. Drainase terbuka yaitu drainase yang digunakan untuk menyalurkan air hujan pada wilayah yang luas. Fungsi lainnya adalah sebagai media untuk mengalirkan air yang tidak berbahaya pada kelestarian lingkungan.
8. Drainase tertutup yaitu drainase yang dibuat tertutup karena mengalirkan air yang mengandung limbah berbahaya. Jika tidak ditutup maka akan membahayakan kesehatan masyarakat dan lingkungan sekitar. Drainase ini juga difungsikan sebagai saluran dalam kota.

➤ **Pola Jaringan Drainase**

Dalam Merencanakan sistem drainase untuk desa Klodan dan desa Bajulan, perlu memperhatikan pola jaringan drainasenya. Hal ini dapat di tentukan tergantung dari topografi daerah dan tata guna lahannya. Berikut beberapa Pola Jaringan drainase.

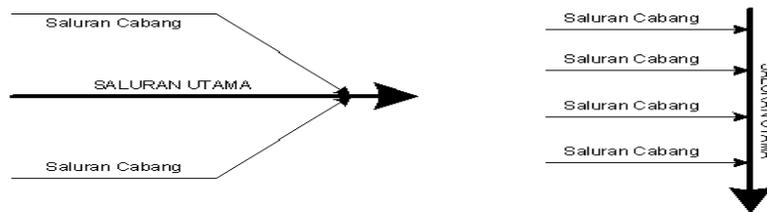
1. Siku
Dibuat pada daerah yang mempunyai topografi sedikit lebih tinggi dari pada sungai. Sungai sebagai saluran pembuang akhir.



Gambar 2. 1 Pola Siku

2. Paralel

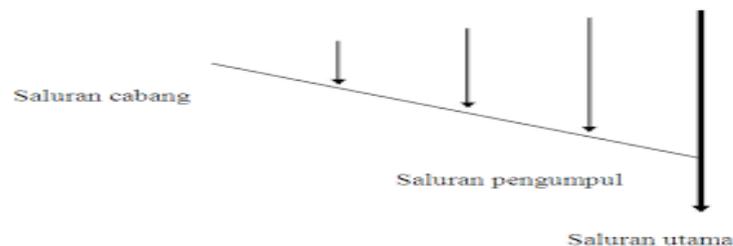
Saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang. Dengan saluran cabang (sekunder) yang cukup banyak dan pendek-pendek, apabila terjadi perkembangan kota, saluran-saluran akan dapat menyesuaikan diri .



Gambar 2. 2 Pola Paralel

3. Grid Iron

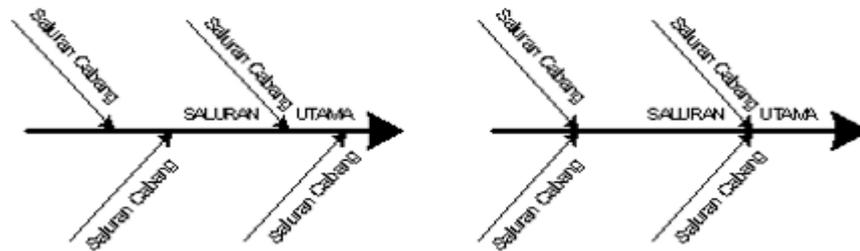
Untuk daerah dimana sungai terletak di pinggir kota, sehingga saluran-saluran cabang dikumpulkan dulu pada saluran pengumpul.



Gambar 2. 3 Pola Grid Iron

4. Alamiah

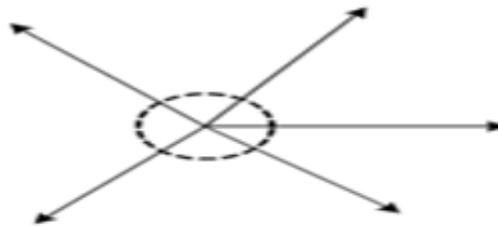
Pola ini sama seperti siku, hanya beban sungai pada pola alamiah lebih besar.



Gambar 2. 4 Pola Alamiah

5. Radial

Pada daerah berbukit, sehingga pola saluran memencar ke segala arah.



Gambar 2. 5 Pola Radial

1.3 Curah Hujan Maksimum

Curah hujan maksimum adalah curah hujan harian tertinggi dalam tahun pengamatan pada suatu stasiun. Data ini dipergunakan untuk perancangan bangunan drainase. Data hidrologi yang tersedia merupakan data curah hujan harian selama 10 tahun (tahun 2012 sampai tahun 2021). Data dapat diperoleh dari kantor Badan Klimatologi dan Geofisika (BMKG) wilayah setempat.

1.4 Analisa Hidrologi

Untuk menentukan curah hujan, data di ambil dari stasiun penakar hujan daerah tinjauan terdekat, tetapi pada umumnya data yang di peroleh pada stasiun Penakar Hujan hanya meninjau kedalaman hujan dari titik stasiun itu berada. Jika dalam suatu daerah terdapat 2 atau lebih stasiun pengukur hujan dalam tempat yang berbeda, maka curah hujan yang tercatat di tiap stasiun akan berbeda-beda. Untuk menentukan curah hujan rerata, dapat

menggunakan analisis Hidrologi pada daerah tinjauan dengan menggunakan 3 metode berikut:

1. Cara Rata-Rata Aljabar

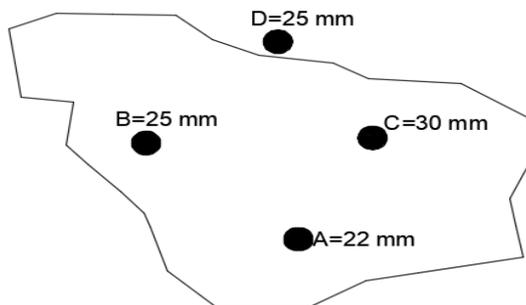
Metode ini menggunakan cara yang sederhana dan mudah untuk diterapkan. metode ini memiliki beberapa kelemahan :

- a. Bergantung pada distribusi hujan terhadap ruang dan ukuran daerah aliran sungai (besar atau kecil) sehingga kurang akurat.
- b. Memiliki syarat kondisi agar bisa mendapatkan hasil perhitungan, seperti banyaknya jumlah tempat yang di butuhkan dengan konsistensi dan konsentrasi curah hujan yang merata.

