

## **BAB II**

### **TINJAUAN UMUM**

#### **2.1. Dasar Teori**

Pada penyusunan sebuah laporan diperlukan objek pendukung yaitu data akurat yang harus dilampirkan pada laporan skripsi ini. Pada saat mengolah dan menganalisis data akurat yang akan digunakan dapat berhubungan dengan tingkat kesulitan suatu laporan.

##### **2.1.1. Waduk (*Reservoir*)**

Waduk (*Reservoir*) adalah sebuah media penampang berisi air yang terbentuk karena adanya konstruksi bangunan sungai pada hal ini seperti bangunan bendungan dan berupa pelebaran sebuah badan sungai (Standar Nasional Indonesia). Volume tampungan yang dapat memenuhi kebutuhan air tergantung pada ukuran dan variabilitas aliran, jumlah kebutuhan, tingkat keandalan dalam memenuhi kebutuhan dan cara pengoperasian (Bayazit, 1997). Secara umum, waduk (*reservoir*) memiliki 2 kelompok terdiri atas waduk penyimpanan yang berguna sebagai konservasi sumber daya air dan waduk distribusi yang berguna mengalirkan air (Nursa'ban, 2008).

Menurut (Kinsley dan Franzini, 1979), karakteristik dari sebuah waduk adalah fungsi primer waduk yaitu sebagai penyimpanan air bersifat sementara dan karakteristik yang terpenting adalah kapasitas waduk tersebut. Kapasitas total waduk tersebut berasal dari data direncanakan yang berdasarkan perhitungan volume tampungan air dengan tanpa melihat sedimentasi (Subarkah, 1980). Namun, dengan sepejalan pergantian tahun yang cukup lama maka terjadi proses pengendapan atau yang biasa disebut sedimentasi pada waduk (*reservoir*) sehingga kapasitas total waduk tersebut dapat berkurang. Penyebab adanya proses sedimentasi tersebut dapat membuat bencana banjir yang tidak terduga pada musim hujan yang akan datang.

Terdapat beberapa bagian inti dari model sebuah waduk. Komponen utama dalam merancang sebuah waduk (*reservoir*) yaitu arus masuk (*inflows*) dan arus

keluar (*outflows*). Aliran dari semua anak sungai yang ada berkontribusi langsung ke waduk (*reservoir*) tersebut disebut sebagai arus masuk ke sistem waduk.

Proses pengendapan atau disebut dengan sedimentasi, rata-rata terjadi karena berbagai macam faktor yaitu penyebab hidrometeorologi, fisiografi, iklim cuaca yang ekstrim, dan lain sebagainya. Sebagai contoh dari penelitian sebelumnya terdapat perhitungan tentang kehilangan kapasitas tampungan dari suatu waduk (*reservoir*) tersebut akibat pengendapan sedimen. Pada studi kasus tersebut para peneliti menggunakan data *echo-sounding* yang telah dilakukan pada waduk Triadelphia di Amerika Serikat sejak tahun 1942 (Ortt, Van-Ryswick, & Wells, 2007).

### **2.1.2. Pengertian Banjir**

Banjir adalah sebuah bencana alam yang terjadi disebabkan oleh faktor klimatologi atau faktor iklim seperti keadaan suhu, curah hujan, penguapan, pergerakan angin, dan keadaan alami permukaan bumi (Balek, 1983). Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana, banjir merupakan sebuah peristiwa limpasan air permukaan (*runoff*) yang tinggi dari muka air normal sehingga meluap dari tanggul sungai kemudian menyebabkan adanya genangan rendah di sisi sungai (BNPB, 2011).

Banjir merupakan sebuah peristiwa pada saat kondisi daratan yang umumnya kering berubah menjadi adanya genangan air, hal tersebut dikarenakan curah hujan terus menerus dan kondisi pemetaan wilayah yang berupa dataran rendah hingga cekung. Terjadinya bencana banjir juga disebabkan oleh lemahnya kemampuan infiltrasi tanah, sehingga dapat dikatakan tanah tidak mampu lagi menyerap air. Peristiwa banjir dapat terjadi karena naiknya permukaan air disebabkan intensitas curah hujan yang ekstrim, perubahan suhu, bendungan yang runtuh, pencairan salju yang cepat, dan terhambatnya suatu aliran air di tempat lain (Ligak, 2008). Peningkatan frekuensi banjir di suatu negara terjadi baik secara alami yaitu akibat perubahan musim hujan maupun akibat bertambahnya pemukiman liar di wilayah perkotaan (Chan 1996; Jamaluddin & Sham 1987; Rose & Peter 2001).

### **2.1.3. Jenis – Jenis Banjir**

Curah hujan yang deras ini menyebabkan potensi banjir yang mengancam di setiap daerah di Indonesia. Hampir setiap memasuki musim hujan, terdapat sejumlah wilayah di Indonesia mengalami banjir. Menurut Pusat Kritis Kesehatan Kemenkes RI (2018), banjir dibagi menjadi lima macam sebagai berikut:

- 1) Banjir Bandang, yaitu banjir yang sangat berbahaya karena dapat mengangkut semua objek yang ada. Banjir ini telah memberikan dampak kerusakan yang cukup parah dan peristiwa yang merugikan bagi manusia. Banjir bandang biasanya terjadi akibat gundulnya hutan dan rentan terjadi di daerah pegunungan.
- 2) Banjir Air, merupakan jenis banjir yang sangat sering terjadi. Biasanya banjir ini terjadi akibat meluapnya air sungai, danau atau tanggul. Karena intensitas yang tinggi sehingga air melebihi kapasitas saluran dan meluap ke sisi daratan.
- 3) Banjir Lumpur, adalah banjir yang disebabkan oleh lumpur, berasal dari dalam bumi dan menggenangi daratan. Banjir ini memiliki sifat yang mirip dengan banjir bandang. Lumpur dalam banjir ini bukanlah lumpur biasa, melainkan lumpur yang mengandung bahan kimia berbahaya.
- 4) Banjir Rob (Banjir Laut Air Pasang), adalah banjir yang diakibatkan oleh pasangannya air laut sehingga airnya menggenangi wilayah daratan. Banjir rob umumnya melanda daerah permukiman yang dekat dengan pantai. Selain faktor alam, sejumlah perilaku manusia juga menjadi pemicu banjir rob semakin parah melanda wilayah pesisir.
- 5) Banjir Cileunang, memiliki kemiripan dengan banjir air tetapi banjir cileunang terjadi akibat deras hujan sehingga tidak tertampung.

