

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Salah satu kota wisata unggulan di Bali adalah Kota Denpasar. Pemerintah Kota Denpasar sangat memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi kunjungan wisatawan agar dapat mempertahankan dan menarik kunjungan wisatawan (Satia et al., 2019). Salah satunya adalah menciptakan lingkungan yang bersih dan sehat. Perkembangan pertumbuhan penduduk yang sangat pesat dan meningkatnya kegiatan ekonomi dengan tumbuhnya sektor pariwisata menimbulkan permasalahan terkait dengan penurunan kualitas lingkungan.

Kota Denpasar merupakan kota besar dengan perkembangan ekonomi yang maju, dan juga kemajuan pembangunan yang sangat pesat, sehingga berakibat terhadap berkurangnya daya resap air dengan banyaknya terjadi perubahan alih fungsi lahan dari lahan pertanian ke non pertanian. Alih fungsi lahan sangat signifikan dari data Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kota Denpasar tahun 2017 sampai dengan 2022 khususnya Kecamatan Denpasar Utara.

Penggunaan lahan terus mengalami perubahan dari lahan pertanian ke lahan permukiman atau lahan perdagangan mencapai 34%, dan rasio perbandingan luas lahan terbuka hijau jadi sangat kecil berkisar 33% serta lahan tertutup mencapai 67%, sehingga menyebabkan aliran permukaan tanah menjadi semakin tinggi dengan berkurangnya daerah resapan air dari tahun ke tahun (Badan Pusat Statistik, 2021). Seiring dengan penurunan daya resap air dan perubahan penggunaan lahan, terjadi pula perubahan pola aliran yang memperlambat aliran di saluran drainase.

Berdasarkan berita dari media *online Poros Bali* pada bulan April 2023, salah satu kawasan di Denpasar yang rawan banjir atau banjir saat hujan adalah Jalan Cekomaria Denpasar menuju Jalan Padma Denpasar. Banjir yang terjadi di kawasan Jalan Cekomaria Denpasar menuju Jalan Padma Denpasar menyebabkan terganggunya aktivitas ekonomi masyarakat yang mana banjir terjadi selama 30 menit dengan tinggi genangan air yang terbentuk mencapai pergelangan kaki orang dewasa yaitu berkisar 10 cm.

Terkait dengan permasalahan tersebut, maka penulis melakukan pengamatan langsung pada saluran drainase di Jalan Cekomaria Denpasar menuju Jalan Padma Denpasar. Pengamatan langsung dilakukan saat berhentinya hujan dan hasilnya adalah air pada beberapa titik saluran drainase melebihi kapasitas dan melimpas ke jalan raya sehingga menyebabkan terjadinya banjir. Selain itu, di beberapa titik saluran drainase lainnya terdapat genangan air akibat terbuangnya air kotor rumah tangga.

Oleh karena itu, penulis mengambil penelitian dalam kapasitas debit air pada saluran drainase dan profil muka air drainase di Jalan Cekomaria Denpasar menuju Jalan Padma Denpasar.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Masalah yang dapat dirumuskan dari latar belakang adalah sebagai berikut:

1. Berapa curah hujan rancangan pada saluran drainase di Jalan Cekomaria Denpasar menuju Jalan Padma Denpasar?
2. Berapa debit banjir rancangan pada saluran drainase di Jalan Cekomaria Denpasar menuju Jalan Padma Denpasar?

3. Bagaimana hasil evaluasi kapasitas debit air pada saluran drainase dengan pemodelan HEC-RAS?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung curah hujan rancangan pada saluran drainase di Jalan Cekomaria Denpasar menuju Jalan Padma Denpasar.
2. Menghitung debit banjir rancangan pada saluran drainase di Jalan Cekomaria Denpasar menuju Jalan Padma Denpasar.
3. Menganalisis kapasitas debit air pada saluran drainase dengan pemodelan HEC-RAS.

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan mahasiswa dalam menghitung curah hujan dan debit banjir rancangan serta kapasitas debit pada saluran drainase.
2. Sebagai informasi dan bahan kajian bagi instansi terkait seperti Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kota Denpasar.
3. Sebagai informasi kepada masyarakat untuk menyadari pentingnya merawat saluran drainase yang ada di lingkungan tempat tinggalnya.

### **1.5. Batasan dan Ruang Lingkup Penelitian**

Adapun batasan dan ruang lingkup penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menghitung Curah Hujan dengan data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian maksimum selama kurun waktu tahun 2003 – 2022.
2. Pengujian konsistensi data hujan hanya menggunakan metode *Double Mass Analysis* dan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*).

3. Uji pemilihan distribusi koefisien skewness ( $c_s$ ), koefisien kurtosis ( $c_k$ ), koefisien variasi ( $c_v$ ) sebelum menentukan curah hujan rancangan.
4. Curah hujan rancangan dalam studi ini dianalisis menggunakan metode distribusi Normal, Log Normal, E.J. *Gumbel*, *Log Pearson Type III*.
5. Uji kesesuaian distribusi frekuensi dengan metode *Smirnov Kolmogorof* dan *Chi-Square*.
6. Intensitas hujan.
7. Debit banjir rencana disesuaikan dengan metode rasional.
8. Kapasitas debit saluran eksisting dihitung dengan program *Microsoft Excel* dan profil muka air saluran drainase dianalisis dengan program HEC-RAS.
9. Penelitian tidak menghitung besarnya sedimentasi yang ada dalam saluran.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Pengertian Drainase**

Menurut (Suripin, 2004), drainase merupakan serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal.

Perencanaan sistem drainase perkotaan perlu memperhatikan beberapa aspek sesuai dengan (SNI 02-2406-1991), yaitu:

1. Sistem drainase terdiri atas saluran primer, sekunder, dan primer.
2. Berdasarkan sistem penyalurannya, drainase perkotaan direncanakan terpisah dengan saluran pembuangan air limbah; dan
3. Saluran drainase dapat direncanakan terbuka dan tertutup dengan mempertimbangkan faktor ketersediaan tanah, pembiayaan, operasi dan pemeliharaan.

#### **2.2. Drainase Perkotaan**

Menurut (Hasmar, 2002), drainase perkotaan yaitu ilmu drainase yang mengkhususkan pengkajian pada kawasan perkotaan yang erat kaitannya dengan kondisi lingkungan sosial-budaya yang ada di kawasan kota.

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 12/PRT/M/2014 yang mengatur tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan dalam pasal 5 sebagai berikut:

1. Sistem Drainase Perkotaan terdiri atas:
  - a. sistem teknis.
  - b. sistem non teknis.

- c. Sistem teknis drainase perkotaan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a merupakan jaringan drainase perkotaan yang terdiri dari saluran induk/primer, saluran sekunder, saluran tersier, saluran lokal, bangunan peresapan, bangunan tampungan beserta sarana pelengkapanya yang berhubungan secara sistemik satu dengan lainnya.
- d. Sistem non teknis drainase perkotaan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b merupakan dukungan terhadap sistem teknis drainase perkotaan terkait dengan pembiayaan, peran masyarakat, peraturan perundang-undangan, institusi, sosial ekonomi dan budaya, dan kesehatan lingkungan permukiman.
- e. Saluran induk/primer dan/atau saluran sekunder sebagaimana dimaksud pada ayat (2), dapat berupa sungai, dan/atau anak sungai yang berfungsi sebagai drainase perkotaan, dan/atau kanal buatan yang seluruh daerah tangkapan airnya terletak dalam satu wilayah perkotaan.