Pengukuran yang di lakukan di beberapa stasiun dalam waktu yang bersamaan di jumlahkan dan kemudian di bagi dengan jumlah stasiun. Umumnya yang menjadi acuan perhitungan adalah stasiun yang berada di sekitar lokasi penelitian, tetapi tidak menutup kemungkinan untuk tiap stasiun yang berdekatan juga harus di perhitungkan. Kelebihan dari metode rerata aljabar adalah

- 1. Stasiun tersebar secara merata
- 2. Relative distribusi hujan merata pada seluruh area
- 3. Kawasan dengan topografi datar

Hujan rerata pada suatu area dapat di hitung dengan rumus berikut :



Gambar 2. 6 Poligon Rerata Aljabar

$$P = \frac{1}{n} (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

R = Curah hujan rerata tahunan (mm/bulan).

n = jumlah stasiun yang di gunakan

$P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$ = curah hujan rerata tahunan di tiap titik (mm)

$$\bar{p} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_{total}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan :

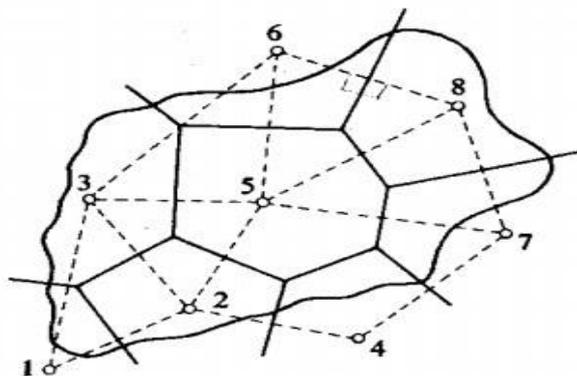
\bar{p} = Hujan Rerata Kawasan

A_1P_1 = Hujan pada Stasiun 1, 2, dan 3

A_{total} = Banyaknya pos penakar hujan

2. Cara Poligon Thiessen

Cara ini memperhitungkan bobot dari curah hujan masing- masing stasiun yang mewakili luasan di sekitar. Pada suatu luasan di anggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili stasiun tersebut. Metode ini di gunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang di tinjau tidak merata. Hitungan curah hujan rerata di lakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari tiap stasiun.



Gambar 2. 7 Poligon Thiessen

Metode *Poligon Thiessen* di kenal sebagai metode rata-rata timbang (weighted mean) di hitung dengan cara memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakeragaman jarak.

Daerah pengaruh di bentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos terdekat.

Hasil metode *polygon thiessen* lebih akurat di bandingkan dengan metode rerata aljabar. Cara ini cocok untuk daerah datar dengan luas 500-5000 km² dan jumlah penakar hujan terbatas di bandingkan luasnya. Prosedur penerapan metode ini meliputi Langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Lokasi pos penakar di plot pada peta DAS. Garis lurus penghubung di buat antar pos penakar.
- b. Garis tegak lurus di antar garis penghubung sedemikian rupa, sehingga membentuk *polygon Thiessen* seperti pada gambar 2.1. semua titik satu *polygon Thiessen* akan memiliki jarak terdekat dengan pos yang ada di dalamnya di bandingkan jarak terhadap pos lainnya. Curah hujan pada pos tersebut di anggap representasi hujan pada Kawasan dalam polygon yang bersangkutan.
- c. Luas areal pada tiap-tiap polygon bisa di ukur menggunakan planimeter dan luas total DAS, A, dapat di ketahui dengan menjumlahkan semua luasan polygon.
- d. Hujan rerata DAS dapat di hitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\bar{p} = \frac{p_1 A_1 + p_2 A_2 + p_3 A_3 + \dots + p_n A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.4)$$

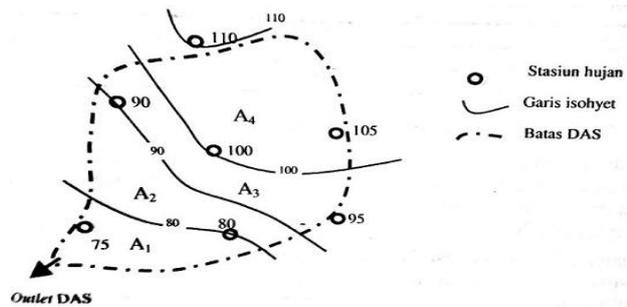
Dengan :

- $P_1, P_2 \dots P_n$ = curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan
- $A_1, A_2, \dots A_n$ = Luas areal polygon
- n = Banyaknya pos penakar Hujan

3. Cara Isohyet

Cara ini adalah yang paling akurat dalam mennetukan rata-rata hujan, tetapi metode ini membutuhkan keahlian dan pengalaman. Metode ini

menghubungkan titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Dua garis Isohyet tidak pernah saling berpotongan. Metode ini memperhitungkan secara actual pengaruh tiap-tiap penakar hujan. Dalam hal ini kita harus menggambar dulu contour dengan tinggi hujan yang sama. Seperti gambar 2.8



Gambar 2. 8 Poligon Isohyet

Langkah-langkah metode Isohyet

- Plot data kedalaman air hujan untuk beberapa penakar hujan pada peta.
- Gambar kontur kedalaman air hujan dengan menghubungkan titik-titik yang mempunyai kedalaman air hujan yang sama. Interval isohyet yang umum di pakai 10mm. Hitung luas area antara dua garis isohyet dengan menggunakan hujan antara dua isohyet yang berdekatan. Hitung hujan rata-rata dengan persamaan berikut

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \frac{I_i + I_{i+1}}{2}}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\bar{p} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan :

P = Hujan Rerata Kawasan

A_1 = Luas dari titik 1

I_1 = Garis Isohyet ke Pertama

Pemilihan metode yang cocok di pakai pada suatu DAS di tentukan dengan mempertimbangkan 3 faktor sebagai berikut.