### **2.1.4. Faktor – Faktor Penyebab Banjir**

Terdapat beragam faktor penyebab terjadinya sebuah bencana banjir. Namun secara umum penyebab terjadinya banjir dapat diklasifikasikan ke dalam 2 kategori, yaitu:

- 1) Penyebab Banjir Secara Alami

Secara alami banjir dapat terjadi karena beberapa faktor sebagai berikut:

- a. Curah hujan, dikarenakan Indonesia termasuk negara iklim tropis sehingga setiap tahun memiliki dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau. Hakikatnya terjadinya musim hujan berada antara bulan Oktober hingga Maret. Sementara itu musim kemarau biasanya berada pada bulan April hingga September. Saat periode penghujan, jika terjadi jumlah curah hujan yang tinggi maka dapat berdampak banjir pada sungai dan apabila melebihi tepi sungai maka akan muncul banjir ataupun genangan.
- b. Pengaruh fisiografi atau geografi, tampilan sungai seperti gambaran aliran, guna dan kemiringan sebuah daerah aliran sungai (DAS), geometrik hidrolis (bentuk penampang seperti lebar, kedalaman, material dasar sungai) dan letak posisi sungai adalah hal-hal yang dapat mengakibatkan terjadinya banjir.
- c. Kapasitas sungai, pengurangan kapasitas aliran pada sungai yang dikarenakan oleh erosi DAS dapat terjadi pengendapan. Adanya erosi tanggul sungai yang banyak terjadi dan sedimentasi di sungai itu dikarenakan tidak dilakukan vegetasi penutup dan adanya penggunaan lahan yang tidak benar.
- d. Kapasitas drainase yang tidak memadai, hampir seluruh wilayah perkotaan di Indonesia tidak memiliki drainase area genangan yang mumpuni. Akhirnya kota-kota tersebut sering menjadi langganan banjir pada saat musim hujan.
- e. Erosi dan sedimentasi, erosi pada DAS berpengaruh terhadap pengurangan kapasitas penampang sungai. Erosi menjadi masalah umum yang terjadi pada sungai-sungai di Indonesia. Besarnya sedimentasi akan mengurangi kapasitas saluran, sehingga timbul genangan dan banjir di sungai.

## 2) Penyebab Banjir Akibat Tindakan Manusia

Banjir akibat tindakan manusia terjadi karena beberapa faktor sebagai berikut:

- a. Penggundulan hutan, tindakan usaha pertanian yang tidak benar, perluasan kota, dan perubahan tata guna lahan dapat bertambahnya masalah banjir karena meningkatnya aliran banjir. Dari persamaan-persamaan yang ada,

perubahan tata guna lahan memberikan kontribusi yang besar terhadap naiknya volume dan kualitas banjir.

- b. Terdapatnya kawasan kumuh di bantaran sungai, perumahan kumuh yang terletak di sepanjang sungai dapat menghambat aliran sungai. Masalah kawasan kumuh dikenal sebagai faktor penting terhadap masalah banjir daerah perkotaan.
- c. Sampah, disiplin masyarakat untuk membuang sampah pada tempat yang ditentukan masih kurang sehingga mereka langsung membuang sampah ke bantaran sungai. Pembuangan sampah di alur sungai dapat meninggikan muka air banjir karena menghalangi aliran sungai.
- d. Bendung dan bangunan air, bendung dan bangunan air seperti pilar jembatan dapat meningkatkan elevasi muka air banjir karena efek aliran balik.
- e. Kerusakan bangunan pengendali banjir, pemeliharaan yang kurang mencukupi dengan bangunan pengendali banjir dapat menimbulkan kerusakan sehingga tidak berfungsi yang kemudian dapat meningkatkan kuantitas banjir.

#### **2.1.5. Hidrologi**

Proses siklus hidrologi yang terus menerus di bumi menjadikan air sebagai sumber daya alam yang dapat diperbaharui sehingga jumlah air di bumi dapat dikatakan selalu ada walaupun semua makhluk hidup membutuhkan air yang banyak untuk memenuhi kebutuhannya. Hidrologi merupakan cabang ilmu yang mendalami mengenai air yang terdapat pada muka bumi yaitu tentang peristiwa, siklus dan pembagiannya, sifat-sifat fisik dan kimianya serta reaksinya terhadap lingkungan tergolong hubungannya dengan kehidupan (R.K.Linsley, Max A. Kohler, Joseph L.H. Paulus, 1982). Perhitungan hidrologi saat ini adalah perhitungan debit banjir yang merupakan pikiran utama dalam merencanakan atau mendesain bangunan air.

Telah diketahui oleh banyak insinyur bahwa pada sebagian besar perencanaan, evaluasi dan monitoring bangunan sipil memerlukan analisis hidrologi sebagai contoh dalam perencanaan, evaluasi serta monitoring sistem jaringan drainase di

suatu perkotaan atau kawasan. Pada penelitian ini analisis hidrologi digunakan untuk mengetahui karakteristik hujan, menelaah hujan rancangan dan analisis debit rancangan. Untuk melengkapi langkah tersebut di atas diperlukan data curah hujan, kondisi tata guna lahan, kemiringan lahan dan koefisien permeabilitas tanah.

### 2.1.6. Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai adalah suatu bentuk batasan lahan yang ditandai oleh pembatas topografi (*topography divide*) untuk menangkap, menampung, dan mengalirkan air hujan ke suatu titik putusan (*outlet*) secara luas diterima sebagai satuan (*unit*) untuk pengelolaan SDA yang terdapat pada DAS (Bejo Slamet, 2006).

Untuk penelitian ini, air hujan yang jatuh menuju wilayah DAS digunakan sebagai batas DAS (*catchment area*) untuk menentukan debit banjir rencana. Terdapat banyaknya stasiun pengamat curah hujan yang dibutuhkan untuk dapat memberikan informasi dengan benar serta cukup mendapatkan analisis intensitas hujan dan waktu berlangsungnya hujan periode ulang. Luas DAS perlu ditentukan untuk sebagai parameter perhitungan hujan wilayah dan debit rencana banjir. Untuk mendapatkan luas DAS digunakan software seperti *Arc-GIS*, *QGIS*, dan *Google Earth*. Terdapat 3 faktor penentuan untuk mengetahui metode yang cocok digunakan dalam analisis intensitas hujan pada DAS sebagai berikut :

#### 1. Luas DAS

Tabel 2.1 Luas DAS

DAS besar (>5000 km <sup>2</sup> )	Metode isohyet
DAS sedang (500 s/d 5000 km <sup>2</sup> )	Metode thiessen
DAS kecil (<500 km <sup>2</sup> )	Metode rata-rata aljabar

Sumber: Suripin, 2004

#### 2. Topografi DAS

Tabel 2.2 Topografi DAS

Pegunungan	Metode rata-rata aljabar
Dataran	Metode thiessen
Berbukit	Metode isohyet

Sumber: Suripin, 2004

### 3. Jaringan-jaring pos penakar hujan dalam DAS

Tabel 2.3 Jaringan-Jaring Pos Penakar Hujan

Jumlah pos penakar hujan cukup	Metode isohyet, thiessen atau rata-rata aljabar dapat dipakai
Jumlah pos penakar hujan terbatas	Metode rata-rata aljabar atau thiessen
Pos penakar hujan tunggal	Metode hujan titik

Sumber: Suripin, 2004

#### 2.1.7. Curah Hujan Rencana

Data curah hujan yang digunakan merupakan curah hujan jangka pendek seperti jarak setiap 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit serta jam-jaman, jika tidak terdapat data curah hujan jangka pendek maka menggunakan data curah hujan harian. Data curah hujan tersebut merupakan data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait. Pada penelitian sekarang data curah hujan yang diperoleh adalah data curah hujan harian. Selanjutnya dianalisis curah hujan harian maksimum rata-rata dengan :

- **Metode Rata-Rata Aljabar** digunakan untuk DAS memiliki luas < 500 km<sup>2</sup>.

