

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Drainase

Sistem drainase dapat diartikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi atau membuang kelebihan air suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal (Suripin, 2004). Bangunan dari sistem drainase pada umumnya terdiri dari saluran penerima (*inceptor drain*), saluran pengumpul (*collector drain*), saluran pembawa (*conveyor drain*), saluran induk (*main drain*), dan badan air penerima (*receiving waters*) (Suripin, 2004).

1. Drainase Sistem Folder

Merupakan sistem penanganan drainase dengan cara mengisolasi daerah yang dilayani (*catchment area*) terhadap masuknya air dari luar sistem baik berupa limpasan (*over flow*) maupun aliran dibawah permukaan tanah (gorong-gorong dan rembesan), serta mengendalikan ketinggian muka air banjir didalam sistem sesuai dengan rencana.

Komponen drainase sistem folder terdiri dari pintu air, tanggul, stasiun pompa, kolam retensi, jaringan saluran drainase dan saluran kolektor (Suripin, 2004).

2. Drainase Sistem Gravitasi

Drainase sistem gravitasi adalah sistem drainase dengan cara menampung dan membuang limpasan air hujan ke badan air (*receiving waters*) terdekat lewat sistem pembawa terdiri dari saluran tersier, sekunder, dan primer. Drainase ini berfungsi untuk menyalurkan genangan yang terjadi pada daerah tangkapan yang lebih tinggi ke daerah yang lebih rendah (Suripin, 2004).

2.1.1. Definisi Drainase

Menurut Suripin (2004), drainase berasal dari bahasa Inggris “*drainage*” yang mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalirkan air. Secara umum, drainase dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk

mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan atau lahan, sehingga fungsi kawasan atau lahan tidak terganggu (Suripin, 2004). Drainase juga diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas (Suripin, 2004). Drainase yaitu suatu cara pembuangan kelebihan air yang tidak diinginkan pada suatu daerah, serta cara-cara penanggulangan akibat yang ditimbulkan oleh kelebihan air tersebut (Suhardjono, 1948:1).

2.1.2. Jenis-Jenis Drainase

Adapun jenis-jenis drainase menurut Suripin terbagi menjadi:

1. Menurut Sejarah Terbentuknya
 - a. Drainase Alamiah (*Natural Drainage*)

Drainase yang terbentuk secara alami dan tidak terdapat bangunan-bangunan penunjang seperti bangunan pelimpah, pasangan batu/beton, gorong-gorong, dan lain-lain. Saluran ini terbentuk oleh gerusan air yang bergerak karena gravitasi yang lambat laun membentuk jalan air yang permanen seperti sungai.
 - b. Drainase Buatan (*Artificial Drainage*)

Dibentuk berdasarkan analisis ilmu drainase, untuk menentukan debit akibat hujan, kecepatan resapan air dalam lapisan tanah dan dimensi saluran.
2. Menurut Letak Bangunan
 - a. Drainase permukaan tanah (*surface drainage*)

Saluran drainase yang berada diatas permukaan tanah yang berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan. Analisa alirannya merupakan analisa *open chanel flow*.
 - b. Drainase bawah permukaan tanah (*subsurface drainage*)

Saluran drainase yang bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media di bawah permukaan tanah (pipa-pipa) dikarenakan pertimbangan tertentu.
3. Menurut Fungsi Drainase

- a. *Single Purpose*
Saluran yang berfungsi mengalirkan satu jenis air buangan, misalnya air hujan saja atau jenis air buangan yang lainnya seperti limbah domestik, air limbah industri, dan lain-lain.
 - b. *Multi Purpose*
Saluran yang berfungsi mengalirkan beberapa jenis air buangan baik secara bercampur maupun bergantian.
4. Menurut Konstruksinya
- Untuk konstruksinya, digunakan 2 jenis konstruksi saluran yaitu:
- a. Saluran Terbuka
Untuk saluran terbuka yaitu bagian atasnya terbuka dan berhubungan dengan udara luar. Saluran ini lebih sesuai untuk drainase hujan yang terletak di bawah yang mempunyai luasan yang cukup ataupun drainase non-hujan yang tidak membahayakan kesehatan/mengganggu lingkungan.
 - b. Saluran Tertutup
Yaitu saluran yang pada umumnya sering dipakai untuk aliran air kotor (air yang mengganggu kesehatan/lingkungan) atau untuk saluran yang terletak di tenah kota. Saluran tertutup juga lebih cocok digunakan pada lokasi-lokasi pemukiman yang padat penduduknya.

2.1.3. Tujuan Drainase

Menurut Suripin, drainase memiliki beberapa tujuan antara lain adalah sebagai berikut:

1. Untuk meningkatkan kesehatan lingkungan permukiman, dengan terpeliharanya saluran drainase maka lingkungan terjaga kebersihan serta kesehatannya dan terjaganya kualitas air;
2. Pengendalian kelebihan air permukaan dapat dilakukan secara aman, lancar, dan efisien serta sejauh mungkin dapat mendukung kelestarian lingkungan;
3. Dapat mengurangi/menghilangkan genangan-genangan air yang menyebabkan bersarangnya nyamuk malaria dan penyakit lain, seperti:

demam berdarah, disentri serta penyakit lain yang disebabkan kurang sehatnya lingkungan permukiman;

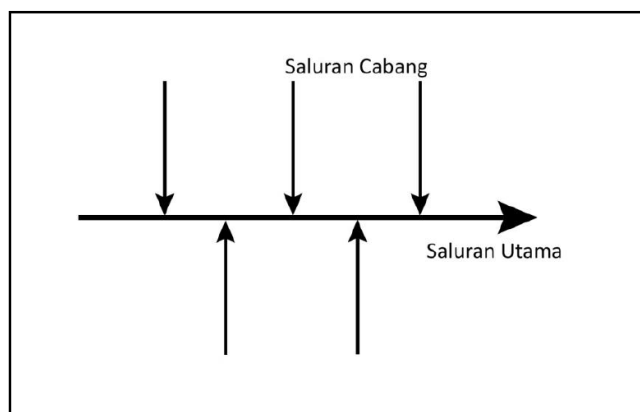
4. Untuk memperpanjang umur ekonomis sarana-sarana fisik antara lain: jalan, kawasan permukiman, kawasan perdagangan, dari kerusakan serta gangguan kegiatan akibat tidak berfungsinya sarana drainase;
5. Menjamin kesehatan dan kesejahteraan masyarakat;
6. Melindungi alam dan lingkungan seperti tanah, kualitas udara, dan kualitas air;
7. Menghindari bahaya, kerusakan materil, kerugian, dan beban-beban lain yang disebabkan oleh limpasan banjir, seperti yang telah diketahui bahwa limpasan air yang menggenang berakibat pada rusaknya sarana dan prasarana infrastruktur serta kerusakan kendaraan-kendaraan yang melewati Kawasan yang tergenang;
8. Memperbaiki kualitas lingkungan;
9. Konservasi sumber daya air.

2.1.4. Pola Jaringan Drainase

Pola jaringan drainase dibagi atas beberapa macam, berikut adalah jenis-jenis pola jaringan drainase berdasarkan Edisono, 1997 :

1. Pola Siku

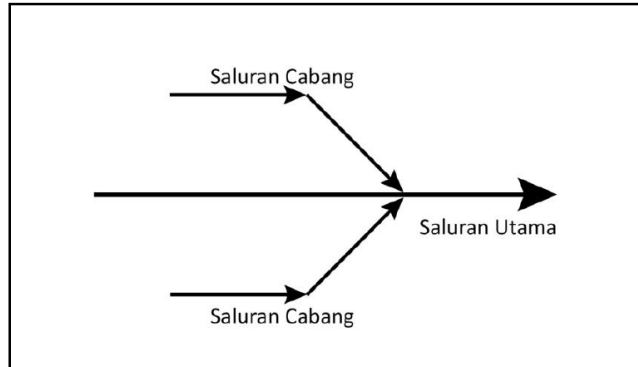
Pola yang jaringan alirannya menyerupai atau membentuk siku-siku. Dibuat pada daerah yang mempunyai topografi sedikit lebih tinggi daripada sungai. Sungai sebagai saluran pembuang akhir berada di tengah kota.