### 2.3. Sistem Drainase

Secara umum sistem drainase dapat didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan/lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal. Bangunan sistem drainase secara berurutan mulai dari hulu terdiri dari saluran penerima (*interceptor drain*), saluran pengumpul (*collector drain*), saluran pembawa (*conveyor drain*), saluran induk (*main drain*), dan badan air penerima (*receivingwaters*). Di sepanjang sistem sering dijumpai bangunan lainnya, seperti goronggorong, jembatan-jembatan, talang dan saluran miring/got miring (Suripin, 2004). Sesuai dengan cara kerjanya, jenis saluran drainase buatan dapat dibedakan menjadi:

1. Saluran *Interceptor* (Saluran Penerima) Berfungsi sebagai pencegah terjadinya pembebanan aliran dari suatu daerah terhadap daerah lain di bawahnya. Saluran ini biasanya dibangun dan diletakkan pada bagian yang relatif sejajar dengan garis kontur. *Outlet* dari saluran ini biasanya terdapat di saluran *collector* atau *conveyor* atau langsung di natural drainase / sungai alam.
2. Saluran *Collector* (Saluran Pengumpul) Berfungsi sebagai pengumpul debit yang diperoleh dari saluran drainase yang lebih kecil dan akhirnya akan dibuang ke saluran conveyor (pembawa).
3. Saluran *Conveyor* (Saluran Pembawa) Berfungsi sebagai pembawa air buangan dari suatu daerah ke lokasi pembuangan tanpa harus membahayakan daerah yang dilalui.

#### **2.4. Hidrologi**

Hidrologi adalah ilmu yang berkaitan dengan air di bumi, baik mengenai terjadinya, peredaran dan penyebarannya, sifat-sifatnya dan hubungan dengan lingkungannya terutama dengan makhluk hidup (Triadmodjo, 2008).

Pada perkembangannya, hidrologi banyak dipelajari khususnya dibidang teknik sipil, salah satunya digunakan dalam memperkirakan jumlah air yang tersedia di suatu sumber air, baik itu mata air, sungai, maupun danau guna dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan seperti air baku (air untuk keperluan rumah tangga, perdagangan), irigasi, pembangkit listrik. tenaga air, perikanan, peternakan dan lain sebagainya (Triadmodjo, 2008).

#### **2.5. Analisis Hidrologi**

Analisis hidrologi memiliki peranan yang penting dalam melakukan perencanaan bangunan air dalam bidang pengairan, baik untuk perencanaan irigasi

maupun dalam perencanaan saluran drainase. Salah satu faktor yang mempunyai peranan itu adalah data hidrologi yang mampu mempengaruhi keadaan dilapangan. Dengan adanya data hidrologi tersebut, kita dapat mengetahui besarnya debit rencana sebagai dasar perencanaan bangunan air (Subarkah, 1980).

Analisis hidrologi diawali dengan menganalisis hujan dan debit rencana yang digunakan sebagai  $Q_{\text{desain}}$  bangunan air. Dari data curah hujan harian maksimum tahunan dan data karakteristik DAS (Daerah Aliran Sungai) dianalisis menjadi hujan rancangan dan unit hidrograf Nakayasu menjadi debit rancangan (Suryatmaja et al., 2022). Aspek hidrologi yang perlu dikaji yaitu:

### **2.5.1. Data Curah Hujan**

Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh di permukaan tanah datar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi (mm) di atas permukaan horizontal bila tidak terjadi evaporasi, *runoff* dan infiltrasi. Unsur hujan 1 (satu) milimeter artinya dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air hujan setinggi satu milimeter atau tertampung air hujan sebanyak satu liter (BMKG Wilayah III Denpasar, 2017).

Menurut (Sosrodarsono, 1986) curah hujan yang digunakan dalam penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan. Curah hujan ini disebut curah hujan area dan dinyatakan dalam mm (Sosrodarsono, 1986).

### **2.5.2. Uji Konsistensi Data Hujan**

Uji Konsistensi Data Hujan merupakan suatu seri yang bisa terjadi ketidaksamaan data dan tidak konsisten data. Faktor yang menyebabkan data menjadi tidak homogen dan tidak konsisten meliputi:

1. Perubahan mendadak pada sistem hidrologis, misalnya karena adanya pembangunan gedung atau tumbuhnya pohon, gempa bumi dan sebagainya.
2. Pemindahan alat ukur.
3. Perubahan cara pengukuran, misalnya penggantian alat dengan jenis dan spesifikasi alat baru atau metode yang berbeda.

Data tidak homogen maupun data tidak konsisten menyebabkan hasil analisis tidak teliti. Oleh karena itu sebelum data tersebut dipakai untuk analisis, terlebih dahulu harus dilakukan uji konsistensi data. Uji konsistensi data sudah meliputi uji homogenitas data karena data yang konsisten juga berarti data tersebut adalah homogen (Harto, 1993).

Metode yang digunakan untuk pengujian data yaitu dengan Metode *Double Mass Analysis* dan Metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*).

### 1. Metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*)

Metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) adalah pengujian konsistensi dengan menggunakan data dari stasiun itu sendiri yaitu pengujian dengan kumulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata dibagi dengan akar kumulatif rerata penyimpangan terhadap nilai reratanya (Harto, 1993).

Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$S_0^* = 0$$

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x}) \text{ dengan } k = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots(2.1)$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{D_y} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$D_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})}{n} = \frac{\sum_{i=1}^k (S_k^*)^2}{n} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan:

$x_i$  = Data hujan ke- $i$ ,

$\bar{x}$  = Data hujan rerata- $i$ ,

$Dy^2$  = simpangan rata-rata

$n$  = Jumlah data nilai statistik ( $Q$ )

Nilai Statistik  $Q$  dan  $R$ :

$Q = \max |S_k^{**}|$  dengan  $0 \leq k \leq n$

$R = \max S_k^{**} - \min S_k^{**}$  dengan  $0 \leq k \leq n$

Syarat konsistensi dari metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*)

adalah sebagai berikut:

$Q/\sqrt{n}$  hitung  $< Q/\sqrt{n}$  syarat

$R/\sqrt{n}$  hitung  $< R/\sqrt{n}$  syarat

Nilai kritik  $Q$  dan  $R$  ditunjukkan dalam tabel berikut ini:

**Tabel 2.1. Nilai Statistik  $Q/\sqrt{n}$  dan  $R/\sqrt{n}$**

n	$\frac{Q}{\sqrt{n}}$			$\frac{R}{\sqrt{n}}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1,05	1,14	1,29	1,21	1,28	1,38
20	1,1	1,22	1,42	1,34	1,43	1,6
30	1,12	1,24	1,46	1,4	1,5	1,7
40	1,13	1,26	1,5	1,42	1,53	1,74
50	1,14	1,27	1,52	1,44	1,55	1,78
100	1,17	1,29	1,55	1,5	1,62	1,86
	1,22	1,36	1,63	1,62	1,75	2

(Sumber: Harto, 1993).