Rumus :

$$R = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n} \dots \dots \dots (2.1)$$

keterangan :

R = curah hujan harian maksimum rata-rata (mm)

n = Jumlah stasiun pengamatan

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, ... R<sub>n</sub> = Curah hujan pada stasiun pengamatan (mm)

- **Metode Thiessen** digunakan untuk DAS memiliki luas 500 s/d 5000 km<sup>2</sup>

Rumus :

$$R = \frac{R_1.A_1 + R_2.A_2 + \dots + R_n.A_n}{A_1 + A_2 \dots A_n} \dots \dots \dots (2.2)$$

keterangan :

R = curah hujan harian maksimum rata-rata (mm)

$R_1, R_2, \dots, R_n$  = curah hujan di tiap titik pengamatan satasiun hujan (mm)

- **Metode Isohyet** digunakan untuk DAS memiliki luas  $> 5000 \text{ km}^2$

Rumus :

$$R = \frac{\frac{R_1+R_2}{2} A_1 + \frac{R_2+R_3}{2} A_2 + \dots + \frac{R_n+R_{n+1}}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

R = Curah hujan maksimum rata-rata (mm)

$R_1, R_2, \dots, R_n$  = Curah hujan pada stasiun 1,2,...n (mm)

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = Luas daerah polygon 1,2,...n ( $\text{Km}^2$ )

**2.1.8. Penentuan Parameter Statistik**

Parameter yang digunakan dalam perhitungan analisis frekuensi meliputi parameter nilai rata-rata ( $\bar{X}$ ), simpangan baku (Sd), koefisien kemiringan (Cs), koefisien kurtosis (Ck), dan koefisien variasi (Cv). Perhitungan parameter tersebut didasarkan pada data catatan tinggi hujan harian maksimum, paling sedikit data 10 tahun terakhir. Untuk memudahkan perhitungan proses analisis dilakukan secara matriks dengan menggunakan tabel, sedangkan rumus yang digunakan adalah :

1. Nilai rata-rata (X)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \dots\dots\dots (2.4)$$

2. Standar Deviasi (Sd)

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.5)$$

3. Koefisien Kemiringan (Cs)

$$Cs = \frac{n \sum(Xi-\bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots (2.6)$$

4. Koefisien Kurtosis (Ck)

$$Ck = \frac{1/n \sum(Xi-\bar{X})^4}{1/n \sum((Xi-\bar{X})^2)^2} \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)} \dots\dots\dots (2.7)$$

5. Koefisien Variasi (Cv)

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2.8)$$



dengan keterangan sebagai berikut:

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

X = nilai curah hujan (mm)

n = jumlah data curah hujan

S = deviasi standar curah hujan

Cv = koefisien variasi curah hujan

Cs = koefisien kemencengan curah hujan

Ck = koefisien kurtosis curah hujan

### 2.1.9. Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi curah hujan adalah sebuah hasil dari rangkaian analisis hidrologi yang terdapat hujan rancangan merupakan kemungkinan tinggi hujan yang terjadi dalam periode ulang tertentu. Analisis frekuensi sesungguhnya merupakan prakiraan dalam arti nilai kemungkinan untuk terjadinya suatu peristiwa hidrologi dalam bentuk hujan rancangan yang berfungsi sebagai dasar perhitungan perencanaan hidrologi untukantisipasi setiap kemungkinan yang akan terjadi. Analisis frekuensi ini dilakukan dengan menggunakan teori *probability distribution*, antara lain Distribusi Gumbel, Distribusi Log Pearson Tipe III, Distribusi Normal, dan Distribusi Log Normal (Sri Harto, 1993). Dengan terstruktur perhitungan hujan rancangan dilakukan secara berurutan sebagai berikut :

1. Penentuan Paramater Statistik
2. Pemilihan Jenis Sebaran
3. Perhitungan Hujan Rancangan

### 2.1.10. Pemilihan Jenis Distribusi

Penetapan jenis sebaran akan digunakan untuk analisis frekuensi kemudian akan dilakukan dengan beberapa asumsi menurut Sri Harto (1993), antara lain :

- a) Jenis sebaran Normal, apabila  $Cs = 0$  dan  $Ck = 3$ .
- b) Jenis sebaran Gumbel, apabila  $Cs = 1,14$  dan  $Ck = 5,40$ .
- c) Jenis sebaran Log Pearson type III, apabila  $Cs (\ln x) > 0$  dan  $Ck (\ln x) =$

$$11/2(Cs(\ln x)^2)^2 + 3.$$

d) Jenis sebaran Log Normal, apabila  $Cs(\ln x) = 0$  dan  $Ck(\ln x) = 3$ .

Tabel 2. 4 Pemilihan Jenis Distribusi yang Sesuai

Jenis Distribusi	Syarat
Normal	$Cs \approx 0$
	$Ck = 3$
Gumbel Tipe I (Normal)	$Cs \leq 1,1396$
	$Ck \leq 5,4002$
Log Pearson Tipe III (Log)	$Cs \neq 0$
Log Normal (Log)	$Cs \approx 3Cv + Cv^2 = 3$
	$Ck = 5,383$

(Sumber : Sri Harto, 1993)

Berdasarkan hasil perhitungan parameter statistik tersebut dimana didapat harga CS dan CK maka dipilih persamaan distribusi untuk diuji sebagai perbandingan.