Gambar 2.1. Saluran Drainase Pola Siku

2. Pola Paralel

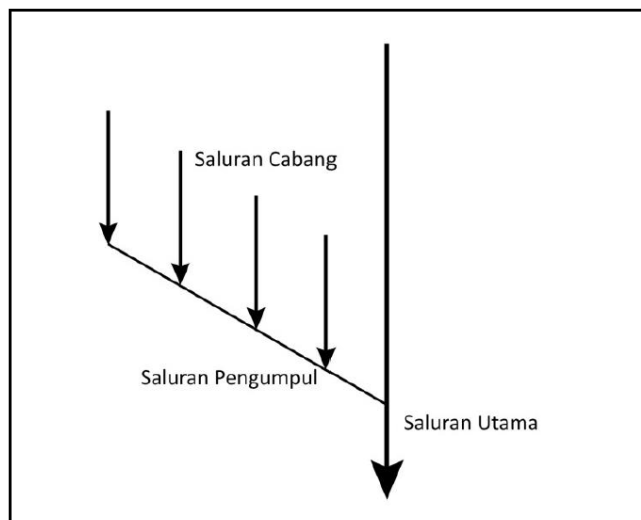
Saluran drainase yang memiliki pola jaringan ini terdiri dari saluran cabang atau saluran sekunder dan saluran utama. Saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang. Dengan saluran cabang (sekunder) yang cukup banyak dan pendek-pendek, apabila terjadi perkembangan kota, saluran-saluran akan dapat menyesuaikan diri.



Gambar 2.2. Saluran Drainase Pola Paralel

3. Pola *Grid Iron*

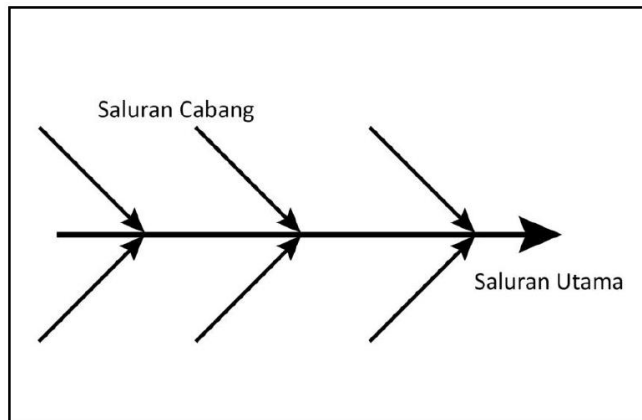
Saluran drainase dengan pola *grid iron* memiliki saluran cabang, saluran pengumpul, dan saluran utama. Pola *grid iron* pada saluran drainase diperuntukan pada daerah dimana sungainya terletak di pinggir kota, sehingga saluran-saluran cabang dikumpulkan dulu pada saluran pengumpul.



Gambar 2.3. Saluran Drainase Pola *Grid Iron*

4. Pola Alamiah

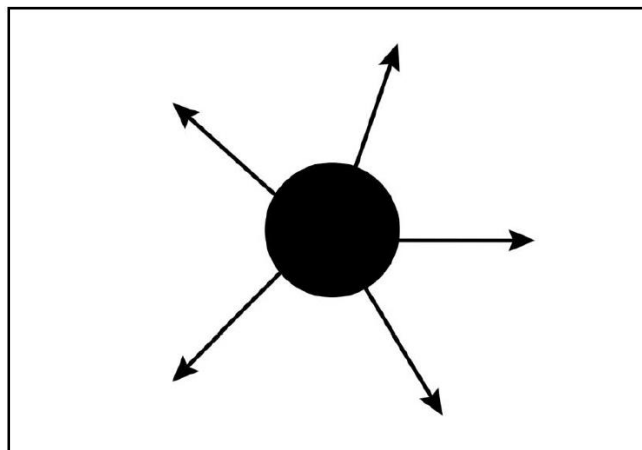
Sama seperti pola siku, hanya beban sungai pada pola alamiah lebih besar.



Gambar 2.4. Saluran Drainase Pola Alamiah

5. Pola Radial

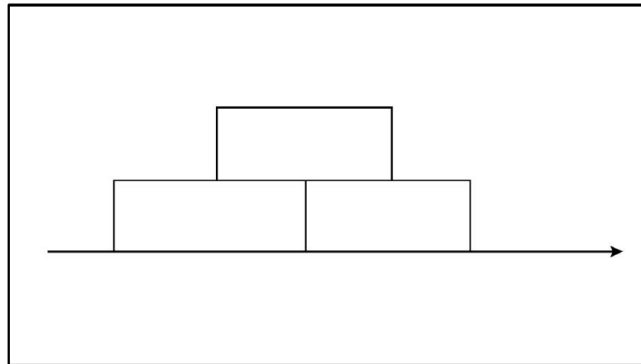
Saluran drainase dengan pola radial tidak terbagi menjadi saluran cabang dan saluran utama, melainkan saluran pada pola ini memancar dari 1 titik dengan elevasi tertinggi. Saluran drainase dengan pola radial terdapat pada daerah berbukit, sehingga pola saluran memancar ke segala arah.



Gambar 2.5. Saluran Drainase Pola Radial

6. Pola Jaring-Jaring

Saluran drainase dengan pola jaring-jaring mempunyai saluran-saluran pembuang yang mengikuti arah jalan raya dan cocok untuk daerah dengan topografi datar. Saluran cabang adalah saluran yang berfungsi sebagai saluran pengumpul debit yang diperoleh dari saluran drainase yang lebih kecil dan akhirnya dibuang ke saluran utama. Saluran utama adalah saluran yang berfungsi sebagai pembawa air buangan dari suatu daerah ke lokasi pembuangan tanpa harus membahayakan daerah yang dilaluinya.



Gambar 2.6. Saluran Drainase Pola Jaring-Jaring

2.1.5. Fungsi Drainase

Sesuai dengan prinsip sebagai jalur pembuangan, maka pada waktu hujan air yang mengalir di permukaan diusahakan secepatnya dibuang agar tidak menimbulkan genangan yang dapat mengganggu aktivitas dan bahkan dapat menimbulkan kerugian (*R. J. Kodoatie, 2005*).

Adapun fungsi drainase menurut *R. J. Kodoatie (2005)* adalah:

1. Membebaskan suatu wilayah (terutama yang padat dari permukiman) dari genangan air, erosi, dan banjir yang disebabkan melimpasnya air dari saluran drainase;
2. Karena aliran lancar maka drainase juga berfungsi memperkecil resiko Kesehatan lingkungan bebas dari malaria (nyamuk) dan penyakit lainnya;
3. Kegunaan tanah permukiman padat akan menjadi lebih baik karena terhindar dari kelembaban;
4. Dengan sistem yang baik tata guna lahan dapat dioptimalkan dan juga memperkecil kerusakan-kerusakan struktur tanah untuk jalan dan bangunan lainnya.