## 2. Metode *Double Mass Analysis* (DMA)

Metode *Double Mass Analysis* secara umum menggambarkan besaran hujan secara kumulatif stasiun yang diuji dengan besaran kumulatif rata-rata stasiun

refeensi disekitarnya. Ketidakkonsistenan data ditunjukkan oleh penyimpangan garis terhadap garis lurusnya. Persamaan yang digunakan adalah:

$$X_t = \sum_{n=1}^{i=1} R.A_t$$

$$Y_t = \sum_{n=1}^{i=1} R_i$$

$$DMC_t = (X_t, Y_t)$$

Dengan:

$X_t$  = Kumulatif hujan stasiun A pada tahun t

$Y_t$  = Kumulatif hujan stasiun referensi pada tahun ke t

$R_i$  = Rata – rata curah hujan tahunan stasiun referensi pada tahun ke t

$R.A_t$  = Curah hujan tahunan di stasiun A

$DMC_t$  = Titik koordinat kurva di lengkung massa ganda tahun ke t

Jika stasiun tidak konsisten, akan dilakukan koreksi dengan mengalikan data setelah kurva berubah dengan perbandingan sebelum dan setelah kurva patah (Triadmodjo, 2008). Data curah hujan yang tidak konsisten harus diluruskan menggunakan rumus faktor koreksi dengan persamaan (2.4) sebagai berikut:

$$H_z = \frac{S_1}{S_2} \times H_o \dots\dots\dots (2.4)$$

$H_z$  = Tinggi hujan setelah dikoreksi

$H_o$  = Tinggi hujan sebelum dikoreksi

Pengujian dengan metode ini menggunakan analisis regresi linier. Analisis regresi linier adalah hubungan secara linier antara satu variabel independen (X) dengan variabel dependen (Y). Rumus regresi linier adalah:

$$Y = a + bX \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

$Y$  = Variabel dependen (nilai yang diprediksi)

X = Variabel Independen

a = Konstanta (nilai Y apabila X = 0)

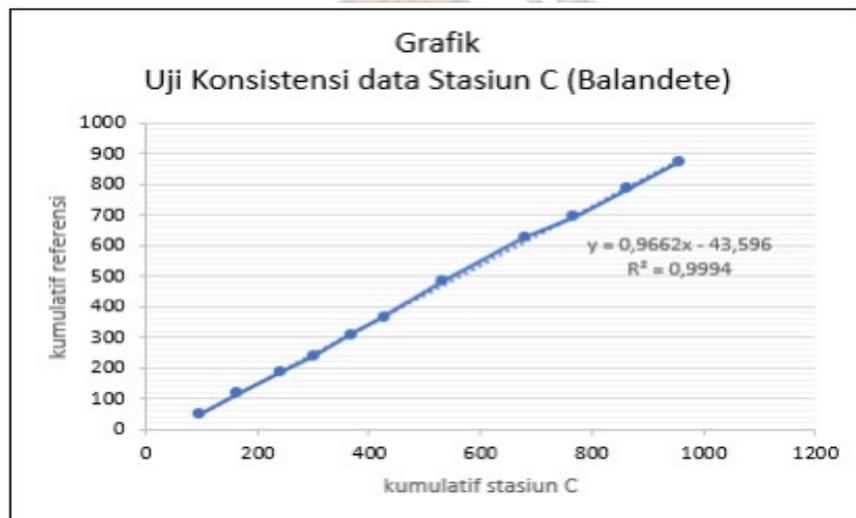
b = Koefisien regresi (nilai peningkatan ataupun penurunan)

Berikut merupakan rumus konstanta (a), koefisien regresi (b) dan model regresi (R) (Sugiyono, 2009):

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$R = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \dots\dots\dots(2.8)$$



**Gambar 2.1. Grafik Metode *Double Mass Analysis***

(Sumber: *Gencivil*, 2020)

Keselarasan model regresi dapat diterangkan dengan menggunakan nilai  $R^2$ . Semakin besar nilai tersebut maka model semakin baik. Jika nilai  $R^2 < 1$  maka model regresi semakin baik. Nilai  $R^2$  mempunyai karakteristik antara lain selalu positif, nilai  $R^2$  maksimum sebesar 1. Jika  $R^2$  sebesar 1 mempunyai arti kesesuaian yang sempurna, maksudnya seluruh variasi dalam variabel Y dapat diterangkan

oleh model regresi. Sebaliknya jika  $R^2$  sama dengan 0 maka tidak ada hubungan linier antara X dan Y.

### 2.5.3. Perhitungan Curah Hujan Wilayah

Ada 3 (Tiga) macam cara dalam menentukan tinggi curah hujan rerata pada areal tertentu dari angka curah hujan di beberapa titik pos penakar atau pencatat yaitu sebagai berikut:

#### 1. Metode Rerata Aljabar

Tinggi rata – rata curah hujan didapatkan dengan mengambil nilai rata – rata hitung pengukuran hujan di stasiun curah hujan di dalam *catchment* area tersebut:

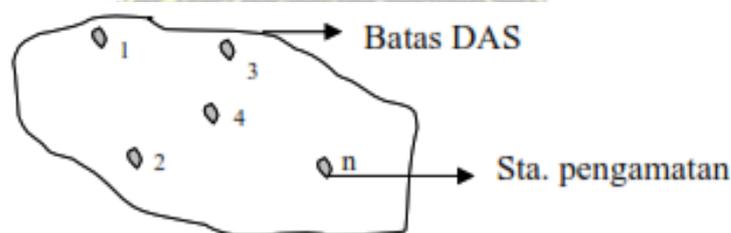
$$R = \frac{R_A + R_B + \dots + R_n}{n} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan:

R = Tinggi curah hujan rata-rata

$R_A, R_B, \dots, R_n$  = Tinggi curah hujan pada pos penakar 1,2,.....,n

n = Banyaknya pos penakar



**Gambar 2. 2. Sketsa Stasiun Curah Hujan Cara Rata-rata Aljabar**

(Sumber: Harto, 1993)

#### 2. Metode *Polygon Thiessen*

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitar. Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili stasiun tersebut. Metode ini digunakan apabila

penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Hitungan curah hujan rerata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari tiap stasiun. (Triadmodjo, 2008).

$$R = \frac{R_A \cdot A_A + R_B \cdot A_B + R_C \cdot A_C + \dots + R_n \cdot A_n}{A_A + A_B + A_C + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.10)$$

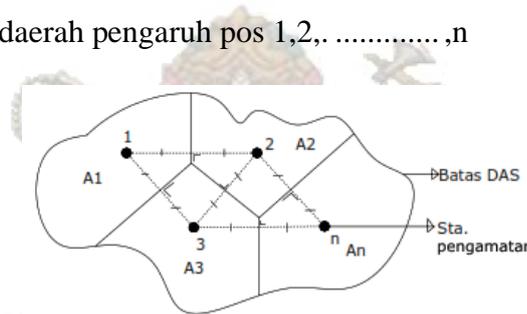
Dengan:

A = Luas areal

R = Tinggi curah hujan rata-rata areal

R<sub>A</sub>, R<sub>B</sub>, ..., R<sub>n</sub> = tinggi curah hujan di pos 1,2,.....,n

A<sub>A</sub>, A<sub>B</sub>, ..., A<sub>n</sub> = luas daerah pengaruh pos 1,2,.....,n



**Gambar 2. 3. Pembagian Daerah dengan Cara Polygon Thiessen**

(Sumber: Harto, 1993)

**3. Cara Isohyet**

Dengan cara ini, kita harus menggambar dulu kontur tinggi hujan yang sama (*Isohyet*) (Harto, 1993):

$$R = \frac{A_A \left( \frac{R_A + R_B}{2} \right) + A_B \left( \frac{R_B + R_C}{2} \right) + A_{n-1} \left( \frac{R_{n-1} + R_n}{2} \right)}{A_A + A_B + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.11)$$

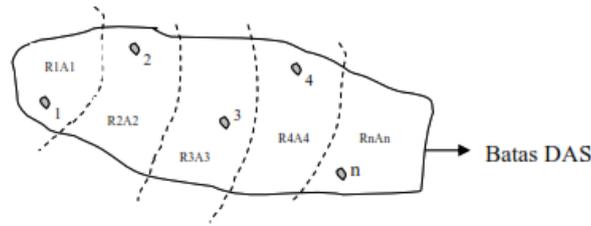
Dengan:

A = Luas areal

R = Tinggi curah hujan rata-rata area

R<sub>A</sub>, R<sub>B</sub>, ..., R<sub>n</sub> = tinggi curah hujan di pos 1,2,.....,n

A<sub>A</sub>, A<sub>B</sub>, ..., A<sub>n</sub> = luas daerah pengaruh pos 1,2,.....,n



**Gambar 2. 4. Pembagian Daerah Cara Garis Isohyet**

(Sumber: Harto, 1993).