#### 1. Distribusi Normal dan Gumbel Tipe I

Perhitungan distribusi normal dan gumbel tipe 1 menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$X = \bar{X} + k \cdot S \dots\dots\dots (2.9)$$

keterangan :

- X = Besar peluang periode tertentu
- $\bar{X}$  = Nilai rata-rata X
- k = Nilai karakteristik dari distribusi
- S = Deviasi standar

#### 2. Distribusi Log Pearson Tipe III dan Log Normal

Perhitungan distribusi log pearson tipe III dan log normal menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Y = \bar{Y} + k \cdot S \dots\dots\dots (2.10)$$

keterangan :

- Y = Nilai logaritmik dari X
- $\bar{Y}$  = Nilai rata-rata dari Y
- k = Nilai karakteristik dari distribusi
- S = Deviasi standar

**2.1.11. Uji Cara Grafis**

Setelah menganalisis dengan jenis sebaran yang telah memenuhi maka perlu diperiksa distribusi probabilitas sesuai dengan rangkaian data hidrologi yaitu digambar pada kertas probabilitas. Skala ordinat dan absis dari kertas probabilitas dibuat sedemikian rupa sehingga data yang digambarkan diharapkan tampak mendekati garis lurus. Berdasar data yang sudah digambarkan tersebut kemudian dibuat garis teoritis yang mendekati titik data (Triatmodjo, 2008).

$$P(X_m) = \frac{m}{n+1} \dots\dots\dots (2.11)$$

keterangan :

- P(X<sub>m</sub>) = Data yang telah dirangking dari besar ke kecil atau sebaliknya
- m = Nomor urut
- n = Jumlah Data

**2.1.12. Uji Kecocokan Sebaran**

Untuk mendapatkan kecocokan sebaran distribusi frekuensi yang telah dihitung dari sampel data terhadap fungsi distribusi probabilitas yang diperkirakan dapat menggambarkan distribusi frekuensi tersebut maka diperlukan pengujian parameter. Pengujian parameter yang tersedia adalah :

### 1. Uji Smirnov Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov Kolmogorov, merupakan uji kecocokan “*non parametric*”, karena tidak memakai fungsi distribusi tertentu. Prosedurnya dalam Soewarno, 1995 dengan sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{P_{max}}{P(x)} - \frac{P(xi)}{\Delta cr} \dots \dots \dots (2.12)$$

Prosedur uji kecocokan Smirnov Kolmogorof yaitu :

- a) Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang masing-masing data tersebut.
- b) Tentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).
- c) Dari kedua nilai peluang tersebut tentukan selisih terbesarnya antara peluang dan pengamatan dengan peluang teoritis.
- d) Berdasarkan tabel nilai kritis (Smirnov Kolgomorov *test*) pada tabel 2.2, tentukan harga  $D_0$

Apabila  $D < D_0$  maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, apabila  $D > D_0$  maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

Tabel 2. 5 Nilai kritis  $D_0$  Uji Smirnov-Kolmogorov

N	a			
	0.2	0.1	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.3	0.34	0.4
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32

N	a			
	0.2	0.1	0.05	0.01
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.2	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.2	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
N>50	1.07/N <sup>0.5</sup>	1.22/N <sup>0.5</sup>	1.36/N <sup>0.5</sup>	1.63/N <sup>0.5</sup>

(Sumber : Soewarno, 1995)

## 2. Uji Chi Kuadrat

- Uji *Chi Square* dilakukan untuk kesesuaian distribusi data pengamatan terhadap data teoretis kearah vertikal. Rumus *Chi Square* ( $X^2$ ) sebagai berikut (Triatmodjo, 2009):

$$X^2_h = \sum_{i=1}^k \frac{(F_e - F_t)^2}{F_t} \dots\dots\dots (2.13)$$

keterangan :

$X^2_h$  = Parameter chi kuadrat terhitung

$F_e$  = Frekuensi pengamatan kelas j

$F_t$  = Frekuensi teoritis kelas j

k = Jumlah kelas

Derajat bebas  $d^k$  dirumuskan sebagai berikut (Soetopo dan Limantara, 2017):

- $d^k = k-1$  maka frekuensi dihitung tanpa memperkirakan parameter dari sampel.
- $d^k = k-1-m$  maka frekuensi dihitung dengan memperkirakan m parameter dari sampel. Dalam suatu derajat nyata tertentu, yang sering diambil sebesar 5%. Derajat kebebasan dapat dikalkulasi dengan persamaan berikut (Triatmodjo, 2009):

$$D_k = K - (P+1) \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

$D_k$  = derajat kebebasan

P = banyaknya kelas

P = jumlah parameter, untuk uji Chi Kuadrat adalah 2

Tabel 2. 6 Nilai kritis Untuk Distribusi Chi-Kuadrat

$d^k$	$\alpha$ derajat kepercayaan							
	$t_{0,995}$	$t_{0,99}$	$t_{0,975}$	$t_{0,95}$	$t_{0,95}$	$t_{0,025}$	$t_{0,01}$	$t_{0,005}$
1	0,039	0,016	0,098	0,393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,100	0,201	0,506	0,103	5,991	0,738	9,210	10,597
3	0,717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,884	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,773	46,979	50,892	53,672

(Sumber :Limantara L.M., 2018)

### 2.1.13. Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman curah hujan per waktu lamanya hujan. Ciri umum hujan yaitu semakin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung semakin tinggi dan semakin besar periode ulangnya maka semakin tinggi juga intensitasnya. Apabila data hujan jangka pendek tidak ditemukan, maka intensitas hujan dapat dihitung dengan Persamaan Mononobe.

$$I = \frac{R^{24}}{24} \left[ \frac{24}{tc} \right]^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (2.15)$$

dengan keterangan,

- I = intensitas hujan (mm / jam)
- R = curah hujan maksimum dalam sehari (mm)
- tc = lamanya hujan (jam)

### 2.1.14. Hidrograf Satuan Sintesis (HSS)

Hidrograf Satuan Sintesis (HSS) ialah suatu hidrograf satuan turunan yang berdasarkan data sungai dengan DAS yang sama atau DAS terdekat tetapi memiliki sifat yang sama. Jika kekurangan data hujan dan data debit maka penurunan hidrograf satuan sebuah DAS dilakukan dengan metode sintesis sehingga hasil akhirnya disebut HSS (I Made Kamiana, 2011). Berikut ada beberapa metode untuk menurunkan hidrograf banjir :