2.2. Analisis Hidrologi

Hidrologi adalah suatu ilmu yang mempelajari seluk beluk air, kejadian dan distribusinya, sifat fisik, dan sifat kimianya, serta tanggapannya terhadap perilaku manusia (*Chow, 1964*). Analisis hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta

mengenai fenomena hidrologi (Suripin, 2004). Secara umum analisa hidrologi merupakan satu bagian awal dalam perencanaan bangunan-bangunan hidraulik. Pengertian yang terkandung didalamnya adalah bahwa informasi dan besaran-besaran yang diperoleh dalam analisa hidrologi merupakan masukan penting dalam analisa selanjutnya. Untuk suatu tujuan tertentu data-data hidrologi dapat dikumpulkan, dihitung, disajikan, dan ditafsirkan dalam beberapa prosedur tertentu. Tujuan pembahasan hidrologi adalah untuk mengetahui besarnya debit banjir rencana yang merupakan pegangan pokok dalam merencanakan/mendesain bangunan air. Dari data-data yang ada akan digunakan untuk merencanakan debit banjir rencana dengan periode ulang tertentu. Penentuan debit banjir rencana harus proporsional, tidak terlalu kecil maupun tidak terlalu besar sehingga dapat memperhitungkan ukuran bangunan dalam menampung besarnya debit rencana yang ada sehingga bangunan tersebut sesuai pertimbangan yang ekonomis. Proses analisis hidrologi pada dasarnya merupakan proses pengolahan data curah hujan, data luas dan bentuk daerah pengaliran (*catchment area*), data kemiringan lahan/beda tinggi, dan data tata guna lahan yang kesemuanya mempunyai arahan untuk mengetahui besarnya curah hujan rata-rata, koefisien pengaliran, waktu konsentrasi, intensitas curah hujan, dan debit banjir rencana.

2.2.1. Pengukuran Hujan

Hujan merupakan komponen masukan yang paling penting dalam proses analisis hidrologi, karena kedalaman curah hujan (*rainfall depth*) yang turun dalam suatu DAS akan dialihgramkan menjadi aliran di sungai, baik melalui limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran antara (*interflow, sub-surface runoff*), maupun sebagai aliran air tanah (*groundwater flow*) (Harto, 1993). Untuk memperoleh besaran hujan yang dapat dianggap sebagai kedalaman hujan, diperlukan sejumlah stasiun hujan dengan pola penyebaran yang telah diatur oleh WMO (*World Metereological Organization*). Alat pengukur hujan terdiri dari dua jenis, yaitu alat ukur hujan biasa (*manual rain gauge*) dan alat ukur hujan otomatis (*automatic rain gauge*) (Harto, 1993). Di Indonesia pengukuran hujan dilakukan oleh beberapa instansi diantaranya adalah Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Dinas Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, Dinas Pertanian, dan

beberapa instansi lain baik pemerintah maupun swasta yang berkepentingan dengan hujan.

2.2.2. Data Curah Hujan

Curah hujan adalah tinggi atau tebalnya hujan dalam jangka waktu tertentu (lamanya pengamatan) yang dinyatakan dalam satuan mm. Pencatatan data hujan adalah bagian yang penting dalam memperkirakan faktor kedalaman hujan pada suatu tempat. Pencatatan data hujan otomatis sangat efektif dan efisien untuk memperkirakan kedalaman hujan atau tinggi curah hujan dalam rentan waktu 1 x 24 jam. Curah hujan diperlukan untuk menentukan besarnya intensitas yang akan digunakan sebagai prediksi timbulnya aliran permukaan. Data curah hujan yang digunakan dalam analisis hidrologi untuk suatu perencanaan drainase perkotaan minimal 10 tahun pengamatan yang diperoleh dari stasiun pencatat curah hujan terdekat di lokasi perencanaan. Apabila data yang ada kurang dari 10 tahun, diupayakan melengkapinya dengan data dari stasiun lainnya yang terdekat.

2.2.3. Mencari Curah Hujan Yang Hilang

Apabila pada data curah hujan yang telah terkumpul terdapat data yang menyimpang terlalu tinggi ataupun terlalu rendah dari sekumpulan data yang ada untuk dianalisis, maka data tersebut tidak baik untuk digunakan sehingga data yang menyimpang tersebut akan dianggap sebagai data yang hilang. Data yang hilang ini dikenal dengan istilah *data outlier*. *Data outlier* seringkali terjadi karena adanya kesalahan pembacaan, kerusakan alat pengukur, ataupun karena faktor alam. Persamaan untuk mencari data curah hujan yang hilang dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$x = \frac{1}{2} \times \left[\left(\frac{\bar{x}}{\bar{y}_1} \times y_1 \right) + \left(\frac{\bar{x}}{\bar{y}_2} \times y_2 \right) + \left(\frac{\bar{x}}{\bar{y}_3} \times y_3 \right) \right] \quad (2.1)$$

Dimana:

x = Curah hujan yang hilang

$\bar{x}$ = Rata-rata curah hujan yang hilang

$\bar{y}_1$ = Rata-rata curah hujan pembanding 1

y_1 = Curah hujan pembandingan 1

$\overline{y_2}$ = Rata-rata curah hujan pembandingan 2

y_2 = Curah hujan pembandingan 2

$\overline{y_3}$ = Rata-rata curah hujan pembandingan 3

y_3 = Curah hujan pembandingan 3

2.2.4. Analisis Curah Hujan Rata-Rata

Menurut Suripin (2004), hujan yang tercatat di stasiun pencatat hujan adalah hujan titik atau hujan yang terjadi ditempat alat pencatat hujan berada, karena intensitas curah hujan sangat bervariasi terhadap suatu tempat atau kawasan dibutuhkan nilai rata-rata hujan kawasan dari beberapa stasiun penakar hujan yang ada dalam wilayah tersebut. Sampai saat ini metode perhitungan hujan rata-rata pada suatu kawasan dapat dilakukan dengan 3 metode yaitu metode rata-rata aljabar, metode Polygon Thiessen, dan metode Isohyet. Dalam perhitungan ini digunakan metode rata-rata aljabar, metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan memiliki pengaruh yang sama atau setara. Cara ini dipilih karena luas *catchment area* yang kurang dari 500 km² dan metode ini sangat cocok untuk kawasan atau daerah yang rata atau datar, alat penakar tersebar hampir merata dan harga individual curah hujan tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya. Persamaan umum yang digunakan adalah:

$$R_{rata-rata} = \frac{(R_1 + R_2 + \dots + R_n)}{n} \quad (2.2)$$

Dimana:

$R_{rata-rata}$ = Hujan rata-rata DAS/*catchment area* (mm)

R_1, R_2, R_n = Hujan yang tercatat di stasiun 1,2,n (mm)

n = Jumlah stasiun hujan

2.2.5. Curah Hujan Harian Maksimum

Curah hujan diperlukan untuk menentukan besarnya intensitas yang digunakan sebagai prediksi timbulnya aliran permukaan wilayah. Curah hujan yang digunakan dalam analisis adalah curah hujan harian maksimum rata-rata dalam satu tahun yang

telah dihitung. Curah hujan maksimum didapatkan dengan mengambil data paling maksimum pada tahun tertentu. Untuk mendapatkan curah hujan digunakan cara analisis frekuensi.