**2.5.4. Paramater Statistik Hujan**

Uji pemilihan distribusi dilakukan berdasarkan syarat pengujian tagihan data untuk menggunakan analisis frekuensi. Pemilihan metode perhitungan hujan rencana ditetapkan berdasarkan parameter dasar statistiknya. Perhitungan parameter dasar statistik (Harto, 1993):

**1. Nilai Rata-rata**

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata

$X_i$  = Nilai Varian ke i

n = Jumlah data

**2. Standard Deviasi (Sd)**

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

Sd = Standar Deviasi

$\bar{X}$  = Tinggi hujan rata – rata selama n tahun (mm)

$X_i$  = Tinggi hujan (mm)

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

### 3. Koefisien *Skewness* ( $C_s$ )

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

$C_s$  = koefisien *skewness*

$X_i$  = nilai varian ke  $i$

$\bar{X}$  = nilai rata – rata varian

$n$  = jumlah data

$Sd$  = standar deviasi

### 4. Koefisien Kurtosis ( $C_k$ )

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

$C_k$  = koefisien kurtosis

$X_i$  = nilai varian ke  $i$

$\bar{X}$  = nilai rata – rata varian

$n$  = jumlah data

$Sd$  = standar deviasi

### 5. Koefisien Variasi ( $C_v$ )

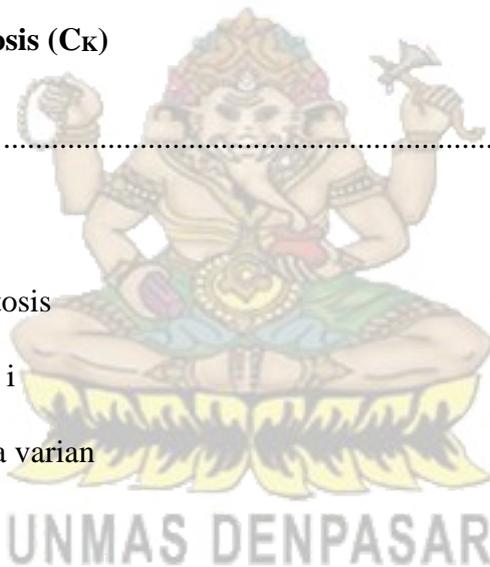
$$C_v = \frac{Sd}{\bar{X}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana:

$C_v$  = koefisien variasi

$Sd$  = standar deviasi

$\bar{X}$  = nilai rata – rata varian



Syarat pengujian yang dipakai pada pengujian pemilihan distribusi adalah sebagai berikut (Harto, 1993):

**Tabel 2.2. Pengujian Pemilihan Distribusi**

No.	Sebaran	Syarat
1.	Distribusi Normal	$C_s = 0$
2.	Distribusi Log Normal	$C_v = \frac{C_k}{3}$
3.	Distribusi Log-Pearson Type III	$C_k = 1,50 C_s^2 + 3$
4.	Distribusi <i>Gumbel</i>	$C_s = 1,1395$ $C_k = 5,4002$
5.	Bila tidak ada yang memenuhi syarat digunakan sebaran Log-Person type III	

Sumber: Harto. 1993.

## 2.6. Analisis Curah Hujan Rencana

Curah hujan rancangan adalah curah hujan terbesar tahunan dengan suatu kemungkinan terjadi hujan dengan periode ulang tertentu. Metode analisis hujan rancangan tersebut pemilihannya tergantung dari kesesuaian parameter statistik data berdasarkan pertimbangan teknis lainnya. Untuk menganalisis probabilitas hujan (Curah Hujan Rencana) dan probabilitas banjir (Debit Banjir Rencana) biasanya dipakai beberapa macam distribusi (Soemarto, 1999), yaitu:

### 1. Distribusi Log Normal

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 :

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S_d \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana:

$X_T$  = besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun

Sd = Standar deviasi

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

$K_T$  = Standar Variabel untuk periode ulang tahun (tabel 2.3)

**Tabel 2.3. Nilai Koefisien Untuk Distribusi Log Normal**

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

Sumber: Soemarto, 1999

## 2. Distribusi Normal

Persamaannya dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$X_T = \bar{X} + K_T S_d \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana:

$X_T$  = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode T - tahunan

$\bar{X}$  = nilai rata – rata hitung varian

$S_d$  = standard deviasi nilai varian

$K_T$  = faktor frekuensi

## 3. Distribusi Log-Pearson Type III

Distribusi *Log-Pearson Type III* merupakan perkembangan fungsi probabilitas yang dilakukan oleh *Pearson*. Metode yang dianjurkan dalam pemakaian distribusi *Log Pearson Type III* ialah dengan mengkonversikan rangkaian datanya menjadi bentuk logaritmik.

Nilai rerata:

$$\text{Log } \bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Log } X_i}{n} \dots\dots\dots (2.19)$$

*Standard Deviasi (Sd)*:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log(X_i) - \log(\bar{X}))^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.20)$$

Koefisien Variasi (Cv)

$$Cv = \frac{Sd}{\bar{X}} \dots\dots\dots(2.21)$$

Koefisien *Skewnes* (Cs):

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (\text{Log} X_i - \text{Log} \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \dots\dots\dots(2.22)$$

Koefisien Kurtosis (Ck)

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4} \dots\dots\dots(2.23)$$

Nilai X bagi setiap tingkat probabilitas dihitung dari persamaan :

$$\text{Log } X_T = \text{Log} \bar{X} + K \cdot Sd$$

#### 4. Distribusi *Gumbel*

Metode E.J. *Gumbel* dengan persamaan sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + K \cdot Sd \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana:

$X_T$  = Hujan rancangan dengan periode ulang (T) tahun

$\bar{X}$  = Harga rerata dari data hujan X (mm)

Sd = Standard deviasi

K = Faktor frekuensi

Untuk menghitung faktor frekuensi E.J. *Gumbel* digunakan rumus :

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana:

$Y_{Tr}$  = *Redeuced variate* sebagai fungsi periode ulang

$Y_T$  (th) =  $-\text{Ln} (-\text{Ln} (T - 1) / T)$

$Y_n$  = *Redeuced Mean* sebagai fungsi dari banyaknya data n

$S_n$  = *Redeuced Standard deviasi* sebagai fungsi dari banyaknya data n

Dengan mensubstitusikan ketiga persamaan di atas diperoleh :

$$X_T = \bar{X} + \frac{S_d}{S_n} (Y_t - Y_n) \dots\dots\dots(2.26)$$

Jika:

$$\frac{1}{a} = \frac{S_d}{S_n}$$

$$b = -(S_d/S_n) \cdot Y_n$$

Persamaan di atas menjadi:

$$X_T = b + 1/a \cdot Y_T \dots\dots\dots(2.27)$$

**Tabel 2.4. Nilai Redeuced Mean (Yn)**

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,507	0,51	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,552
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,532	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,538	0,5388	0,8396	0,5403	0,541	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	0,553	0,5533	0,5535	0,5538	0,554	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,555	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,557	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,558	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	0,56	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,561	0,5611

(Sumber: *Suripin*, 2004)

**Tabel 2.5. Nilai Redeuced Standard (Sn)**

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	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,108
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	1,148	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,159
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	1,177	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,189	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,193
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,198	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,202	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2066
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,209	1,2093	1,2096

(Sumber: *Suripin*, 2004).