#### 1. Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu

Terdapat Persamaan umum HSS Nakayasu antara lain :

$$Q_p = \frac{C.A.R_0}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$T_p = t_g + 0,8 t_r \dots\dots\dots (2.17)$$

$$t_g = 0,21 \times L^{0,7} \quad (L < 15 \text{ Km}) \dots\dots\dots (2.18)$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 \times L \quad (L > 15 \text{ Km}) \dots\dots\dots (2.19)$$

$$T_{0,3} = \alpha \times t_g \dots\dots\dots (2.20)$$

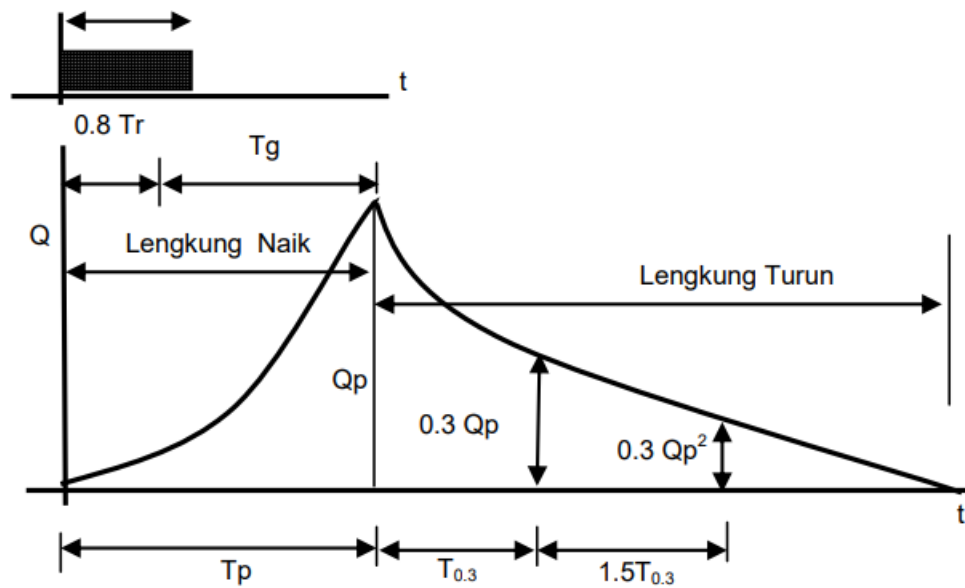
$$Q_t = \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \times Q_p \dots\dots\dots (2.21)$$

keterangan :

- Qp = debit puncak banjir (m<sup>3</sup> /det)
- C = koefisien pengaliran (=1)
- R0 = hujan satuan (mm)
- A = luas DAS (km<sup>2</sup> )
- Tp = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)
- T<sub>0,3</sub> = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit,dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak
- tg = waktu konsentrasi (jam)
- tr = satuan waktu hujan, diambil 1 jam
- α = parameter hidrograf, bernilai antara 1.5 – 3.5
- Qt = debit pada saat t jam (m<sup>3</sup> /det)
- L = panjang sungai (m).

Contoh gambar hidrograf banjir metode nakayasu yaitu hubungan antara waktu dengan debit puncaknya tampak pada Gambar 2.1





Gambar 2. 1 Model Grafik Hidrograf Nakayasu

Persamaan dalam menentukan nilai kurva pada grafik HSS Nakayasu seperti pada Gambar 2.1 sebagai berikut :

- a) Keadaan kurva naik pada selang waktu  $0 \leq t \leq T_p$

$$Q = Q_p \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \dots\dots\dots (2.22)$$

- b) Keadaan kurva turun pada selang waktu  $T_p \leq t \leq (T_p + T_{0,3})$

$$Q = Q_p \cdot 0,3 \left(\frac{t-T_p}{T_{0,3}}\right) \dots\dots\dots (2.23)$$

- c) Keadaan kurva turun pada selang waktu  $(T_p + T_{0,3}) \leq t < (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q = Q_p \cdot 0,3 \frac{[(t-T_p)+(0,5T_{0,3})]}{(1,5T_{0,3})} \dots\dots\dots (2.24)$$

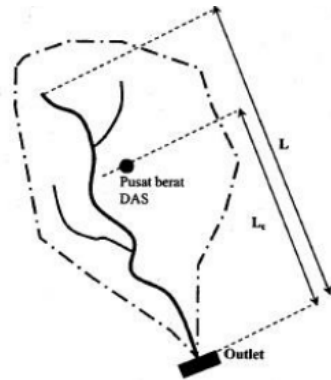
- d) Keadaan kurva turun pada selang waktu  $t \geq (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q = Q_p \cdot 0,3 \frac{[(t-T_p)+(1,5T_{0,3})]}{(2T_{0,3})} \dots\dots\dots (2.25)$$

## 2. Hidrograf Satuan Sintesis Snyder

Pada awal tahun 1938, Amerika Serikat telah menemukan rumus empiris dengan koefisien-koefisien empiris yang menyatukan unsur-unsur hidrograf

satuan dengan sifat daerah pengaliran. Unsur-unsur hidrograf dihubungkan seperti pada Gambar 2.2 :



Gambar 2. 2 Letak L dan Lc pada suatu DAS

(Sumber : I Made Kamiana, 2011)

Berdasarkan unsur-unsur yang ada tersebut, Snyder merancang rumus-rumusnya antara lain :

$$t_p = C_t(L.L_c) \dots\dots\dots (2.26)$$

$$t_r = \frac{t_p}{5,5} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$Q_p = 2,78 \frac{C_p.A}{t_p} \dots\dots\dots (2.28)$$

$$T_b = 72 + 3t_p \dots\dots\dots (2.29)$$

dimana :

$t_p$  = Waktu mulai titik berat hujan sampai debit puncak (jam)

$t_r$  = Lama curah hujan (jam)

$Q_p$  = Debit maksimum total

$T_b$  = Waktu dasar hidrograf

Koefisien – koefisien  $C_t$  dan  $C_p$  harus dikerjakan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

a) Keterlambatan DAS (*Basin Lag*)

$$t_p = C_t(L.L_c)^{0,3} \dots\dots\dots (2.30)$$

keterangan :

$C_t$  = Koefisien yang diturunkan dari DAS yang memiliki data pada daerah yang sama

b) Menghitung debit puncak per satuan luas dari hidrograf satuan standar

$$q_p = \frac{2,75 \cdot C_p}{t_p} \dots\dots\dots (2.31)$$

keterangan :

$C_p$  = Koefisien yang diturunkan dari DAS yang memiliki data pada daerah yang sama

Nilai L dan Lc didapat dari peta DAS untuk menghitung  $C_t$  dan  $C_p$  pada DAS yang terukur. Dari hidrograf satuan yang diturunkan bisa ditemukan durasi efektif  $t_R$  dalam jam, kelambatan DAS  $t_{pR}$  dalam jam. Jika diketahui :

$$t_p = 5,5 t_r$$

$$t_r = t_R$$

$$t_p = t_{pR} \text{ dan } q_p = q_{pR}$$

Bila  $t_{pR}$  jauh dari  $5,5 t_r$ , maka kelambatan DAS standar adalah :

$$t_p = t_{pR} + \frac{t_r - t_{pR}}{4} \dots\dots\dots (2.32)$$

Juga persamaan 2.22 dan 2.23 diselesaikan untuk memperoleh nilai  $t_r$  dan  $t_p$ . Nilai  $C_t$  dan  $C_p$  lalu dihitung menggunakan persamaan 2.26 dan 2.27.