2.2.6. Parameter Statistik

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi. Parameter yang digunakan dalam analisis susunan data dari suatu variabel disebut parameter statistik (Suripin, 2004). Berikut adalah perhitungan-perhitungan parameter statistik berdasarkan Suripin (2004):

1. Pengukuran *Central Tendency (Mean)*

Pengukuran *central tendency* adalah pengukuran yang mencari nilai rata-rata kumpulan variabel (*mean*). Nilai rata-rata merupakan nilai yang cukup representatif dalam suatu distribusi. Nilai rata-rata tersebut dianggap sebagai nilai sentral dan dapat dipergunakan untuk pengukuran sebuah distribusi. Persamaan untuk mencari *mean* atau harga rata-rata, diperlihatkan pada persamaan sebagai berikut:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.3)$$

Untuk analisis dengan nilai logaritma (analisis data *outlier*, perhitungan Log-Person III dan Log Normal) maka persamaan harus diubah lebih dahulu dalam bentuk logaritma.

$$\text{Log} \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log X_i \quad (2.4)$$

2. Standar Deviasi

Umumnya ukuran dispersi yang paling banyak digunakan adalah standar deviasi. Apabila penyebaran data sangat besar terhadap nilai rata-rata maka nilai deviasi standar (S) akan besar pula, akan tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka (S) akan kecil. Persamaan untuk mencari nilai standar deviasi dapat digunakan persamaan di bawah ini:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2.5)$$

Perhitungan dengan menggunakan persamaan logaritma maka persamaan diubah ke dalam bentuk logaritmik menjadi:

$$S_{log} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2} \quad (2.6)$$

3. Koefisien Variasi (Cv)

Koefisien variasi adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitungan dari suatu distribusi.

$$C_v = \frac{s}{x} \quad (2.7)$$

4. Pengukuran Kemencengan

Kemencengan (*skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidak simetrisan dari suatu bentuk distribusi, juga dapat dijadikan pedoman untuk membedakan suatu bentuk kurva terhadap kurva lainnya dalam hal kemencengan. Apabila suatu kurva frekuensi dari suatu distribusi mempunyai ekor memanjang ke kanan atau ke kiri terhadap titik pusat maksimum maka kurva tersebut tidak akan berbentuk simetri, keadaan itu disebut menceng ke kanan atau ke kiri. Pengukuran kemencengan adalah mengukur seberapa besar suatu kurva frekuensi dari suatu distribusi tidak simetri. Kurva distribusi yang bentuknya simetri maka nilai CS = 0.00, kurva distribusi yang bentuknya menceng ke kanan maka CS lebih besar nol, sedangkan yang bentuknya menceng ke kiri maka CS kurang dari nol.

$$CS = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)(S)^3} \quad (2.8)$$

Perhitungan dengan menggunakan persamaan logaritma maka persamaan diubah ke dalam bentuk logaritmik menjadi:

$$CS_{log} = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)(S_{log})^3} \quad (2.9)$$

5. Pengukuran Keruncingan (Kurtosis)

Pengukuran koefisien kurtosis atau yang dapat disebut koefisien keruncingan dimaksudkan untuk menentukan keruncingan pada kurva distribusi, yang umumnya pada kurva distribusi tersebut dibandingkan dengan distribusi normal.

$$Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(S)^4} \quad (2.10)$$

$$Ck_{log} = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(S_{log})^4} \quad (2.11)$$

2.2.7. Pemilihan Distribusi

Setiap tipe distribusi memiliki sifat yang khas sehingga setiap data hidrologi harus diuji kesesuaiannya dengan sifat masing-masing tipe distribusi tersebut. Tipe distribusi yang sesuai dapat diketahui berdasarkan parameter-parameter statistik data pengamatan. Hal ini dilakukan dengan melakukan tinjauan terhadap syarat batas parameter statistik tiap distribusi dengan parameter data pengamatan (Suripin, 2004).

1. Kriteria pemilihan awal kesesuaian tipe distribusi berdasarkan parameter statistik

Secara teoritis langkah awal penentuan tipe distribusi dapat dilihat dari parameter-parameter statistik data pengamatan lapangan. Parameter-parameter yang dilakukan adalah C_s , C_v , dan C_k . Kriteria pemilihan untuk tipe-tipe distribusi berdasarkan parameter statistik adalah sebagai berikut:

- a. Tipe distribusi normal
 $C_s = 0$; atau kecil sekali
 $C_k = 3$
- b. Tipe distribusi log normal
 $C_s > 0$
 $C_k > 3$
- c. Tipe distribusi Gumbel
 $C_s \leq 1,14$
 $C_k \leq 5,40$

Bila kriteria tiga sebaran diatas tidak memenuhi, maka akan dicoba cara grafis dengan menggunakan sebaran data:

- d. Tipe distribusi Pearson III
 - e. Tipe distribusi log Pearson III
2. Penggambaran fungsi distribusi data dengan fungsi distribusi teoritik pada kertas probabilitas

Penentuan tipe distribusi secara grafis dilakukan dengan melihat kesesuaian distribusi data pengamatan terhadap kurva persamaan distribusi teoritis dengan menggunakan kertas peluang yang sesuai dengan tipe distribusi yang digunakan. Kesesuaian tipe distribusi terhadap data pengamatan ditentukan

berdasarkan hasil uji kecocokan. Langkah-langkah pelaksanaan selengkapnya yaitu:

a. Fungsi sebaran data

Penggambaran posisi (*plotting position*) data pengamatan dengan prosedur sebagai berikut:

- 1) Mengurutkan data dari besar ke kecil atau sebaliknya
- 2) Menghitung nilai peluang atau periode ulang setiap varian dengan menggunakan persamaan Weibull

$$P(X) = \frac{m}{n+1} \quad (2.12)$$

$$T(X) = \frac{n+1}{m} \quad (2.13)$$

Dengan:

$P(X)$ = Peluang terjadinya kumpulan nilai yang diharapkan selama periode pengamatan

$T(X)$ = Periode ulang dari kejadian sesuai dengan sifat kumpulan nilai

yang diharapkan

m = Nomor urut kejadian

n = Jumlah data hujan.

b. Fungsi sebaran teoritik

Penggambaran kurva persamaan distribusi teoritik dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) Hitung nilai analitis berdasarkan persamaan matematis tipe distribusi dengan peluang tertentu sebagai titik referensi dalam penggambaran kurva persamaan distribusi. Untuk bentuk kurva garis lurus, diperlukan minimal 2 titik referensi. Untuk bentuk kurva lengkung, semakin banyak titik referensi, semakin akurat kurva yang terbentuk.
- 2) Gambar kurva persamaan distribusi melalui titik-titik referensi. Bentuk kurva persamaan distribusi tergantung dari kertas probabilitas yang digunakan.

Secara spesifik untuk penentuan kurva distribusi ini dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Spesifikasi penentuan kurva persamaan distribusi

No.	Tipe Sebaran	Persamaan Matematis	Kertas Peluang	Bentuk Kurva	Keterangan
1.	Normal	$X_{TR} = \bar{x} + K_{TR} \times S$	Normal	Garis Lurus	K_{TR} = nilai variabel reduksi Gauss berdasarkan P(X)
2.	Log Normal	$\text{Log}X_{TR} = \bar{x} + K_{TR} \times S_{\log}$	Logaritmik	Garis Lurus	
3.	Gumbel	$X_{TR} = \bar{x} + K_{TR} \times S$	Gumbel	Garis Lurus	K_{TR} = nilai K distribusi Pearson III, hubungan antara Cs dan P(X)
4.	Log Pearson III	$\text{Log}X_{TR} = \bar{x} + K_{TR} \times S_{\log}$	Logaritmik	Garis Lengkung	

Sumber: Suripin (2004)

Didalam memilih satu sebaran atau fungsi tertentu dibutuhkan suatu ketelitian karena untuk satu rangkaian data tidak selalu cocok dengan sifat-sifat sebaran, termasuk sebaran frekuensi atau probabilitas tersebut walaupun nilai parameter statistiknya hampir sama. Kesalahan dalam memilih sebaran dapat mengakibatkan kerugian jika perkiraan mulai desain terlalu besar (*over estimate*) atau terlalu kecil (*under estimate*).