**Tabel 2.6. Nilai *Reduced Variate* (YT)**

Periode Ulang Tr. (tahun)	<i>Reduced Variate</i> Y <sub>Tr</sub>	Periode Ulang Tr. (tahun)	<i>Reduced Variate</i> Y <sub>Tr</sub>
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).

### 2.6.1. Pemeriksaan Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Ada dua metode pemeriksaan kesesuaian yang lazim di pakai yaitu metode *Chi-Square Test* ( $X^2$  test) dan metode *Smirnov-Kolmogorof*. Hasil perhitungan dari kedua metode tersebut akan menentukan apakah distribusi yang digunakan dalam analisis sesuai, menurut ketentuan yang harus dipenuhi (Harto, 1993).

#### 1. Metode *Chi Square*

Metode ini hanya cocok digunakan untuk memeriksa data pengamatan yang banyak, Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$X^2 = \sum \frac{(E_f - O_f)^2}{E_f} \dots\dots\dots(2.28)$$

dimana:

$X^2$  = Harga *Chi Square*

$E_f$  = Frekuensi (banyaknya pengamatan yang diharapkan)

$O_f$  = Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

Nilai  $X^2$  yang terdapat ini harus lebih kecil dari nilai  $X^2$  Cr (*Chi*-kuadrat kritik) yang didapat dari tabel, untuk suatu derajat nyata tertentu (*level of significance*), yang sering diambil sebesar 5%. Derajat kebebasan ini secara umum dapat dihitung dengan:

$$DK = k - (P + 1) \dots\dots\dots(2.29)$$

$$K=1+3,322 \log n \dots\dots\dots(2.30)$$

Dimana:

DK = Derajat kebebasan

K = Banyaknya kelas

P = Banyaknya keterikatan (*constrain*) atau sama dengan parameter, yang untuk distribusi *Chi Squaret* = 2

Urutan Pemeriksaan kesesuaian distribusi adalah sebagai berikut:

1. Urutkan data pengamatan dari kecil ke besar atau sebaliknya.
2. Kelompokkan data pengamatan menjadi beberapa “k” kelas interval.
3. Catat frekuensi data pengamatan pada setiap kelas interval (Of).
4. Hitung frekwensi kejadian yang diharapkan, sesuai pembagian kelasnya (Ef).
5. Hitung nilai  $X^2$
6. Tetapkan nilai derajat kebebasan (DK)
7. Tetapkan tingkat kepercayaan
8. Cari  $X^2$  kritis pada tabel harga kritis *Chi-Square*
9. Bandingkan  $X^2$  hitungan dengan  $X^2$  kritis, bila  $X^2$  hitungan <  $X^2$  kritis, berarti metode distribusi yang diperiksa dapat diterima.

**Tabel 2.7. Nilai  $X^2$  Kritis Untuk Uji *Chi-Square***

Y	0,20	0,10	0,05	0,01
1	1,642	2,706	3,841	6,635
2	3,219	4,605	5,991	9,210
3	4,642	6,251	7,815	11,345
4	5,989	7,779	9,488	13,277
5	7,289	9,236	11,070	15,086
6	8,558	10,645	12,592	16,812
7	9,803	12,017	14,067	18,475
8	11,030	13,362	15,507	20,090
9	12,242	14,684	16,919	21,666

Y	0,20	0,10	0,05	0,01
10	13,442	15,987	18,307	23,209
11	14,631	17,275	19,675	24,725
12	15,812	18,549	21,026	26,217
13	16,985	19,812	22,362	27,688
14	18,151	21,064	23,685	29,141
15	19,311	22,307	24,996	30,578
16	20,465	23,542	26,296	32,000
17	21,615	24,769	17,587	33,409
18	22,760	25,989	28,869	34,805
19	23,900	27,204	30,144	36,191
20	25,038	28,412	31,410	37,566

Sumber: Hadisusanto, 2010

## 2. Metode Smirnov-Kolmogorof

Uji *Smirnov-Kolmogorof* digunakan untuk pengujian kecocokan distribusi dapat dilakukan lebih sederhana dengan membandingkan probabilitas untuk semua varian, dari distribusi empiris dan teoritisnya akan terdapat perbedaan ( $\alpha$ ) tertentu (Sri Harto, 1993). Berdasarkan persamaan *Smirnov dan Kolmogorov*:

$$\alpha = P\{ \max |P(X) - P(X_i)| \} \Delta_{cr}$$

Apabila nilai  $\Delta_{max}$  yang terbaca pada kertas kemungkinan ( $\Delta_{cr}$  yang didapat dari tabel  $\Delta_{kritis}$  untuk Uji *Smirnov Kolmogorov*) Untuk derajat nyata (*level of significance*) dan banyaknya varian yang tertentu, maka dapat disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi hanya karena kesalahan-kesalahan yang terjadi secara kebetulan. Urutan *test* ini adalah sebagai berikut:

1. Susun data (dari kecil ke besar atau sebaliknya).
2. Hitung probabilitas untuk masing-masing data hujan dengan persamaan *Weibull* sebagai berikut:

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots \dots \dots (2.31)$$

Dimana:

$P$  = Probabilitas (%).

$m$  = Nomor urut data dari seri data yang telah disusun.

$n$  = Banyak data.

3. Gambarkan (*plot*) distribusi empiris maupun distribusi teoritis pada kertas grafik probabilitas yang sesuai.
4. Kemudian cari harga mutlak perbedaan maksimum antara distribusi empiris ( $P$  empiris) dengan distribusi teoritis ( $P$  teoritis).
5.  $\Delta$  Maks = maksimum  $|P$  teoritis –  $P$  empiris|.
6. Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov-Kolmogorov test*) tentukan nilai  $\Delta$  kritis.
7. Apabila  $\Delta$  Maks  $\leq \Delta$  kritis , maka distribusi teoritisnya dapat diterima dan bila terjadi sebaliknya maka distribusi teoritisnya tidak dapat diterima.

**Tabel 2.8. Nilai Delta Kritis ( $\Delta_{cr}$ ) untuk Uji *Smirnov – Kolmogorof***

$\alpha$ n	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,67
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: *Shahin*, 1976).