Tabel 2.2 Jaringan Pos Penakar Hujan

| Persyaratan | Metode Yang Di Gunakan |
|--------------------------------------|--|
| a. Jaringan Pos Penakar Hujan | |
| Jumlah Pos penakar hujan cukup | Metode Isohyet, Thiessen atau rata-rata aljabar dapat di pakai |
| Jumlah pos penakar hujan terbatas | Metode rata-rata aljabar atau Thiessen |
| Pos penakar hujan tunggal | Metode hujan titik |
| b. Luas DAS | |
| DAS > 5000 km ² | Metode isohyet |
| DAS 500 s/d 5000 km ² | Metode thiessen |
| DAS < 500 km ² | Metode rerata aljabar |
| c. Topografi DAS | |
| Pegunungan | Metode Thiessen |
| Dataran | Metode Aljabar |
| Berbukit dan tidak beraturan | Metode Isohyet |

1.5 Curah Hujan Rancangan

Curah hujan rancangan adalah curah hujan terbesar tahunan, dengan suatu kemungkinan tertentu atau hujan dengan sesuatu kemungkinan periode tertentu. Jatuhnya hujan disuatu daerah baik menurut waktu maupun pembagian geografinya tidak tetap melainkan berubah-ubah. Dalam merencanakan banjir rancangan, ditetapkan jangan terlalu kecil, agar tidak terlalu sering terjadi ancaman perusakan bangunan atau daerah disekitar oleh banjir yang terlalu besar, tetapi perancangan banjir rencana terlalu besar sehingga bangunan tidak aman. Maka itu perlu di lakukan Analisa frekuensi.

1. Analisa Frekuensi

Analisa frekuensi bertujuan untuk menentukan jenis distribusi yang sesuai dalam mendapatkan curah hujan rencana yang diambil dari data curah hujan rerata daerah. Pemilihan jenis distribusi curah hujan yang sesuai berdasarkan koefisien asimetri, kepengengan kurtosis (CD. Soemarto, Hidrologi Teknik, 1987).

- Rata-rata

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots\dots\dots (2.7)$$

- Standar deviasi
-

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n iXi^{-2}}{n-1}} \dots\dots\dots (2.8)$$

- Koefesien skewness

$$Cs = \frac{\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (Xi-\bar{X})^3}{Sd^3} \dots\dots\dots (2.9)$$

- Koefesien Kurtosis

$$Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (Xi-\bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4} \dots\dots\dots (2.10)$$

- Koefesien Variasi

$$Cv = \frac{Sd}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana : \bar{X} = Rata-rata

X_i = Varian ke i

n = Banyaknya data

Sd = Standar deviasi

Cs = Koefisien skewness

Ck = Koefisien kortusis

Ck = Koefisien variasi

Tabel 2. 3 syarat jenis distribusi

| Jenis Distribusi | Syarat |
|---------------------|--------------------------------------|
| Normal | $Cs \approx 0$ $Ck \approx 3$ |
| Log Normal | $Cs = 0,82$ $Ck = 4,22$ |
| Log Person Tipe III | $Cs \neq 0$ |
| E.J. Gumbel | $Cs \leq 1,1396$ $Ck \leq 5,4002$ |

Sumber : CD. Soemarto, Hidrologi Teknik, 1987

a. Metode Distribusi Normal

Untuk hitung hujan rencana sesuai distribusi normal, jika data yang dugunakan adalah sampel, rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$Xr = X + k.Sx \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana: X_T = Hujan rencana dengan periode ulang T tahun

\bar{X} = Rata-rata dari data hujan

Sd = Standar deviasi dari data hujan

K_T = Faktor frekuensi, nilainya tergantung dari nilai T (lihat tabel 2.3)

Tabel 2. 4 nilai variabel reduksi gauss

| No | Periode Ulang, T (tahun) | Peluang | K_T |
|----|--------------------------|---------|-------|
| 1 | 1,001 | 0,999 | -3,05 |
| 2 | 1,005 | 0,995 | -2,58 |
| 3 | 1,010 | 0,990 | -2,33 |
| 4 | 1,050 | 0,950 | -1,64 |
| 5 | 1,110 | 0,900 | -1,28 |
| 6 | 1,250 | 0,800 | -0,84 |
| 7 | 1,330 | 0,750 | -0,67 |
| 8 | 1,430 | 0,700 | -0,52 |
| 9 | 1,670 | 0,600 | -0,25 |
| 10 | 2,000 | 0,500 | 0 |
| 11 | 2,500 | 0,400 | 0,25 |
| 12 | 3,330 | 0,300 | 0,52 |
| 13 | 4,000 | 0,250 | 0,67 |
| 14 | 5,000 | 0,200 | 0,84 |
| 15 | 10,000 | 0,100 | 1,28 |
| 16 | 20,000 | 0,050 | 1,64 |
| 17 | 50,000 | 0,020 | 2,05 |
| 18 | 100,000 | 0,010 | 2,33 |
| 19 | 200,000 | 0,005 | 2,58 |
| 20 | 500,000 | 0,002 | 2,88 |
| 21 | 1,000,000 | 0,001 | 3,09 |