2.2.8. Analisis Frekuensi dan Probabilitas Hujan

Menurut Harto (1993), periode ulang adalah waktu perkiraan dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui. Besarnya debit hujan untuk fasilitas drainase tergantung pada interval kejadian atau periode ulang yang dipakai. Dengan memilih debit dengan periode ulang yang panjang dan berarti debit hujan lebih besar, kemungkinan terjadinya resiko kerusakan menjadi menurun, namun biaya konstruksi untuk menampung debit yang besar meningkat. Sebaliknya, debit dengan periode ulang yang terlalu kecil dapat menurunkan biaya konstruksi tetapi meningkatkan resiko kerusakan akibat banjir.

Sedangkan frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Analisis frekuensi digunakan untuk menetapkan besaran

hujan atau debit dengan kala ulang tertentu. Tujuan analisis frekuensi data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Data hidrologi yang dianalisis diasumsikan tidak bergantung dan terdistribusi secara acak dan bersifat stokastik. Analisis frekuensi dapat dilakukan untuk seri data yang diperoleh dari rekaman data baik data hujan atau debit, dan didasarkan pada sifat statistik data yang tersedia untuk memperoleh probabilitas besaran hujan atau debit di masa yang akan datang (Harto, 1993). Dalam analisis frekuensi, hasil yang diperoleh tergantung pada kualitas dan panjang data. Makin pendek data yang tersedia, makin besar penyimpangan yang terjadi.

Amin (2010) mengatakan bahwa tahapan analisis frekuensi hujan dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a. Menyiapkan data hujan yang sudah dipilih berdasarkan metode pemilihan data terbaik menurut ketersediaan data;
- b. Data diurutkan dari kecil ke besar (atau sebaliknya);
- c. Hitung besaran statistik data yang bersangkutan;
- d. Pemilihan jenis sebaran (distribusi)

Dalam ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi dan empat jenis distribusi yang paling banyak digunakan dalam bidang hidrologi adalah distribusi normal, distribusi log-normal, distribusi log-Person III, dan distribusi Gumbel. Berikut adalah persamaan-persamaan dalam distribusi frekuensi berdasarkan Suripin (2004):

1. Distribusi Normal

Dalam analisis hidrologi distribusi normal banyak digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, dan debit rata-rata tahunan. Distribusi normal atau kurva normal disebut pula distribusi *Gauss*.

$$X_{TR} = \bar{X} + K_T S \quad (2.14)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2.15)$$

Dimana:

X_{TR} = Curah hujan rencana (mm/hari)

$\bar{X}$ = Curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

S = Standar deviasi

K_T = Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang.

Nilai K_T dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2. Nilai Variabel Reduksi Gauss

No.	Periode Ulang	Peluang	Kt	No.	Periode Ulang	Peluang	Kt
1	1,001	0,999	-3,05	12	3,330	0,300	0,52
2	1,005	0,995	-2,58	13	4,000	0,250	0,67
3	1,010	0,990	-2,33	14	5,000	2,00	0,84
4	1,050	0,950	-1,64	15	10,000	0,100	1,28
5	1,110	0,900	-1,28	16	20,000	0,050	1,64
6	1,250	0,800	-0,84	17	50,000	0,020	2,05
7	1,330	0,750	-0,67	18	100,000	0,010	2,33
8	1,430	0,700	-0,52	19	200,000	0,005	2,58
9	1,670	0,600	-0,25	20	500,000	0,002	2,88
10	2,000	0,500	0	21	1000,000	0,001	3,09
11	2,500	0,400	0,25				

Sumber: Bonnier, 1980 dalam Suripin, 2004

2. Distribusi Log Normal

Distribusi log normal merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X. Rumus yang digunakan dalam perhitungan metode ini adalah sebagai berikut (CD. Soemarto, 1999):

$$\text{Log}X_{TR} = \overline{\log X} + K_T S \quad (2.16)$$

Dimana:

X_{TR} = Besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun (mm/hari)

S = Standar deviasi

$\overline{\log X}$ = Curah hujan rata-rata (mm/hari)

K_T = Faktor frekuensi untuk periode ulang (Tabel 2.3)

Tabel 2.3. Nilai Koefisien Untuk Distribusi Log Normal

Periode Ulang (tahun)					
2	5	10	25	50	100
0,00	0,84	1,28	1,71	2,05	2,33

Sumber: Bonnier, 1980 dalam Suripin, 2004

3. Distribusi Log Pearson Tipe III

Distribusi log-Pearson tipe III sangat umum dan banyak digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (debit banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrim. Bentuk distribusi log-Pearson tipe III merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson tipe III dengan menggantikan varian menjadi nilai logaritmik (CD. Soemarto, 1999). Adapun prosedur pengerjaan atau langkah-langkah analisis frekuensi dengan metode log-Pearson III adalah sebagai berikut:

- a. Urutkan data yang akan dimasukkan kedalam distribusi log pearson tipe III dari data yang paling kecil ke data yang paling besar dan ubah data ($X_1, X_2, \dots, X_n$) dalam bentuk logaritma ($\log X_1, \log X_2, \dots, \log X_n$);
- b. Hitung nilai rata-rata pada data yang telah diubah kedalam bentuk logaritma ($\overline{\log X}$);
- c. Hitung standar deviasi pada data yang telah diubah kedalam bentuk logaritma (S);
- d. Hitung koefisien kemencengan pada data yang sama yaitu data yang telah berbentuk data logaritma (C_s);
- e. Hitung logaritma X ;
- f. Hitung anti log X

$$\text{Log}X_{TR} = \overline{\log X} + K_T S \quad (2.17)$$

Dimana:

X_{TR} = Besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang
T tahun (mm/hari)

S = Standar deviasi

$\overline{\log X}$ = Curah hujan rata-rata (mm/hari)

K_T = Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang.

Dimana besarnya nilai K_{TR} yaitu faktor frekuensi tergantung dari koefisien kemencengan G . Tabel 2.4. memperlihatkan harga K_{TR} untuk berbagai nilai kemencengan G . Apabila angka nilai kemencengan G tidak terdapat pada tabel, maka perlu untuk dilakukan interpolasi. Jika nilai G sama dengan nol, distribusi kembali ke distribusi log normal.

Tabel 2.4. Nilai K_{TR} Untuk Distribusi Log-Person III

Koef. G	Interval kejadian (periode ulang)							
	1,0101	1,2500	2	5	10	25	50	100
	Persentase peluang terlampaui							
	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	2,892	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
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	0,714	0,714	0,714
-3,0	-7,051	-0,420	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

Sumber: Suripin, 2004

4. Distribusi Gumbel

Tipe Distribusi Gumbel umumnya digunakan untuk analisis data maksimum.

Bentuk dari persamaan distribusi Gumbel dapat ditulis sebagai berikut:

$$X_{TR} = \bar{X} + KS \quad (2.18)$$

Besarnya faktor frekuensi dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$K = \frac{YT_r - Y_n}{S_n} \quad (2.19)$$

$$YT_r = -\ln \left[-\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right] \quad (2.20)$$

Dengan:

X = Besarnya curah hujan untuk periode tahun berulang T_r tahun (mm)

T_r = Periode tahun berulang (*return period*) (tahun)

$\bar{X}$ = Curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

S = Standar deviasi

K = Faktor frekuensi

Y_{Tr} = *Reduced variate*

Y_n = *Reduced mean*

S_n = *Reduced standard*

Tabel 2.5. Reduced Mean (Y_n)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5403	0,5410	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

Sumber: Suripin, 2004

Tabel 2.6. Reduced Standard Deviation (S_n)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,1915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

Sumber: Suripin, 2004

Tabel 2.7. Reduced Variate (Y_{Tr})

Periode Ulang Tr (Tahun)	Reduced Variate Y_{Tr}	Periode Ulang Tr (tahun)	Reduced Variate Y_{Tr}
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,2510	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	10000	9,2121

Sumber: Suripin, 2004

2.2.9. Uji Kecocokan Distribusi

Untuk menentukan kecocokan distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang dapat mewakili distribusi frekuensi tersebut diperlukan pengujian parameter. Pengujian parameter yang digunakan berdasarkan Suripin (2004) yaitu:

1) Uji Chi Kuadrat

Uji chi-kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter X^2 , yang dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.21)$$

Dimana:

X_h^2 = Parameter chi-kuadrat terhitung

G = Jumlah sub kelompok

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok i

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i

Prosedur uji chi-kuadrat adalah sebagai berikut:

- a. Urutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau sebaliknya);

- b. Kelompokkan data menjadi G sub-grup yang masing-masing beranggotakan minimal 4 data pengamatan;
- c. Jumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub-grup;
- d. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i ;
- e. Pada tiap-tiap sub-grup hitung nilai $(O_i - E_i)^2$ dan $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk menentukan nilai chi-kuadrat hitung;
- f. Tentukan derajat kebebasan $dk = G - R - 1$ (nilai $R = 2$ untuk distribusi normal dan binomial).