### 2.6.2. Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periodenya makin tinggi pula intensitasnya.

Hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF) digunakan rumus pendekatan *Mononobe* sebagai berikut (Sosrodarsono, 1986):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right) \dots \dots \dots (2.32)$$

Dimana :

I = intensitas hujan (mm/jam)

R<sub>24</sub> = hujan harian rencana (mm)

T = lamanya hujan

Untuk mendapatkan persamaan lengkung IDF dipakai cara kwadrat terkecil (*lest square*) dari tiga jenis metode yang umum digunakan yaitu : metode *Talbot*, metode *Sherman* dan metode *Ishiguro*:

1. Metode *Talbot*

$$I = \frac{a}{t+b} \dots \dots \dots (2.33)$$

Dimana:

$$a = \frac{[It][I^2] - [I^2t][I]}{N[I^2] - [I][I]}$$

$$b = \frac{[I][It] - N[I^2t]}{N[I^2] - [I][I]}$$

2. Metode *Sherman*

$$I = \frac{a}{t^n} \dots \dots \dots (2.34)$$

Dimana:

$$\text{Log } a = \frac{[\text{log } I][(\text{log } t)^2] - [\text{log } t][\text{log } I][\text{log } t]}{N[\text{log } t^2] - [\text{log } t][\text{log } t]}$$

3. Metode *Ishiguro*

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \dots \dots \dots (2.35)$$

Dimana:

$$a = \frac{[I\sqrt{t}][I^2] - [I^2\sqrt{t}][I]}{N[I^2] - [I][I]}$$

$$b = \frac{[I][I\sqrt{t}] - N[I^2\sqrt{t}]}{N[I^2] - [I][I]}$$

Besarnya deviasi rata - rata dari ketiga jenis rumus harus dihitung untuk mengetahui metode (jenis rumus) yang memberikan hasil yang optimum sebagai rumus persamaan kurva lengkung IDF.

## 2.7. Analisis Debit Banjir Rancangan

Debit banjir rancangan adalah debit maksimum pada periode ulang yang akan dialirkan ke saluran drainase yang telah direncanakan untuk mencegah terjadinya genangan atau banjir (Ritaka Wangsa et al., 2023). Peluang banjir maksimum tersebut disetarakan atau dilampaui dari 1 kali dalam 2 tahun, 1 kali dalam 5 tahun, 2 kali dalam 10 tahun atau 25 kali dalam 100 tahun.

Dalam menentukan debit aliran akibat air hujan dapat diperoleh dari hubungan rasional antara air hujan dengan limpasannya atau disebut dengan metode rasional. Metode rasional terus dimodifikasi oleh beberapa peneliti yaitu *Melchior*, *Der Wedulen* dan *Hasper* (Suhardjono, 2013).

Perhitungan kapasitas saluran tersebut dilakukan dengan memperhatikan koefisien kekasaran *Manning*, bentuk penampang saluran dan prinsip saluran terbuka. Parameter yang menentukan dalam perhitungan debit adalah:

### 1. Daerah Pengaliran

Daerah pengaliran merupakan daerah cakupan hujan yang terjadi di daerah pengaliran. Penentuan daerah pengaliran sangat tergantung dari kontur permukaan.

## 2. Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi persatuan waktu, pada air tersebut terkonsentrasi.

## 3. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran adalah suatu variabel yang didasarkan pada kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh di daerah tersebut.

### 2.7.1. Analisis Koefisien *Run-Off*

*Run-Off* adalah keluarnya air dari dalam tanah maupun air permukaan seperti sungai dan danau, menuju kembali ke laut sebagai tempat akhir aliran air. Koefisien pengaliran dari suatu bidang tanah/suatu daerah tergantung dari tata guna tanah, kepadatan penduduk, struktur geologi tanah. Besarnya koefisien pengaliran rata – rata suatu daerah dapat dihitung (Suripin, 2004) sebagai berikut:

$$C = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_iA_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i} \dots\dots\dots(2.36)$$

Dimana:

C = koefisien pengaliran

A = luas wilayah pengaliran

Sedangkan penentuan koefisien *Run-Off* campuran untuk kawasan dapat dengan menggunakan persamaan:

$$C_n = C_0 + N(1 - C_0)$$

Dimana:

$C_n$  = Koef. *Run off* saat ini

$C_0$  = Koef. *Run off* awal

N = Presentase lahan yang tidak tertutup bangunan

### 2.7.2. Limpasan

Limpasan adalah apabila intensitas yang jatuh di suatu DAS melebihi kapasitas infiltrasi, setelah laju infiltrasi terpenuhi air akan mengisi cekungan pada permukaan tanah. Atau limpasan permukaan terjadi ketika laju hujan lebih besar dari pada laju infiltrasi dan persamaan limpasan permukaan selalu dikembangkan berdasarkan pada kondisi tersebut (Asdak, 2010).

Setelah cekungan tersebut penuh, selanjutnya air akan mengalir (melimpas) diatas permukaan tanah. Faktor yang menyebabkan limpasan dan genangan air hujan dipengaruhi lima hal yaitu intensitas curah hujan, jenis tutupan lahan, kemiringan lereng, jenis tanah, dan kerapatan aliran (Suryatmaja et al., 2023).

Beberapa variabel yang ditinjau dalam analisis banjir adalah volume banjir, debit puncak, tinggi genangan, lama genangan dan kecepatan aliran. Komponen limpasan terdiri dari:

#### 1. Aliran Permukaan

Aliran Permukaan (*surface flow*) adalah bagian dari air hujan yang mengalir dalam bentuk lapisan tipis di atas permukaan tanah. Aliran permukaan disebut juga aliran langsung (*direct runoff*). Aliran permukaan dapat terkonsentrasi menuju sungai dalam waktu singkat, sehingga aliran permukaan merupakan penyebab utama terjadinya banjir.

#### 2. Aliran Antara

Aliran antara (*interflow*) adalah aliran dalam arah lateral yang terjadi di bawah permukaan tanah. Aliran antara terdiri dari gerakan air dan lensa tanah secara lateral menuju elevasi yang lebih rendah.

#### 3. Aliran air tanah

Aliran air tanah adalah aliran yang terjadi di bawah permukaan air tanah ke elevasi yang lebih rendah yang akhirnya menuju sungai atau langsung ke laut.

### 2.7.3. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran adalah suatu variabel didasarkan pada kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang turun di daerah tersebut (Soemarto, 1999).

Kondisi dan karakteristik yang dimaksud adalah:

1. Keadaan hujan
2. Luas dan bentuk daerah aliran
3. Kemiringan daerah aliran dan kemiringan dasar sungai
4. Daya infiltrasi dan perkolasi tanah
5. Kebasahan tanah
6. Suhu udara dan angin serta evaporasi dan
7. Tata guna tanah

Koefisien pengaliran yang disajikan pada tabel berikut, didasarkan dengan suatu pertimbangan bahwa koefisien tersebut sangat tergantung pada faktor fisik.

**Tabel 2.9. Angka Koefisien Pengaliran**

Kondisi DAS	Koef. Pengaliran (C)
Pegunungan curam	0,75 – 0,90
Pegunungan tersier	0,70 – 0,80
Tanah berelief berat dan berhutan kayu	0,50 – 0,75
Daratan pertanian	0,45 – 0,60
Daratan sawah irigasi	0,70 – 0,80
Sungai di pegunungan	0,75 – 0,85
Sungai di daratan rendah	0,45 – 0,75
Sungai besar yang sebagian alirannya berada di daratan rendah	0,50 – 0,75

(Sumber: Soemarto, 1999).