Sumber : Suripin, 2004

b. Distribusi Log Normal

Perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Log Normal, jika data yang dipergunakan adalah berupa sampel, dilakukan dengan rumus-rumus berikut:

- Rata-rata

$$\text{Log } \bar{x} = \frac{\sum \log x}{n} \dots\dots\dots (2.13)$$

- Standar Deviasi

$$Sd = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\text{Log } x_i - \text{Log } \bar{x})^2}}{n-1} \dots\dots\dots (2.14)$$

- Koefesien Skewness

$$Cs = \frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^3}{(n-1)(-2)(Sd)^3} \dots\dots\dots (2.15)$$

- Log Hujan Rencana

$$\log X_T = \log \bar{X} + K_T \times Sd \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana: $\log \bar{X}_T$ = Logaritma hujan rencana

$\log X$ = Rata-rata

$\log X_i$ = Varian ke i

n = Banyaknya data

Sd = Standar deviasi

Cs = Koefisien skewness

K_T = Faktor frekuensi, nilainya tergantung dari nilai T (lihat tabel 2.3 nilai variabel reduksi gauss)

c. Metode *Log Person Type III*

Untuk hitung hujan rencana berdasarkan Distribusi *Log Person Type III*, bila ada data yang digunakan berupa sampel, dilakukan dengan rumus-rumus berikut:

- Hitung rata-rata Log \bar{X} berdasarkan

$$\log \bar{x} = \frac{\sum \log x}{n} \dots\dots\dots (2.17)$$

- Hitung nilai standar deviasi (Sd)

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n i^{X_i-2}}{n-1}} \dots\dots\dots (2.18)$$

- Hitung nilai Koefesien Kepencengan (Cs)

$$Cs = \frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \log X)^3}{(n-1)(n-2)(Sd)^3} \dots\dots\dots (2.19)$$

- Logaritme hujan rencana

$$\text{Log } X_T = \text{Log } X + KT \times Sd \dots\dots\dots (2.20)$$

dimana: $\text{Log } X_T$ = Logaritma hujan rencana

$\text{Log } X$ = Rata-rata

$\text{Log } X_i$ = Varian ke i

n = Banyaknya data

Sd = Standar deviasi

Cs = Koefisien skewness

KT = Faktor frekuensi, nilainya tergantung dari nilai T (lihat tabel 2.3 nilai variabel reduksi gauss)

Tabel 2. 5 Faktor frekuensi G untuk distribusi *Log Person Type III*

| Koef, G | Interval kejadian (<i>Recurrence interval</i>), tahun (periode ulang) | | | | | | | |
|---------|---|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1, 0101 | 1,2500 | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| | Persentase peluang terlampaui (<i>Percent chance of being exceeded</i>) | | | | | | | |
| | 99 | 80 | 50 | 20 | 10 | 4 | 2 | 1 |
| 3,0 | -0,667 | -0,636 | -0,396 | 0,420 | 1,180 | 2,278 | 3,152 | 4,051 |
| 2,8 | -0,714 | -0,666 | -0,384 | 0,460 | 1,210 | 2,275 | 3,114 | 3,973 |
| 2,6 | -0,769 | -0,696 | -0,368 | 0,499 | 1,238 | 2,267 | 3,071 | 2,889 |
| 2,4 | -0,832 | -0,725 | -0,351 | 0,537 | 1,262 | 2,256 | 3,023 | 3,800 |
| 2,2 | -0,905 | -0,752 | -0,330 | 0,574 | 1,284 | 2,240 | 2,970 | 3,705 |
| 2,0 | -0,990 | -0,777 | -0,307 | 0,609 | 1,302 | 2,219 | 2,192 | 3,605 |
| 1,8 | -1,087 | -0,799 | -0,282 | 0,643 | 1,318 | 2,193 | 2,848 | 3,499 |
| 1,6 | -1,197 | -0,817 | -0,254 | 0,675 | 1,329 | 2,163 | 2,780 | 3,388 |
| 1,4 | -1,318 | -0,832 | -0,225 | 0,705 | 1,337 | 2,128 | 2,706 | 3,271 |
| 1,2 | -1,449 | -0,844 | -0,195 | 0,732 | 1,340 | 2,087 | 2,626 | 3,149 |
| 1,0 | -1,588 | -0,852 | -0,164 | 0,758 | 1,340 | 2,043 | 2,542 | 3,022 |
| 0,8 | -1,733 | -0,856 | -0,132 | 0,780 | 1,336 | 1,993 | 2,453 | 2,891 |
| 0,6 | -1,880 | -0,857 | -0,099 | 0,800 | 1,328 | 1,939 | 2,359 | 2,755 |
| 0,4 | -2,029 | -0,855 | -0,066 | 0,816 | 1,317 | 1,880 | 2,261 | 2,615 |
| 0,2 | -2,178 | -0,850 | -0,033 | 0,830 | 1,301 | 1,818 | 2,159 | 2,472 |