Interpretasi hasil uji chi-kuadrat adalah sebagai berikut:

- a) Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi yang digunakan dapat diterima.
- b) Apabila peluang kurang dari 1%, maka persamaan distribusi yang digunakan tidak dapat diterima.
- c) Apabila peluang berada di antara 1% - 5%, maka diperlukan data tambahan.

2) Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering disebut juga uji kecocokan non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

- a. Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.

$$X_1 = P(X_1)$$

$$X_2 = P(X_2)$$

$$X_3 = P(X_3), \text{ dan seterusnya.}$$

- b. Urutkan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).

$$X_1 = P'(X_1)$$

$$X_2 = P'(X_2)$$

$$X_3 = P'(X_3), \text{ dan seterusnya.}$$

- c. Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesarnya antar peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$D = \text{maksimum} (P(X_n) - P'(X_n))$$

- d. Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov-Kolmogorov test*) tentukan harga D_0 dari tabel 2.8. di bawah ini.

Tabel 2.8. Nilai Kritis D_0 untuk uji Smirnov-Kolmogorov

N	Derajat kepercayaan, α			
	0,20	0,10	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	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N > 50	$\frac{1,07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{N}}$

Sumber: Bonnier, 1980

Apabila dari pengujian terhadap distribusi frekuensi sesuai parameter uji keduanya maka perumusan persamaan tersebut dapat diterima. Kesimpulan analisa frekuensi yang diperoleh dari hasil uji kecocokan distribusi digunakan untuk menentukan distribusi yang dipakai.

2.2.10. Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan yang dinyatakan dalam perbandingan antara besarnya curah hujan dengan waktu. Kegunaan dari perhitungan intensitas hujan ini adalah untuk perhitungan hidrograf debit banjir rencana. Intensitas hujan berbeda-beda, tergantung dari lamanya hujan atau frekuensi kejadiannya. Terdapat banyak rumus untuk menghitung intensitas hujan dalam durasi dan kala tertentu. Hubungan antara intensitas hujan dan durasi hujan dapat dihitung dengan beberapa perumusan, antara lain dengan rumus Talbot (1881), Sherman (1905), dan Ishiguro (1953), dimana ketiganya membutuhkan data curah hujan jangka pendek.. Apabila data curah hujan jangka pendek tidak tersedia dapat dihitung dengan rumus Mononobe (Suripin, 2004), maka pada penelitian ini digunakan rumus Mononobe.

1. Rumus Mononobe

Jika curah hujan yang ada merupakan data curah hujan harian, maka untuk menghitung intensitas hujan dapat digunakan metode Mononobe (Joesron Loebis, 1992), yang dinyatakan dengan persamaan:

$$I = \left(\frac{R_{24}}{24} \right) \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad (2.22)$$

Dengan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Waktu konsentrasi/lamanya hujan (jam)

R₂₄ = Curah hujan maksimum harian (mm)

2.2.11. Koefisien Limpasan/Pengaliran

Menurut Suripin (2004), limpasan merupakan gabungan antara aliran permukaan, aliran-aliran yang tertunda pada cekungan-cekungan dan aliran permukaan (*surface flow*). Dalam perencanaan drainase bagian air hujan yang menjadi perhatian adalah aliran permukaan (*surface runoff*), sedangkan untuk pengendalian banjir tidak hanya aliran permukaan tetapi limpasan (*runoff*). Koefisien pengaliran adalah suatu nilai koefisien yang menunjukkan persentase kualitas curah hujan yang menjadi aliran permukaan dari curah hujan total setelah mengalami infiltrasi. Faktor utama yang mempengaruhi koefisien adalah laju infiltrasi tanah, kemiringan lahan, tanaman penutup tanah, dan intensitas hujan. Selain itu juga tergantung pada sifat dan kondisi tanah, air tanah, derajat kepadatan tanah, porositas tanah, dan simpanan depresi. Untuk besarnya nilai koefisien aliran permukaan dapat dilihat pada tabel 2.9.

Tabel 2.9. Harga Koefisien Pengaliran (C)

Komponen lahan	Koefisien C (%)
Perkerasan:	
- aspal dan beton	0,70 – 0,95
- bata atau paving	0,70 – 0,85
Atap	0,70 – 0,95
Lahan berumput:	
- tanah berpasir,	
• landai (2%)	0,05 – 0,10
• curam (7%)	0,10 – 0,15

Komponen lahan	Koefisien C (%)
- tanah berat, • landai (2%) • curam (7%)	0,13 – 0,17 0,18 – 0,22
Daerah perdagangan	
- penting, padat	0,70 – 0,95
- kurang padat	0,50 – 0,70
Area permukiman:	
- perumahan tunggal	0,30 – 0,50
- perumahan kopel berjauhan	0,40 – 0,60
- perumahan kopel berdekatan	0,60 – 0,75
- perumahan pinggir kota	0,25 – 0,40
- apartemen	0,50 – 0,70
Area industri:	
- ringan	0,50 – 0,80
- berat	0,60 – 0,90
Taman dan makam	0,10 – 0,35
Taman bermain	0,20 – 0,35
Halaman jalan kereta api	0,20 – 0,35
Lahan kosong/terlantar	0,10 – 0,30

Sumner: *Design and Constrution of Sanitary and Storm Sewers, American Society of Civil Engineers and the Water Pollution Control Federation, 1969.*

2.2.12. Analisis Debit Banjir Rencana

Salah satu penyebab terjadinya genangan-genangan air hujan pada suatu kawasan adalah volume limpasan air hujan yang tidak tertampung oleh saluran drainase yang telah ada dikarenakan tidak memadai nya dimensi saluran drainase terhadap debit air hujan yang ada, atau intensitas curah hujan yang terjadi melebihi dengan intensitas curah hujan rencana yang digunakan dalam perencanaan saluran drainase yang ada. Debit banjir rencana adalah debit maksimum atau debit terbesar yang mungkin terjadi pada suatu kawasan dengan peluang kejadian tertentu. Dalam menentukan periode ulang dan metode perhitungan debit, ada beberapa metode pada perencanaan drainase untuk mendapatkan debit rencana yang dipengaruhi oleh luas DAS yaitu Metode Weduwen, Metode Haspers, dan Metode Rasional. Menurut Suripin (2004), untuk Metode Rasional sendiri memiliki syarat batas berupa luas daerah tengkapan hujan yaitu ketentuan DAS atau *catchment area* $< 60 \text{ km}^2$, untuk metode Weduwen syarat batas DAS atau *catchment area* $< 100 \text{ km}^2$ dan Haspers memiliki syarat batas DAS atau *catchment area* $< 300 \text{ km}^2$. Dikarenakan *catchment area* pada penelitian ini kurang dari 60 km^2 maka digunakan metode Rasional

(USSCS, 1973). Metode rasional sangat simpel dan mudah dalam penggunaannya, namun metode ini tidak dapat menerangkan hubungan curah hujan dan aliran permukaan dalam bentuk hidrograf.