Kemudian (Dr. Kawakami, 1939) menyusun sebuah rumus yang mengemukakan bahwa untuk sungai tertentu koefisien itu tidak tetap, tetapi berbeda-beda tergantung curah hujan.

$$f = 1 - R'/Rt = 1 - f^l \dots\dots\dots(2.37)$$

dengan:

- f = koefisien pengaliran
- $f^l$  = laju kehilangan =  $t / R$
- Rt = jumlah curah hujan (mm)
- R' = kehilangan curah hujan
- t,s = tetapan

#### 2.7.4. Metode Rasional

Metode rasional digunakan untuk memperkirakan debit puncak yang ditimbulkan oleh hujan pada daerah tangkapan aliran (DTA) kecil. Metode ini sangat simpel dan mudah penggunaannya, namun terbatas untuk DTA dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 300 ha (Suripin, 2004).

Metode ini digunakan untuk daerah aliran sungai kecil (sekitar 1000 sampai 5000 hektar) dan diasumsikan bahwa curah hujan turun dengan intensitas konstan dan seragam di semua cekungan (Majidi et al., 2012)

Rumus ini banyak digunakan untuk sungai biasa dengan daerah pengaliran yang luas dan juga untuk perencanaan drainase daerah pengaliran yang relatif sempit dan merupakan rumus tertua yang dan paling populer diantara rumus empiris lainnya. Bentuk umum rumus rasional ini adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,002778 \cdot C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots(2.38)$$

Dimana:

$Q$  = Debit puncak ( $m^3/detik$ )

$F$  = Koefisien satuan luas, jika luas lahan dalam Ha maka  $F = 0,00278$ , jika luas lahan are maka  $F=1$

$C$  = Koefisien pengaliran

$I$  = Intensitas hujan ( $mm/jam$ )

$A$  = Luas daerah (Hektar)

## 2.8. 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.

### 2.8.1. Dimensi Saluran

Dimensi saluran adalah suatu tempat lain melalui bangunan pembawa alamiah maupun buatan manusia. Bangunan pembawa ini dapat terbuka maupun tertutup bagian atasnya. Saluran yang tertutup bagian atasnya disebut saluran tertutup (*closed conduits*), sedangkan yang terbuka bagian atasnya disebut saluran terbuka (*open channels*).

Pada sistem pengaliran melalui saluran terbuka terdapat permukaan air yang bebas (*free surface*) di mana permukaan bebas ini dipengaruhi oleh tekanan udara luar secara langsung, saluran terbuka umumnya digunakan pada lahan yang masih memungkinkan (luas), lalu lintas pejalan kakinya relatif jarang, beban kiri dan kanan saluran relatif ringan. Pada sistem pengaliran melalui saluran tertutup (pipa *flow*) seluruh pipa diisi dengan air sehingga tidak terdapat permukaan yang bebas,

oleh karena itu permukaan tidak secara langsung dipengaruhi oleh tekanan udara luar, saluran tertutup umumnya digunakan pada daerah yang lahannya terbatas (pasar, pertokoan), daerah yang lalu lintas pejalan kakinya relatif padat, lahan yang dipakai untuk lapangan parkir (Suripin, 2004).

Berdasarkan konsistensi bentuk penampang dan kemiringan dasarnya saluran terbuka dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Saluran prismatic (prismatic channel), yaitu saluran yang bentuk penampang melintang dan kemiringan dasarnya tetap.

Contoh: saluran drainase, saluran irigasi.

2. Saluran non prismatic (non prismatic channel), yaitu saluran yang bentuk penampang melintang dan kemiringan dasarnya berubah.

Aliran pada saluran terbuka terdiri dari saluran alam (*natural channel*), seperti: sungai kecil di daerah hulu (pegunungan) hingga sungai besar dimuara, dan saluran buatan (*artificial channel*), seperti saluran drainase tepi jalan, saluran irigasi untuk mengairi persawahan, saluran pembuangan, saluran untuk membawa air ke pembangkit listrik tenaga air, saluran untuk supply air minum, dan saluran banjir. Saluran buatan dapat berbentuk segitiga, trapesium.

### **2.8.2. Penampang Saluran**

Penampang hidrolis terbaik adalah penampang yang mempunyai keliling basah terkecil pada luas penampang tertentu yang akan memberikan aliran yang maksimum atau penampang saluran yang memberikan luas penampang aliran (penampang basah) terkecil pada debit aliran tertentu dimana bentuk penampang saluran akan dapat berpengaruh terhadap besarnya debit aliran yang dapat diangkut atau dialirkan oleh saluran (Suripin, 2004).

Disamping untuk meningkatkan kapasitas saluran, bentuk penampang saluran juga dapat disesuaikan dengan fungsi saluran tersebut dibuat. Adapun bentuk saluran yang dikaitkan dengan fungsi saluran adalah sebagai berikut:

1. Bentuk penampang persegi panjang apabila dilihat pada bagian dinding saluran dapat digunakan sebagai dinding penahan serta ruang untuk saluran sangat terbatas.
2. Bentuk penampang lingkaran atau parabola, walaupun pembuatannya relatif agak sulit tetapi apabila dilihat dari fungsi saluran cukup efektif untuk mengalirkan bahan endapan, serta adanya fluktuasi debit aliran atau untuk mengalirkan air limbah.
3. Bentuk penampang tersusun dibuat apabila lahan terbatas untuk saluran atau fungsi saluran mengalirkan air limbah dan air hujan (tercampur). Penampang tersusun dapat dibuat kombinasi antara empat persegi panjang dengan setengah lingkaran atau persegi panjang dengan segitiga dibagian bawah dan sebagainya.

Pemilihan bentuk penampang saluran dalam praktek harus dilakukan sedemikian rupa sehingga sedapat mungkin dipenuhi aspek ekonomis penampang saluran dalam arti kata dengan luas penampang tertentu mampu mengalirkan debit air sebanyak-banyaknya (maksimum), selain juga melihat fungsi saluran, misalnya apabila saluran untuk mengalirkan endapan (Chow, 1993).

### **2.8.3. Kekasaran Dinding Saluran (n)**

Seorang insinyur Irlandia bernama Robert Maning 1989 (Montjai, 2015) mengemukakan sebuah rumus kecepatan yaitu sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots(2.39)$$

Dimana:

R = Jari–jari hidrolis (m)

V = Kecepatan aliran (m/dt)

I = Kemiringan memanjang dasar saluran

n = Koefisien kekasaran menurut *Manning* yang besarnya tergantung dari bahan dinding saluran yang dipakai.

Apabila bentuk rumus *Manning* diubah menjadi rumus *Chezy* maka besarnya

C adalah sebagai berikut:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} \dots\dots\dots(2.40)$$

Dimana:

C = Koefisien *Chezy*

R = Jari – jari hidrolis (m)

n = Koefisien kekasaran menurut *Manning*

Menurut (Chow, 1993), faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran *Manning* antara lain:

1. Kekasaran permukaan, yang ditandai dengan ukuran dan bentuk butiran bahan yang membentuk luas basah dan menimbulkan efek hambatan terhadap aliran. Secara umum dikatakan bahwa butiran halus menyebabkan nilai n yang relatif rendah dan butiran kasar memiliki nilai n yang tinggi.
2. Tumbuhan yang juga memperkecil kapasitas saluran dan menghambat aliran.
3. Ketidakteraturan saluran, yang mencakup pula ketidakteraturan keliling basah dan variasi penampang, ukuran dan bentuk di sepanjang saluran. Secara umum perubahan lambat laun dan teratur dari penampang ukuran dan bentuk tidak terlalu mempengaruhi nilai n, tetapi perubahan atau peralihan dari penampang kecil ke besar memerlukan penggunaan nilai n yang besar.