Sumber : CD. Soemarto, *Hidrologi Teknik*, 1987

Tabel 2. 6 Faktor frekuensi G untuk *Log Person Type III* (lanjutan)

| Koef. G | Interval kejadian (<i>Recurrence interval</i>), tahun (periode ulang) | | | | | | | |
|---------|---|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1, 0101 | 1,2500 | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| | Persentase peluang terlampaui (<i>Percent chance of being exceeded</i>) | | | | | | | |
| | 99 | 80 | 50 | 20 | 10 | 4 | 2 | 1 |
| 0,0 | -2,326 | -0,842 | 0,000 | 0,842 | 1,282 | 1,751 | 2,051 | 2,326 |
| -0,2 | -2,472 | -0,830 | 0,033 | 0,850 | 1,258 | 1,680 | 1,945 | 2,178 |
| -0,4 | -2,615 | -0,816 | 0,066 | 0,855 | 1,231 | 1,606 | 1,834 | 2,029 |
| -0,6 | -2,755 | -0,800 | 0,099 | 0,857 | 1,200 | 1,528 | 1,720 | 1,880 |
| -0,8 | -2,891 | -0,780 | 0,132 | 0,856 | 1,166 | 1,448 | 1,606 | 1,733 |
| -1,0 | -3,022 | -0,758 | 0,164 | 0,852 | 1,128 | 1,366 | 1,492 | 1,588 |
| -1,2 | -2,149 | -0,732 | 0,195 | 0,844 | 1,086 | 1,282 | 1,379 | 1,449 |
| -1,4 | -2,271 | -0,705 | 0,225 | 0,832 | 1,041 | 1,198 | 1,270 | 1,318 |
| -1,6 | -2,388 | -0,675 | 0,254 | 0,817 | 0,994 | 1,116 | 1,166 | 1,197 |
| -1,8 | -3,499 | -0,643 | 0,282 | 0,799 | 0,945 | 1,035 | 1,069 | 1,087 |
| -2,0 | -3,605 | -0,609 | 0,307 | 0,777 | 0,895 | 0,959 | 0,980 | 0,990 |
| -2,2 | -3,705 | -0,574 | 0,330 | 0,752 | 0,844 | 0,888 | 0,900 | 0,905 |
| -2,4 | -3,800 | -0,537 | 0,351 | 0,725 | 0,795 | 0,823 | 0,830 | 0,832 |
| -2,6 | -3,889 | -0,490 | 0,368 | 0,696 | 0,747 | 0,764 | 0,768 | 0,769 |
| -2,8 | -3,973 | -0,469 | 0,384 | 0,666 | 0,702 | 0,712 | 0,714 | 0,714 |
| -3,0 | -7,051 | -0,420 | 0,396 | 0,636 | 0,660 | 0,666 | 0,666 | 0,667 |

Sumber : CD. Soemarto, *Hidrologi Teknik*, 1987

d. Metode Distribusi E.J Gumbel

Tujuan dari nilai-nilai ekstrim tersebut datang untuk menganalisis hasil pengamatan nilai-nilai ekstrim tersebut untuk memperkirakan nilai-nilai ekstrim berikutnya. Distribusi Gumbel banyak digunakan untuk menganalisis pada data maksimum. Analisis frekuensi Gumbel tersebut dilakukan dalam persamaan sebagai berikut:

- Rata-rata

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots\dots\dots (2.21)$$

- Standar deviasi

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.22)$$

- Faktor Frekuensi

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots (2.23)$$

- Hujan Periode

$$X_t = \bar{X} + (K \times Sd) \dots\dots\dots (2.24)$$

- Dengan :
- \bar{X} = Rata-rata
 - X_i = Varian ke i
 - n = Banyaknya data
 - Sd = Standar deviasi
 - K = Faktor frekuensi
 - Y_n = *Reduce mean*
 - Y_t = *Reduce variate*
 - S_n = *Reduce standar deviasi*

Tabel 2. 7 Nilai Y_t

| Periode Ulang T (Tahun) | Y_t |
|----------------------------|--------|
| 2 | 0.3665 |
| 5 | 1,499 |
| 10 | 2.2504 |
| 20 | 2.9702 |
| 25 | 3.1255 |
| 50 | 3.9019 |
| 100 | 4.6001 |

Sumber : CD. Soemarto, *Hidrologi Teknik*, 1987

Tabel 2. 8 Nilai Y_n dan S_n

| n | S_n | Y_n | n | S_n | Y_n |
|----|--------|--------|------|--------|--------|
| 10 | 0,9497 | 0,4952 | 60 | 1,1750 | 0,5521 |
| 15 | 1,0210 | 0,5128 | 70 | 1,1850 | 0,5548 |
| 20 | 1,0630 | 0,5236 | 80 | 1,1940 | 0,5567 |
| 25 | 1,0910 | 0,5390 | 90 | 1,2010 | 0,5586 |
| 30 | 1,1120 | 0,5362 | 100 | 1,2060 | 0,5600 |
| 35 | 1,1280 | 0,5403 | 20 | 1,2360 | 0,5672 |
| 40 | 1,1410 | 0,5436 | 500 | 1,2590 | 0,5724 |
| 45 | 1,1520 | 0,5463 | 1000 | 1,2690 | 0,5745 |
| 50 | 1,1610 | 0,5485 | | | |

Sumber : CD. Soemarto, *Hidrologi Teknik*, 1987

2. Pemeriksaan Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Pemeriksaan uji kesesuaian distribusi ini dimaksudkan untuk mengetahui

suatu kebenaran hipotesa distribusi frekwensi. Dengan pemeriksaan uji ini akan diketahui:

1. Kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau yang diperoleh secara teoritis.
2. Kebenaran hipotesa (diterima/ditolak).

a. Uji Kesesuaian *Smirnov Kolmogrov*

Uji keselarasan *Smirnov Kolmogorov* adalah uji beda antara data yang di uji normalitasnya dengan data normal baku. Konsep Dasar dari uji normalitas yaitu membandingkan distribusi data (yang akan diuji normalitasnya) dengan distribusi normal baku. Kelebihan dari uji ini adalah sederhana dan tidak menimbulkan perbedaan persepsi di antara satu pengamat dengan pengamat yang lain, yang sering terjadi pada uji normalitas dengan menggunakan grafik.