Pada metode Rasional, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut (Suripin, 2004):

$$Q_r = 0,278 \times C \times I \times A \quad (2.23)$$

Dimana:

Q_r = Debit rencana kala ulang (m^3/detik)

C = Koefisien pengaliran

I = Intensitas hujan kala ulang tertentu (mm/jam)

A = *Catchment area* (km^2)

Tabel 2.10. Kriteria Desain Hidrologi Sistem Drainase Perkotaan

Luas DAS (ha)	Periode Ulang (tahun)	Metode Perhitungan Debit Hujan
<10	2	Rasional
10-100	2-5	Rasional
101-500	5-20	Rasional
>500	10-25	Hidrograf Satuan

Sumber: Suripin, 2004

2.2.13. Waktu Konsentrasi (t_c)

Waktu konsentrasi suatu DAS adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran DAS (titik kontrol) atau setelah tanah menjadi jenuh dan depresi-depresi kecil terpenuhi. Perhitungan waktu konsentrasi ini mempengaruhi besar kecilnya nilai dari intensitas hujan (I) yang terjadi. Besarnya nilai intensitas hujan (I) berbanding lurus dengan besar kecilnya debit (Q) pada saluran, sehingga akan berpengaruh terhadap besar kecilnya dimensi saluran. Salah satu metode untuk memperkirakan waktu konsentrasi adalah rumus yang dikembangkan oleh Kirpich (1940), yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$t_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385} \quad (2.24)$$

Dimana:

- t_c = Waktu konsentrasi (jam)
 L = Panjang saluran sub DAS (m)
 S = Kemiringan lahan (m)

Waktu konsentrasi dapat juga dihitung dengan membedakannya menjadi dua komponen, yaitu waktu yang diperlukan air untuk mengalir dipermukaan lahan sampai saluran terdekat (t_o) dan waktu perjalanan dari pertama masuk saluran sampai titik keluaran (t_d) sehingga (Suripin, 2004):

$$t_c = t_o + t_d \quad (2.25)$$

Fase saat di lahan (t_o) adalah:

$$t_o = \left[\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{s}} \right] \quad (2.26)$$

Fase saat di saluran adalah:

$$t_d = \frac{L_s}{60 \times V} \quad (2.27)$$

Dimana:

- t_o = *Inlet time* ke saluran terdekat (menit)
 t_d = *Conduit time* sampai ke tempat pengukuran (menit)
 n = Angka kekasaran Manning lahan (Tabel 2..)
 S = Kemiringan lahan (m)
 L = Panjang lintasan aliran diatas permukaan lahan (m)
 L_s = Panjang lintasan aliran di dalam saluran/sungai (m)

Tabel 2.11. Nilai Koefisien Manning Untuk Aliran Permukaan

Aliran Permukaan (daerah serap air)	Nilai Manning (n)
Pertumbuhan pepohonan padat	0,40
Lapangan	0,25-0,30
Tanah/sirtu/daerah yang sebagian aspal	0,20
Jalan-jalan (aspal)	0,03
Permukaan beton kasar atau semacamnya	0,04

Sumber: SDMP 2018

2.3. Analisis Hidrolika

Hidrolika adalah ilmu yang mempelajari tentang sifat-sifat zat cair. Analisis hidrolika dimaksudkan untuk mencari dimensi hidrolis dari saluran drainase dan bangunan-bangunan pelengkapannya. Dalam menentukan besaran dimensi saluran

drainase, perlu diperhitungkan kriteria-kriteria perencanaan berdasarkan kaidah-kaidah hidrolika.

2.3.1. Perencanaan Saluran Drainase

Dalam perancangan dimensi saluran harus diusahakan dapat membentuk dimensi yang ekonomis, sebaliknya dimensi yang terlalu kecil akan menimbulkan permasalahan karena daya tampung yang tidak memadai. Berikut prinsip-prinsip umum perencanaan drainase:

1. Daya guna dan hasil guna (efektif dan efisien)
Perencanaan drainase haruslah sedemikian rupa sehingga fungsi fasilitas drainase sebagai penampung, pembagi, dan pembuang air dapat sepenuhnya berdaya guna dan berhasil guna.
2. Ekonomis dan aman
Pemilihan dimensi dari fasilitas drainase haruslah mempertimbangkan faktor ekonomis dan faktor keamanan.
3. Pemeliharaan
Perencanaan drainase haruslah mempertimbangkan pula segi kemudahan dan nilai ekonomis dari pemilihan sistem drainase tersebut.

Bentuk-bentuk saluran untuk drainase tidak jauh berbeda dengan saluran irigasi pada umumnya. Saluran paling ekonomis adalah saluran yang dapat melewati debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran, dan kemiringan dasar tertentu. Penjabaran singkat terhadap bentuk penampang saluran drainase menurut Suripin (2004) adalah sebagai berikut:

- a) Saluran Berpenampang Persegi
Saluran ini terbuat dari pasangan batu dan beton. Bentuk saluran ini tidak memerlukan banyak ruang dan areal. Berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan serta buangan domestik dengan debit yang besar. Untuk saluran yang berpenampang persegi seperti *u-ditch* atau *box culvert*, dimensinya dapat direncanakan dengan rumusan-rumusan:

$$A = bh \quad (2.28)$$

$$P = b + 2h \quad (2.29)$$

$$R = \frac{bh}{b+2h} \quad (2.30)$$

$$T = b \quad (2.31)$$

$$D = h \quad (2.32)$$

Dimana:

b = Lebar saluran (m)

h = Tinggi saluran (m)

A = Luas penampang saluran (m²)

P = Keliling basah saluran (m)

R = Jari-jari hidrolis (m)

T = Lebar puncak (m)

D = Kedalaman hidrolis

b) Saluran Berpenampang Trapezium

Pada umumnya saluran ini terbuat dari tanah akan tetapi tidak menutup kemungkinan dibuat dari pasangan batu dan beton. Saluran ini memerlukan cukup ruang. Berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan serta air buangan domestik dengan debit yang besar. Untuk saluran yang berpenampang trapesium, dimensinya dapat direncanakan dengan rumusan-rumusan:

$$A = (b + zh)h \quad (2.33)$$

$$P = b + 2h\sqrt{1 + z^2} \quad (2.34)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (2.35)$$

$$T = b + 2zh$$

$$(2.36)$$

$$D = \frac{(b+zh)h}{b+2zh} \quad (2.37)$$

Dimana:

b = Lebar saluran (m)

h = Tinggi saluran (m)

z = Kemiringan talud

A = Luas penampang saluran (m²)

P = Keliling basah saluran (m)

R = Jari-jari hidrolis (m)

T = Lebar puncak (m)

D = Kedalaman hidrolis

c) Saluran Berpenampang Segitiga

Saluran ini sangat jarang digunakan tetapi mungkin digunakan dalam kondisi tertentu.

d) Saluran Berpenampang Setengah Lingkaran

Saluran ini terbuat dari pasangan batu atau dari beton dengan cetakan yang telah tersedia. Berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan serta air buangan domestik dengan debit yang besar.