Lamanya hujan efektif  $t_r' = t_p/5,5$  yang mana  $t_r$  diasumsi 1 jam. Jika  $t_r' > t_r$  (asumsi), dilakukan koreksi pada  $t_p$

$$t_p' = t_p + 0,25(t_r' - t_r) \dots\dots\dots (2.33)$$

$$T_p = t_p' + \frac{t_r}{2}$$

maka :

$$T_p = t_p' + \frac{t_r}{2} \dots\dots\dots (2.34)$$

Jika  $t_r' < t_r$  (asumsi), maka :

$$T_p = t_p + \frac{t_r}{2} \dots\dots\dots (2.35)$$

Menentukan grafik hubungan antara  $Q_p$  dan  $t$  (UH) berdasarkan persamaan

Alexseyev sebagai berikut :

$$Q = Y \cdot Q_p \dots\dots\dots (2.36)$$

dimana :

$$Y = 10^{-a} \frac{(1-x)^2}{x} \dots\dots\dots (2.37)$$

$$X = \frac{t}{T_R} \dots\dots\dots (2.38)$$

$$a = 1.32\lambda^2 + 0,15\lambda + 0,045 \dots\dots\dots (2.39)$$

$$\lambda = \frac{(Q_p \cdot T_R)}{(h \cdot A)} \dots\dots\dots (2.40)$$

keterangan :

Q = Debit dengan periode hidrograf

Y = Perbandingan debit periode hidrograf dengan debit puncak

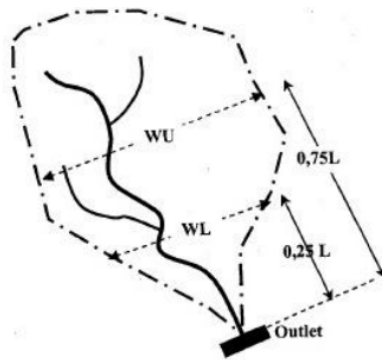
X = Perbandingan waktu periode hidrograf dengan waktu sampai puncak banjir

Setelah  $\lambda$  dan  $a$  dihitung, maka untuk masing-masing nilai  $Y$  dapat dihitung (dengan membuat tabel), dari nilai-nilai diatas didapat  $t = X \cdot T_p$  dan  $Q = Y \cdot Q_p$ , kemudian dibuat grafik hidrograf satuan.

### 3. Hidrograf Satuan Sintetis Gamma I

Tinjauan sifat dasar Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Gamma I merupakan hasil penelitian dari 30 buah DAS di Pulau Jawa. Sifat-sifat DAS dalam menggunakan metode HSS Gamma I sebagai berikut :

- a) Faktor sumber atau *source factor* (SF) adalah perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat satu dengan jumlah panjang sungai semua tingkat
- b) Frekuensi sumber atau *source frequency* (SN) adalah perbandingan antara jumlah bagian sungai tingkat satu dengan bagian sungai semua tingkat
- c) Faktor simetri atau *symmetry factor* (SIM) merupakan hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas DAS sebelah hulu (RUA)
- d) Faktor lebar atau *width factor* (WF) adalah perbandingan antara lebar DAS yang diukur dari titik sungai dengan jarak  $3/4 L$  dan lebar DAS yang diukur dari titik sungai dengan jarak  $1/4 L$  mulai titik kontrol (*outlet*)



Gambar 2. 3 Lebar DAS 0,75L (WU) dan 0,25L (WL) dari outlet

(Sumber : I Made Kamiana, 2011)

- e) Luas DAS sebelah hulu (*relative upper catchment area*) yaitu perbandingan antara luas DAS sebelah garis hulu yang ditarik tegak lurus pada garis hubung dengan titik kontrol (*outlet*) pada titik di sungai yang terdekat di pusat berat DAS

Rumus-rumus yang digunakan dalam metode HSS Gamma I antara lain :

- a) Menghitung waktu puncak HSS Gamma I (TR) :

$$TR = 0,43 \left( \frac{L}{100SF} \right)^3 + 1,0665SIM + 1,277 \dots \dots \dots (2.41)$$

keterangan :

TR = waktu naik (jam)

L = panjang sungai induk (Km)

SF = faktor sumber

SIM = faktor simetri

- b) Menghitung debit puncak banjir HSS Gamma I ( $Q_p$ ) :

$$Q_p = 0,1836^{A0,5884} JN^{0,2381} t_r^{-0,4008} \dots \dots \dots (2.42)$$

keterangan :

$Q_p$  = debit puncak ( $m^3/detik$ )

JN = jumlah pertemuan sungai

- c) Menghitung waktu dasar pada metode HSS Gamma I (TB) :

$$TB = 27,4132t_r^{0,1457} S^{-0,0986} SN^{0,7344} RUA^{0,2574} \dots\dots\dots (2.43)$$

keterangan :

S = landai sungai rata-rata

SN = frekuensi sumber

RUA = luas relatif DAS sebelah hulu (Km<sup>2</sup>)

d) Menghitung koefisien tampungan (K) pada HSS Gamma I :

$$K = 0,5671A^{0,1798} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452} \dots\dots\dots (2.44)$$

keterangan :

K = koefisien tampungan (jam)

A = luas DAS (Km<sup>2</sup>)

S = landai sungai rata-rata

SF = faktor sumber

D = kerapatan jaringan kuras

e) Menghitung aliran dasar sungai :

$$Q_B = 0,4751A^{0,6444} D^{0,9430} \dots\dots\dots (2.45)$$

keterangan :

$Q_B$  = aliran dasar (m<sup>3</sup>/detik)

A = luas DAS (Km<sup>2</sup>)

D = kerapatan jaringan kuras (Km/Km<sup>2</sup>)

**2.1.15. Analisis Debit Banjir Rencana Metode Rasional**

Metode rasional biasa digunakan untuk luas daerah aliran sungai sekitar kurang dari atau sama dengan 60 km<sup>2</sup> (≤ 60 km<sup>2</sup>).

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots (2.46)$$

dimana :

- Q = debit maksimum ( $m^3/detik$ )  
C = koefisien limpasan (*run off*) air hujan  
I = intensitas hujan (mm/jam)  
A = luas daerah pengaliran ( $km^2$ )

Dari beragam metode perhitungan debit banjir rencana kemudian dipilih yang paling cocok dengan standar desain dan saluran drainase berdasarkan “Pedoman Drainase Perkotaan dan Standar Desain Teknis” seperti pada tabel 2.7 sebagai berikut :

Tabel 2. 7 Kriteria Desain Hidrologi Sistem Drainase Perkotaan

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

(Sumber : Dr.Ir.Suripin, M.Eng)

Koefisien limpasan air hujan (C) diambil berdasarkan segala sesuatu penutup lahan yang ada pada lokasi studi untuk penghitungan debit rasional. Harga C mengikuti tabel 2.8 Koefisien Limpasan untuk Metode Rasional McGuen, 1989.