- a. Data diurutkan dari besar ke kecil dan juga ditentukan masing-masing peluangnya

$$X_1 \quad P(X_1)$$

$$X_2 \quad P(X_2)$$

$$X_m \quad P(X_m)$$

$$X_n \quad P(X_n)$$

- b. Setelah itu ditentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari penggambaran persamaan distribusinya

$$X_1 \quad P'(X_1)$$

$$X_2 \quad P'(X_2)$$

$$X_m \quad P'(X_m)$$

$$X_n \quad P'(X_n)$$

- c. Selisih kedua nilai dapat dihitung dengan persamaan

$$\Delta = \text{maksimum } [P(X_m) - P(X_n)]$$

- d. Berdasarkan tabel nilai kritis (*smirnov-kolmogorov test*), dapat ditentukan nilai Δ_0 , dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2. 9 Nilai titik kritis Δ_0 untuk Uji Smirnov-Kolmogrov

| N | α | | | |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,01 |
| 5 | 0,45 | 0,51 | 0,56 | 0,67 |
| 10 | 0,32 | 0,37 | 0,41 | 0,49 |
| 15 | 0,27 | 0,30 | 0,34 | 0,40 |
| 20 | 0,23 | 0,26 | 0,29 | 0,36 |
| 25 | 0,21 | 0,24 | 0,27 | 0,32 |
| 30 | 0,19 | 0,22 | 0,24 | 0,29 |
| 35 | 0,18 | 0,20 | 0,23 | 0,27 |
| 40 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,25 |
| 45 | 0,16 | 0,18 | 0,2 | 0,24 |
| 50 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,23 |
| $N > 50$ | $1,07/(N^{0,5})$ | $1,22/(N^{0,5})$ | $1,36/(N^{0,5})$ | $1,63/(N^{0,5})$ |

(sumber : Bonnier dalam Soewarno, 1995:1999)

Apabila $\Delta < \Delta_0$ distribusi teoritis diterima. $\Delta > \Delta_0$ distribusi teoritis ditolak.

b. Uji Kesesuaian Chi Square

Pengujian ini didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut. *Uji Chi-Kuadrat* menggunakan nilai X^2 yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dengan ;

- X^2 = Nilai *chi-kudrat* terhitung
- E_f = Frekuensi (banyak pengamatan) yang di haraokan sesuai pembagian kelasnya
- O_f = Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama
- N = Jumlah sub kelompok dalam satu grub

1.6 Perhitungan Debit Banjir Rancangan

Metode rasional merupakan cara yang sering di gunakan untuk menghitung debit banjir dari curah hujan. Metode ini biasa di gunakan untuk

sungai-sungai biasa dengan daerah pengaliran yang luas, dan juga untuk perencanaan drainase daerah pengaliran yang relatif sempit.

Bentuk umum rumus rasional ini adalah sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{3,6} \cdot C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (2.26)$$

Dengan :

- Q = Debit banjir maksimum (m³/detik)
- I = Intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)
- A = Luas daerah pengaliran bagian hulu (ha)
- C = Koefisien pengaliran

1. Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan biasanya dihubungkan dengan durasi hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 30 menit, 60 meneit dan berjam-jam. Untuk pembuatan grafik IDF dibutuhkan data hujan jangka pendek. Kemudian, berdasarkan data hujan jangka panjang tersebut, grafik IDF dapat dibuat dengan rumus Mononobe. Berikut rumusnya (Suripin, 2004):

$$I = \frac{R}{24} x \left(\frac{24}{tc}\right)^{\frac{2}{3}} \frac{mm}{jam} \dots\dots\dots (2.27)$$

Dengan :

- R = Curah hujan rancangan setempat dalam (mm)
- t_c = Lama waktu konsentrasi dalam jam
- I = Iintensitas Hujan dalam (mm/jam)

2. Waktu Konsentrasi

Air hujan yang jatuh pada suatu daerah aliran, pada saat meyentuh permukaan daerah aliran yang paling jauh lokasinya daru muara, maka waktu konsentrasi mulai di hitung. Air hujan akan mengalir ke arah saluran terdekat. Waktu ini di sebut t0, yaitu waktu limpas permukaan. Dari sini air mengalir di dalam saluran atau td- pejumlahan waktu tersebut merupakan waktu konsentrasi atau tc.

Menurut (Suripin, 2004), waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat

keluaran DAS (titik control) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi kecil terpenuhi.

$$T_c = T_0 + T_d \dots \dots \dots (2.28)$$

Dengan metode Rasional, waktu konsentrasi T_0 dapat pula didekati dengan Rumus Kirpich sebagai berikut :

$$T_0 = 56,7 \cdot L^{1,156} \cdot D^{-0,385} \dots \dots \dots (2.29)$$

$$T_d = L_s/60 \cdot V \dots \dots \dots (2.30)$$

Koefesien Konsentrasi / pengumpulan (C_s)

$$C_s = \frac{2 t_c}{2 t_c + t_d}$$

> $t_c = t_0 + t_d$

$$T_d = L_s/v$$

Dengan :

T_c = Waktu Knsentrasi durasi hujan (menit)

T_d = Waktu pengaliran dalam saluran (menit)

T_0 = Waktu pada permukaan pengaliran saluran(menit)

L_s = Panjang saluran (m)

D = Beda tinggi antara titik terjauh (m)

V = Kecepatan aliran air dalam saluran (m/dt)

3. Koefisien Pengaliran

Untuk mendapatkan hasil pengaliran yang sama dengan keadaan dilapangan, maka ditambahkan suatu koefisien pengaliran nilai-nilai dari koefisien didapatkan dari pengamatan medan misalnya : permeabilitas tanah semakin besar maka akan banyak infiltrasi, sehingga lapisan-lapisan menjadi

lebih sedikit, sedangkan dalam perhitungan hidrologi yang dipakai adalah data curah hujan. Akibat adanya pengurangan tersebut, maka dinilai perhitungan harus disesuaikan dengan koefisien-koefisien pengaliran.