2.3.2. Penampang Saluran Drainase

Berdasarkan Suripin (2004) umumnya tipe aliran melalui saluran terbuka adalah turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar. Aliran melalui saluran terbuka akan turbulen apabila angka *Reynolds* $Re > 2000$ dan laminar apabila $Re < 500$. Rumus *Reynolds* (Suripin, 2004) dapat ditulis sebagai berikut:

$$Re = \left(\frac{VL}{\nu} \right) \quad (2.38)$$

Dengan:

V = Kecepatan aliran (m/dt)

L = Panjang karakteristik (m), pada saluran muka air bebas $L=R$

ν = Kekentalan kinematik (m^2/dt)

Nilai R dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{A}{P} \quad (2.39)$$

Dengan:

R = Jari-jari hidraulik (m)

A = Luas penampang basah (m^2)

P = Keliling penampang basah (m)

Untuk mencari nilai kecepatan aliran dapat menggunakan rumus Manning yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \times R^{\frac{2}{3}} \times S_o^{\frac{1}{2}} \quad (2.40)$$

Dengan:

R = Jari-jari hidraulik (m)

I = Kemiringan dasar saluran

n = Koefisien Manning

Nilai koefisien Manning dapat dicari dengan melihat Tabel 2..

Untuk mencari debit aliran pada saluran dapat menggunakan rumus:

$$Q_{ext} = V \times A \quad (2.41)$$

Dengan:

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

V = kecepatan aliran (m/dt)

A = luas penampang basah saluran (m^2)

2.3.3. Kecepatan Aliran Drainase

Kecepatan dalam saluran biasanya sangat bervariasi dari satu titik ke titik lainnya. Hal ini disebabkan adanya tegangan geser di dasar saluran, dinding saluran dan keberadaan permukaan bebas. Kecepatan aliran memiliki tiga komponen arah menurut koordinat kartesius. Namun komponen arah vertikal dan lateral biasanya kecil dan dapat diabaikan. Sehingga, hanya kecepatan aliran yang searah dengan arah aliran yang diperhitungkan. Komponen kecepatan ini bervariasi terhadap kedalaman dari permukaan air. Kecepatan minimum yang diijinkan adalah kecepatan terkecil yang tidak menimbulkan pengendapan dan tidak merangsang tumbuhan tanaman *aquatic* dan lumut. Pada umumnya, kecepatan sebesar 0,60 – 0,90 m/detik dapat digunakan dengan aman apabila presentase lumpur yang ada di air cukup kecil. Kecepatan 0,75 m/detik bisa mencegah tumbuhnya lumut. Penentuan kecepatan aliran air didalam saluran yang direncanakan didasarkan pada kecepatan minimum yang diperbolehkan agar kontruksi saluran tetap aman (Suripin, 2004). Berikut adalah persamaan Manning pada Suripin (2004):

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (2.42)$$

Dimana:

- V = Kecepatan aliran (m/detik)
 n = Koefisien kekasaran manning
 R = Jari-jari hidrolik
 S = Kemiringan memanjang saluran

2.3.4. Kemiringan Dasar Saluran dan Talud Saluran

Kemiringan dasar saluran direncanakan sedemikian rupa, sehingga dapat memberikan pengaliran secara gravitasi dengan batas kecepatan minimum tidak terjadi pengendapan-pengendapan, dan kecepatan maksimum tidak boleh terjadi kerusakan pada dasar maupun pada dinding salurannya, dengan arti bahwa daya aliran dapat membersihkan endapan sendiri (*self cleansing velocity*).

2.3.5. Penentuan Koefisien Kekasaran Saluran

Koefisien kekasaran saluran ditentukan oleh bahan/material saluran, jenis sambungan, material padat yang terangkut dan yang terendap dalam saluran, akar tumbuhan, aligment lapisan penutup (pipa), umur saluran dan aliran lateral yang mengganggu. Untuk saluran yang terlalu besar kedalamannya umumnya diasumsikan harga koefisien kekasarannya tetap. Harga koefisien kekasaran dimuat pada tabel 2.11. berikut ini.

Tabel 2.12. Nilai Koefisien Manning Untuk Saluran

Jenis Saluran	Koefisien Manning (n)
Aliran permukaan	0,035
Saluran tanah tanpa pasangan	0,035
Saluran pasangan:	
Batu kali/beton, pada sisinya saja, dasar sedimen	0,025
Batu kali/beton, pada sisinya saja, dasar bersih	0,020
Batu kali dengan plesteran/beton, kedua sisi dan dasar	0,014

Sumber: B. Triatmodjo, 1993

2.3.6. Tinggi Jagaan

Yang dimaksud dengan tinggi jagaan adalah jarak antara elevasi muka air (elevasi muka air pada saat perencanaan) sampai puncak tanggul, yang disediakan untuk

perubahan elevasi penuh air akibat angin dan penutupan pintu air di hulu (bukan untuk tambahan debit).

2.3.7. Kapasitas Saluran

Menurut Suripin (2004), aliran yang terjadi di setiap saluran belum tentu sesuai yang direncanakan. Namun pada tahap awal perencanaan dapat diasumsikan bahwa yang terjadi adalah aliran seragam. Untuk mengetahui apakah saluran drainase yang ada dimensinya sudah cukup untuk mengalirkan debit hujan yang ada, maka perlu dilakukan perhitungan terhadap kapasitas saluran drainase eksisting. Oleh karena itu, penentuan dimensi saluran yang akan direncanakan berdasarkan debit maksimum yang akan dialirkan. Untuk menghitung kapasitas saluran tersebut digunakan persamaan kontinuitas dan rumus Manning:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (2.43)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (2.44)$$

Dimana:

- Q = Debit saluran (m³/detik)
- n = Koefisien kekasaran saluran
- R = Jari-jari hidrolis (m)
- A = Luas penampang basah (m²)
- P = Keliling basah (m)
- S = Kemiringan dasar saluran

2.4. Aplikasi Hec-Ras

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, *River Analysis System* (RAS), yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) yang merupakan satu divisi di dalam *Institute for Water Resources* (IWR), di bawah *US Army Corps of Engineers* (USACE). HECRAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model*). HEC-RAS versi terbaru saat ini, versi 4.1, beredar sejak Januari 2010.

HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi:

1. Hitungan profil muka air aliran permanen,
2. Simulasi aliran tak permanen,
3. Hitungan transpor sedimen, dan
4. Hitungan kualitas air.

Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah komponen-komponen tersebut memakai data geometri yang sama, routine hitungan hidraulika yang sama, serta beberapa fitur desain hidraulika yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air berhasil dilakukan. (Istiarto, 2014).

2.5. Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya adalah perkiraan biaya-biaya yang dibutuhkan untuk tiap paket pekerjaan dalam suatu proyek konstruksi. Perhitungan rencana anggaran biaya dilakukan berdasarkan gambar rencana, spesifikasi pekerjaan yang telah ditentukan, upah tenaga kerja, serta harga bahan dan alat. Penjabaran komponen-komponen penyusun rencana anggaran biaya adalah sebagai berikut:

1. Biaya Langsung
 - a) Kebutuhan Tenaga Kerja (Upah)

Kebutuhan tenaga kerja meliputi komponen pekerja yang diperlukan dalam suatu paket pekerjaan. Kebutuhan tenaga kerja dipengaruhi oleh beberapa hal seperti lama waktu kerja, keterampilan/*skill*, kondisi tempat kerja, dan lain-lain.
 - b) Kebutuhan Material (Bahan)

Kebutuhan material meliputi semua komponen pokok dan komponen penunjang yang digunakan dalam membuat material yang diperlukan pada pekerjaan konstruksi.
 - c) Biaya Peralatan

Biaya peralatan meliputi pengeluaran terhadap alat-alat berat.
2. Biaya Tak Langsung
 - a) Biaya Proyek

Merupakan biaya yang berkaitan dengan keberlangsungan suatu proyek seperti surat izin, pajak, asuransi, dan sebagainya.

b) Biaya Umum

Meliputi biaya seperti gaji pekerja tetap, dokumentasi, dan lain-lain.