Tabel 2. 8 Koefisien Limpasan untuk Metode Rasional

Deskripsi Lahan / Karakter	
Permukaan	Koefisien Aliran, C
Business	
Perkotaan	0,70 - 0,95
Pinggiran	0,50 - 0,70
Perumahan	
Rumah Tinggal	0,30 - 0,50
Multiunit, Terpisah	0,40 - 0,60
Multiunit, Tergabung	0,60 - 0,75

	Perkampungan	0,25 - 0,40
	Apartemen	0,50 - 0,70
Industri		
	Ringan	0,50 - 0,80
	Berat	0,60 - 0,90
Perkerasan		
	Aspal dan Beton	0,70 - 0,95
	Batu bata, Paving	0,50 - 0,70
Atap		0,75 - 0,95
Halaman, Tanah Berpasir		
	Datar 2%	0,05 - 0,10
	Rata-Rata, 2%-7%	0,10 - 0,15
	Curam, 7%	0,15 - 0,20
Halaman, Tanah Berat		
	Datar, 2%	0,13 - 0,17
	Rata-Rata, 2%-7%	0,18 - 0,22
	Curam, 7%	0,25 - 0,35
Halaman Kereta Api		0,10 - 0,35
Taman Tempat Bermain		0,20 - 0,35

(Sumber: McGuen, 1989)

### 2.1.16. Periode Ulang

Berbagai macam bangunan air memerlukan perhitungan hidrologi yaitu bagian dari perencanaan bangunan-bangunan tersebut. Penentuan periode ulang banjir rancangan untuk bangunan air adalah sebuah kasus dengan sangat bergantung pada analisa parameter statistik yang berasal urutan peristiwa banjir.

Tabel 2. 9 Nilai Kala Ulang Untuk Bangunan di Sungai

Jenis Bangunan	Kala Ulang
Bendung sungai besar sekali	100
Bendung sungai sedang	50
Bendung sungai kecil	20
Tanggul sungai besar daerah penting	25
Tanggul sungai kecil daerah kurang penting	10
Jembatan jalan penting	25
Jembatan jalan tidak penting	10

(Sumber : Srimoemi Doelchomid, 1987)



## 2.1.17. Perencanaan Saluran Drainase

### 1. Kapasitas Saluran

Kapasitas saluran diartikan sebagai debit maksimum yang mampu dilewatkan oleh setiap penampang sepanjang saluran. Kapasitas saluran ini, digunakan sebagai pedoman untuk menyatakan apakah debit yang direncanakan tersebut dapat untuk ditampung oleh saluran saat kondisi eksisting tanpa terjadi peluapan air (Anggrahini,2005). Kapasitas saluran dihitung berdasarkan rumus :

$$Q = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times l^{\frac{1}{2}} \times A \dots\dots\dots (2.47)$$

Keterangan :

- Q = Debit hidrolika (m<sup>3</sup>/s)
- n = Koefisiensi kekasaran manning
- R = Jari-jari hidrolis saluran (m)
- l = Kemiringan saluran
- A = Luas penampang saluran (m<sup>2</sup>)

### 2. Koefisien Kekasaran

Koefisien kekasaran ditentukan oleh material saluran, jenis sambungan, material padat yang terangkut dan yang tertinggal dalam saluran, akar tumbuhan, alinyemen, lapisan penutup (pipa), umur saluran dan aliran lateran yang menghalangi aliran.

Koefisien kekasaran pada kenyataannya beragam, hal tersebut dilihat dari koefisien bentuk kekasaran penampang yang ditetapkan oleh manning seperti terlihat pada tabel 2.10 sebagai berikut:

Tabel 2. 10 *Koefisien Kekasaran Sungai*

No	Tipe Saluran dan Jenis Bahan	Minimum	Normal	Maksimum
1	Beton			
	- Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0.01	0.011	0.013

No	Tipe Saluran dan Jenis Bahan	Minimum	Normal	Maksimum
	- Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran/gangguan	0.011	0.013	0.014
	- Beton dipoles	0.011	0.012	0.014
	- Saluran pembuang dengan bak control	0.013	0.015	0.014
2	Tanah, lurus dan seragam			
	- Bersih baru	0.016	0.018	0.02
	- Bersih telah melapuk	0.018	0.022	0.025
	- Berkrikil	0.022	0.025	0.03
	- Berumput pendek, sedikit Tanaman	0.022	0.027	0.033
3	Saluran Alam			
	- Bersih lurus	0.025	0.03	0.033
	- Bersih , berkelak-kelok	0.033	0.04	0.045
	- Banyak tanaman Pengganggu	0.05	0.07	0.08
	- Dataran banjir berumput pendek – tinggi	0.025	0.03	0.035
	- Sauran di belukar	0.035	0.05	0.07

(Sumber : Ven Te Chow, 1998)

### 3. Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan suatu saluran adalah jarak tegak lurus dari puncak tanggul sampai ke permukaan air pada kondisi perencanaan.

Tabel 2. 11 *Tinggi jagaan minimum untuk saluran dari tanah dan pasangan*

Komponen	Tinggi jagaan (m)
Saluran tersier	0,10 - 0,20
Saluran sekunder	0,20 - 0,40
Saluran primer	0,40 - 0,60
Sungai ( <i>Basin drainage</i> )	1,00

(Sumber : Suyono Sosrodarsono, 1985)

### 2.1.18. Fasilitas Drainase Perkotaan

#### 1. *Reservoir dan Long Storage*

Pada sistem drainase perkotaan pada daerah muara sungai dengan kondisi pemetaan wilayah rendah dan datar banyak ditemui situasi muka air di hilir sistem drainase bervariasi. Saat muka air di pembuangan akhir sistem drainase kawasan melebihi muka air normal *downstream* sistem drainase maka air tidak dapat mengalir secara normal. Untuk mengatasi masalah tersebut ditemukan suatu alternatif untuk membuat waduk dan kolam tampungan (*reservoir*) atau memanfaatkan saluran sebagai penampungan air sementara (*long storage*).

Volume tampungan dapat dicari dengan menentukan hubungan antara aliran masuk (*inflow*), kapasitas pompa dan aliran keluar (*outflow*). Kapasitas tampungan dinyatakan dalam persamaan kontinuitas dalam bentuk sebagai berikut:

$$Q_i - Q_0 = \frac{dV}{dt} \dots \dots \dots (2.48)$$

Dimana :

- Q<sub>i</sub> = laju aliran masuk, m<sup>3</sup>/dt,
- Q<sub>0</sub> = laju aliran keluar atau kapasitas pompa, m<sup>3</sup>/dt,
- V = volume tampungan, m<sup>3</sup> dan
- t = waktu, detik.