Tabel 2. 10 Angka Koefisien Pengaliran Pada Suatu Daerah

| No | Kondisi Permukaan Tanah | Koefisien Pengaliran |
|-----|-------------------------------|----------------------|
| 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 Masif Lunak | 0.60 – 0.75 |
| 4. | Daerah Perkotaan | 0.70 – 0.95 |
| 5. | Daerah Pinggir Kota | 0.60 – 0.70 |
| 6. | Daerah Industri | 0.60 – 0.90 |
| 7. | Pemukiman Padat | 0.40 – 0.60 |
| 8. | Pemukiman Tidak Padat | 0.40 – 0.60 |
| 9. | Taman dan Kebun | 0.20 – 0.40 |
| 10. | Persawahan | 0.45 – 0. 60 |
| 11. | Pegunungan | 0.75 - 0.90 |
| 12. | Perbukitan | 0.75 – 0.90 |

(Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga, 1990.)

Luas daerah pengeringan pada umumnya terdiri dari beberapa daerah yang mempunyai karakteristik permukaan tanah yang berbeda sehingga koefisien pengaliran untuk masing-masing area nilainya berbeda dan untuk menentukan koefisien pengaliran pada wilayah tersebut di lakukan penggabungan dari masing-masing sub Area.

4. Luas Daerah Aliran

Luas daerah aliran (*Catchment Area*), ditentukan berdasarkan peta topografi pada wilayah yang di lalui trase jalan. Pada umumnya peta yang tersedia adalah skala 1:50.000 atau 1: 25.000 yang bisa di peroleh (dibeli) dari pusat penelitian dan pengembangan geologi. Sering terjadi, tidak tersedia peta topografi yang diperlukan sehingga sulit untuk menghitung catchment area. Jika demikian maka sebagai gambaran kasar perencana dapat mengambil asumsi bahwa batas daerah aliran yang diperhitungkan adalah dimulai dari as jalan sampai tepi perbatasan bahu jalan dengan selokan samping dan kurang lebih areal sekitar 100 m (maximum) dihitung mulai dari tepi luar selokan

samping. Perkiraan lebar daerah aliran ini masih perlu di-check dengan kondisi lapangan yang sebenarnya dan kemudian di koreksi.

Rumus yang di gunakan untuk menghitung debit aliran tergantung pada besarnya catchment area, pada umumnya di tentukan sebagai berikut :

- Untuk catchment area < 25 km² di pakai rumus rational
- Untuk catchment area 25 – 100 km² di pakai cara weduwen
- Untuk catchment area > 100 km² di pakai cara Melchior

Perhitungan debit aliran untuk selokan saluran samping dan gorong-gorong pada umumnya menggunakan rumus rational.

1.7 Hidrolika Saluran

Hidrolika saluran digunakan untuk mengalirkan sistem drainase secara generasi. Perhitungan-perhitungan dalam drainase ditinjau dari aspek hidrolika yang diutamakan pada dimensi saluran.

1. Analisa Kapasitas Penampang Saluran

Elevasi hulu dan hilir dasar saluran di peroleh dengan menggunakan metode trial error (coba-coba) dengan syarat elevasi dasar saluran tidak boleh lebih besar dari elevasi permukaan jalan atau lahan serta mempertimbangkan tinggi actual dan tinggi jagaan pada saluran. Saluran drainase dapat terbuka atau tertutup sesuai dengan kondisi eksiting. Rumus kecepatan rata-rata pada perhitungan dimensi penampang saluran digunakan rumus Maning :

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.31)$$

Dengan :

V = Kecepatan Aliran (m/s)

n = Angka kekasaran manning

S = kemiringan melintang normal perkerasan jalan

Berikut tabel tipikal harga koefisien kekasaran Manning, n, yang paling sering di gunakan.

Tabel 2. 11 Harga Koefesien kekasaran Manning.

| No | Tipe saluran dan jenis bahan | Harga n | | |
|----|--|---------|--------|----------|
| | | Minimum | Normal | Maksimum |
| 1 | Beton | | | |
| | Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran | 0,010 | 0,011 | 0,013 |
| | Gorong-gorong dengan lengkungan | 0,011 | 0,013 | 0,014 |
| | Beton dipoles | 0,011 | 0,015 | 0,017 |
| | Saluran pembuang dengan bak kontrol | 0,013 | 0,015 | 0,017 |
| 2 | Tanah, Lurus, dan Seragam | | | |
| | Bersih baru | 0,016 | 0,018 | 0,020 |
| | Bersih telah melapuk | 0,018 | 0,022 | 0,025 |
| | Berkerikil | 0,022 | 0,025 | 0,030 |
| | Berumput pedek, sedikit tanaman pengganggu | 0,022 | 0,027 | 0,033 |
| 3 | Saluran Alam | | | |
| | Bersih lurus | 0,025 | 0,030 | 0,033 |
| | Bersih, berkelok-kelok | 0,033 | 0,040 | 0,045 |
| | Banyak tanaman pengganggu | 0,050 | 0,070 | 0,08 |
| | Dataran banjir berumput pendek-tinggi | 0,025 | 0,030 | 0,035 |
| | Saluran di belukar | 0,035 | 0,050 | 0,07 |

2. Rencana Dimensi Penampang Saluran

Dalam perencanaan saluran harus di usahakan dapat membentuk dimensi yang ekonomis. Dimensi saluran yang terlalu kecil akan menimbulkan permasalahan karena daya tampung yang tidak memadai. Bentuk saluran yang paling ekonomis adalah saluran yang dapat melewati debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran dan kemiringan dasar tertentu. Berdasarkan persamaan kontinuitas, tampak jelas bahwa untuk luas penampang melintang tetap, debit maksimum dicapai jika kecepatan aliran maksimum (Suripin, 2004). Perhitungan dimensi saluran drainase jalan raya harus memperhatikan 2 komponen berikut :

- Komponen Teknis dan estetika, saluran direncanakan dengan

lapisan atau pasangan tahan erosi seperti beton.