4. *Trase* Saluran, dimana kelengkungan yang landai dengan garis tengah yang besar akan mengakibatkan nilai  $n$  yang relatif rendah, sedangkan kelengkungan yang tajam dengan belokan yang patah akan memperbesar nilai  $n$ .
5. Pengendapan dan penggerusan. Secara umum pengendapan dapat mengubah saluran yang sangat tidak beraturan menjadi cukup beraturan dan memperkecil  $n$ , sedangkan penggerusan dapat berakibat sebaliknya dan memperbesar  $n$ . Namun efek utama dari pengendapan akan tergantung dari sifat alamiah bahan yang diendapkan.
6. Hambatan, berupa balok sekat, pilar jembatan dan sejenisnya yang cenderung memperbesar nilai  $n$ .

Nilai yang berupa koefisien atau angka (jari-jari) kekasaran dinding akan sangat berpengaruh pada besarnya kecepatan aliran dan akan berpengaruh terhadap besarnya debit aliran. Semakin kasar dinding akan semakin besar nilai kekasaran dinding dan menghasilkan debit aliran yang semakin kecil dan juga sebaliknya semakin halus dinding akan menghasilkan debit aliran yang semakin tinggi.

**Tabel 2.10. Tabel Kekasaran Manning**

Jenis Saluran	Koefisien Manning ( $n$ )
1. Saluran Galian	
a. Saluran tanah	0,022
b. Saluran pada batuan, digali merata	0,035
2. Saluran dengan Lapisan Perkerasan	
a. Lapisan beton seluruhnya	0,015
b. Lapisan beton pada kedua sisi saluran	0,02
c. Lapisan blok beton pracetak	0,017
d. Pasangan batu di plester	0,02
e. Pasangan batu, di plester pada kedua sisi saluran	0,022
f. Pasangan batu, disiar	0,025
g. Pasangan batu kosong	0,03
3. Saluran Alam	
a. Berumput	0,027

Jenis Saluran	Koefisien <i>Manning</i> (n)
b. Semak - semak	0,05
c. Tak beraturan, banyak semak dan pohon, batang pohon banyak jatuh kesaluran	0,015

(Sumber: Notodiharjo, 1998)

#### 2.8.4. 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 konstruksi saluran tetap aman . Berikut adalah persamaan *Manning* pada (Suripin, 2004):

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.41)$$

Dimana:

V = Kecepatan aliran (m/detik)

n = Koefisien kekasaran *Manning*

R = Jari-jari hidrolik

S = Kemiringan memanjang saluran

### 2.8.5. Analisis Kapasitas Saluran

Perhitungan hidraulika digunakan untuk menganalisa dimensi penampang berdasarkan kapasitas maksimum saluran. Penentuan dimensi saluran yang direncanakan, berdasarkan debit maksimum yang akan dialirkan (Suripin, 2004).

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Q_{\text{sal}} = A \cdot V \dots\dots\dots (2.42)$$

Dimana:

$Q_{\text{sal}}$  = Debit banjir rancangan ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

A = Luas penampang basah ( $\text{m}^2$ )

V = Kecepatan rata-rata ( $\text{m}/\text{dt}$ )

$$A = B \cdot h \dots\dots\dots (2.43)$$

$$P = B + 2h \dots\dots\dots (2.44)$$

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (2.45)$$

Dimana:

B = Lebar dasar saluran (m)

P = Keliling basah saluran (m)

h = Tinggi muka air (m)

R = Jari – jari hidraulik (m)

**Tabel 2.11. Tinggi Jagaan untuk saluran pasangan**

No.	Debit ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )	Tinggi Jagaan (m)
1	< 0,5	0,15
2	0,5 – 1,5	0,20
3	1,5 – 5,0	0,25
4	5,0 – 10,0	0,30
5	10 – 5	0,40
6	> 15	0,50

(Sumber: *Standar Perencanaan*, KP – 03, 1986).

## 2.9. Pemodelan HEC-RAS

Menurut (Istiarto, 2014), HEC-RAS merupakan aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, *River Analysis System (RAS)*, *software* ini dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center (HEC)* yang merupakan satu divisi di dalam *Institut for Water Resources (IWR)*. HEC-RAS merupakan *software* satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one- dimensional flow model*), HEC-RAS memiliki empat komponen analisa hidraulika satu dimensi untuk:

1. hitungan profil muka air aliran permanen,
2. simulasi aliran tak permanen,
3. hitung transport sedimen,
4. hitungan kualitas air.

Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut menggunakan data geometri yang sama, hitungan hidraulika yang sama. HEC-RAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan, (Istiarto, 2014).

### 1. *Graphical User Interface*

*Interface* berfungsi sebagai penghubung antara pemakai dan HEC-RAS. *Graphical interface* dibuat untuk memudahkan pemakai HEC-RAS dengan tetap mempertahankan efisiensi. Melalui *graphical interface* ini, dimungkinkan untuk melakukan hal-hal berikut in dengan mudah:

- a. Manajemen file
- b. Input dan edit data
- c. Melakukan analisis hidraulik

- d. Menampilkan data masukan dan hasil analisis dalam bentuk tabel dan grafik
- e. Penyusunan laporan
- f. Mengakses *on-line help*

## 2. Analisa Hidraulik

Berdasarkan karakter sungai, maka analisa akan dilakukan untuk menghitung profil muka air aliran permanen berubah lambat laun, program mampu memodelkan jaringan sungai. Aliran yang dapat dimodelkan adalah aliran sub-kritis, super-kritis, maupun gabungan dari kedua aliran tersebut. Selain itu, *software* ini mampu menyimulasikan aliran tak permanen satu dimensi pada sungai yang memiliki alur kompleks.

## 3. Manajemen dan Penyimpanan Data

Data masukan dari pengguna HEC-RAS disimpan ke dalam file dan dikelompokkan menjadi : *plan, geometry, Steady Flow, unSteady Flow, project* dan *sediment* data. Hasil dari program akan disimpan ke dalam *binary file*.

## 4. Grafik dan Pelaporan

*Software* ini menyediakan pola fitur plot 3D beberapa tampang lintang sekaligus. Hasil dari program dapat ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel. Grafik dan tabel tersebut dapat ditampilkan di layar, dicetak, atau disalin ke *clipboard* untuk dimasukkan ke dalam program aplikasi lain. Fasilitas ini dapat berupa pencetakandata masukan dan keluaran hasil pada *printer* atau *plotter*.

Presentasi dalam bentuk grafik digunakan untuk menampilkan tampang lintang di suatu *River Reach*, tampang panjang (profil muka air sepanjang alur), kurva ukur debit, gambar perspektif alur, atau hidrograf. Presentasi dalam bentuk tabel digunakan untuk menampilkan hasil rinci berupa angka (nilai) variabel di

lokasi/titik tertentu atau di sepanjang alur. Pada setiap layar tampilan hasil hitungan/simulasi disediakan menu *Options*. Menggunakan menu ini untuk mengatur tampilan. Pengguna dapat memilih plan, parameter, variabel, ruas sungai yang ditampilkan.

Berikut adalah tahapan dalam menggunakan program HEC-RAS:

1. Hasil Tampilan Utama
2. Geometri Data
3. Hasil Hitungan di sebuah Tampang Lintang (*View cross sections*)
4. Hasil Hitungan Profil Muka Air di Sepanjang Alur (*Water Surface Profiles*)
5. Hasil Hitungan Profil Variabel Aliran di Sepanjang Alur (*General Profile Plot*)
6. Hasil Hitungan dalam Bentuk Tabel (*Detailed Output Tables*)