- Komponen yang di pakai merupakan saluran penampang hidrolis terbaik, yaitu peampang dengan luas minimum mampu membawa debit aliran maksimum.

Penampang basah saluran samping dihitung menggunakan rumus :

$$A = \frac{Q}{V} \dots \dots \dots (2.32)$$

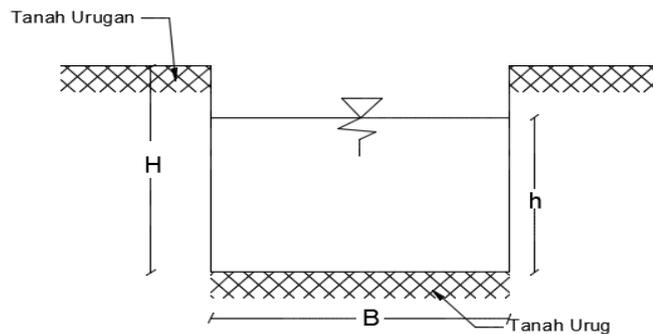
Dengan :

A = Luas Penampang

Q = Debit Aliran

V = kecepatan Aliran

a. Bentuk Persegi



Gambar 2. 9 Penampang Saluran Persegi

Pada penampang melintang saluran berbentuk persegi dengan lebar dasar (B) dan kedalaman air (h) , luas penampang basah, A , dan keliling basah, P , dapat dituliskan sebagai berikut :

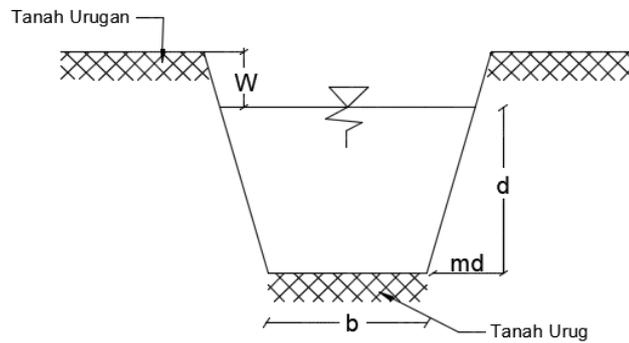
$$A = B \cdot h \dots \dots \dots (2.33)$$

$$P = B + (2h) \dots \dots \dots (2.34)$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{Bh}{B+2h} \dots \dots \dots (2.35)$$

Dalam perencanaan saluran di lapangan dipakai saluran persegi dimana hubungan antara debit rencana dengan dimensi tampang ditentukan berdasarkan rumus Manning.

b. Bentuk Trapesium



Gambar 2. 10 Penampang Saluran Trapezium

Luas penampang melintang, A , dan keliling basah, P , saluran dengan penampang melintang yang berbentuk trapezium dengan lebar dasar B , kedalaman aliran H , dan kemiringan dinding 1:m (gambar 2.10), dapat di rumuskan sebagai berikut :

$$A = (b + md) d \dots\dots\dots (2.36)$$

$$P = \frac{b+2d}{2} = \sqrt{m^2 + 1} \dots\dots\dots (2.37)$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{Bh}{B+2h} \dots\dots\dots (2.38)$$

Dengan :

- b = Lebar Saluran (m)
- d = Dalamnya saluran yang tergenang air (m)
- m = Perbandingan kemiringan talud
- R = Jari-jari hidrolis (m)
- P = Keliling basah saluran (m)
- Fe = Luas Penampang ekonomis (m)
- n = Koefisien kekesaran Manning
- m = Kemiringan sisi saluran
- w = Tinggi Jagaan saluran samping, trapesium.

1.8 Gorong-gorong

Gorong-gorong adalah saluran tertutup (pendek) yang mengalirkan air melewati jalan raya, jalan kereta api, atau timbunan lainnya. Gorong-gorong biasanya dibuat dari beton, aluminium gelombang, baja gelombang dan

kadang-kadang pastik gelombang. Bentuk penampang melintang gorong-gorong bermacam-macam, ada yang bulat, persegi, oval, tapal kuda, dan segitiga. Kedalaman gorong-gorong yang aman terhadap permukaan jalan minimum 60 cm. Kehilangan energi pada gorong-gorong terdiri dari:

1. Kehilangan energi pada pemasukan (entrance)

$$\Delta h_m = \epsilon_m \times \frac{(V_1 - V_0)}{2 \times g} \dots \dots \dots (2.39)$$

2. Kehilangan energi sepanjang gorong-gorong

$$\Delta h_f = \frac{V_1^2 \times L}{C^2 \times R} \dots \dots \dots (2.40)$$

3. Kehilangan energi pada pengeluaran (exit)

$$\Delta h_m = \epsilon k \frac{(V_2 - V_1)}{2 \times g} \dots \dots \dots (2.41)$$

4. Total Kehilangan energi pada gorong-gorong

$$Z = \Delta H_m + \Delta H_f + \Delta H_k \dots \dots \dots (2.42)$$

Dengan :

- V = kecepatan aliran dalam gorong-gorong
- λ = koefisien gesekan pada dinding gorong-gorong
- L = panjang gorong-gorong