### 2.1.19. Permodelan Hidrolika Reservoir dengan HEC-RAS

#### 1. **Data Yang Dibutuhkan**

HEC-RAS merupakan sebuah aplikasi yang dapat diperoleh secara mudah dan bersifat gratis untuk mengerjakan analisa suatu aliran sungai dengan asumsi *steady* dan *unsteady*, kemudian akan mendapatkan desain setelah dilakukan analisis tersebut. Dalam pengerjaan analisis hidrolika, perlu digunakannya *software* HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center – River Analysis System*). Data yang harus dimasukkan untuk melakukan analisis hidrolika menggunakan aplikasi HEC-RAS sebagai berikut :

- a) Data geometri saluran *reservoir*, berupa koordinat x dan y untuk penampang memanjang dan penampang melintang.
- b) Koefisien *Manning*
- c) Data aliran (debit tiap titik penampang)

Hasil analisis program bantu HEC-RAS adalah:

- a) Elevasi muka air sepanjang aliran
- b) Profil aliran yang ditinjau

## 2. Konsep Perhitungan dalam HEC-RAS

Pada *software* HEC-RAS, penampang saluran dikerjakan terlebih dahulu agar luas penampang dapat dihitung. Untuk mendukung fungsi saluran sebagai penghantar aliran, maka penampang saluran terbagi atas sejumlah bagian. Perkiraan yang dilakukan HEC-RAS adalah membagi area penampang berdasarkan nilai *n* (koefisien kekasaran *manning*). Setiap aliran yang terjadi pada bagian penampang akan dihitung menggunakan persamaan *manning* :

$$Q = KS^{1/2} \dots \dots \dots (2.49)$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \dots \dots \dots (2.50)$$

Keterangan:

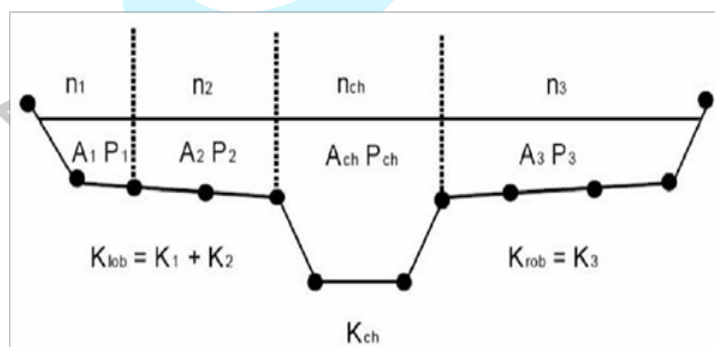
K = nilai pengantar aliran pada unit

n = koefisien kekasaran manning

A = luas bagian penampang

R = jari-jari hidrolis

Perhitungan nilai K dapat dihitung berdasarkan kekasaran manning yang dimiliki oleh bagian penampang tersebut, seperti terlihat pada gambar:



Gambar 2. 4 Contoh Penampang Saluran dalam HEC-RAS (Istiarto, 2014)

Setelah penampang ditentukan maka HEC-RAS akan menganalisis profil aliran, HEC-RAS menggunakan dua jenis asumsi, yaitu aliran steady dan unsteady. Aliran

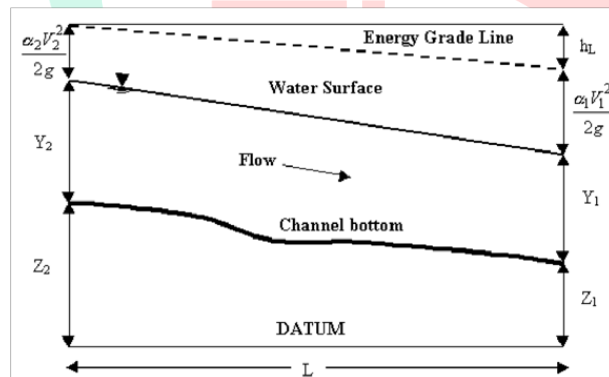
*steady* adalah aliran yang parameter alirannya, seperti kecepatan (*v*) tidak berubah selama selang waktu tertentu, sedangkan aliran *unsteady* adalah aliran yang parameter alirannya berubah-ubah selama selang waktu tertentu. Konsep dasar perhitungan yang digunakan dalam aliran *steady* dan *unsteady* adalah:

a) Persamaan Energi

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots\dots\dots (2.51)$$

Keterangan:

- Z1, Z2 = elevasi dasar saluran
- Y1, Y2 = tinggi air pada saluran
- V1, V2 = kecepatan aliran
- $\alpha_1, \alpha_2$  = koefisien kecepatan
- $h_e$  = kehilangan energi (*energy head loss*)



Gambar 2. 5 Penggambaran Persamaan Energi Pada Saluran Terbuka (Triadmodjo, 1993)

Nilai  $h_e$  didapat dengan persamaan :

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1}{2g} \right| \dots\dots\dots (2.52)$$

Keterangan:

- L = jarak antara dua penampang
- $S_f$  = kemiringan aliran
- C = koefisien kehilangan energi (penyempitan, pelebaran atau belokan)

b) Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \sum Q_m - \sum Q_{out} \dots\dots\dots (2.53)$$

Terjadi perbedaan hasil pada aliran steady dan unsteady. Pada aliran steady, debit yang masuk akan sama dengan debit yang keluar, sedangkan pada aliran unsteady, debit yang masuk akan berbeda dengan debit yang keluar.

c) Persamaan Momentum

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \dots\dots\dots (2.54)$$

## 2.2. Studi terdahulu

### 2.2.1. Analisis Kapasitas Penampang Banjir Kanal Barat Kota Semarang Untuk Perencanaan Pengendalian Banjir

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Reza Juan Prakasa, Ridho Anggoro dkk, 2013) telah melakukan perencanaan pengendalian banjir dikarenakan tidak memadainya kapasitas penampang sungai untuk mengalirkan debit yang tersedia, diketahui besar debit rencana (Q50) DAS Banjir Kanal Barat menggunakan *software* HEC-HMS berkisar 751,9 m<sup>3</sup>/s. Dengan mengetahui debit rencana tersebut maka dapat dilakukan analisis hidrolika sungai memakai *software* HEC-RAS yang didapatkan bahwa adanya limpasan sepanjang 8 Km (WF 0 – WF 97). Dikarenakan kondisi lapangan yang terbatas maka direncanakan menggunakan 2 profil sungai yaitu pada daerah hilir menggunakan penampang tunggal sedangkan penampang ganda digunakan pada daerah hulu, kemudian keduanya direncanakan menggunakan rumus *manning*.

### 2.2.2. Analisis Banjir Kelurahan Tanjung Duren Selatan

Penelitian ini dilakukan oleh (Natanael Tadeus Sutanto & Wati Asriningsih Pranoto, 2020) dengan menganalisis dari curah hujan, kapasitas saluran, kondisi saluran, serta topografi di Kelurahan Tanjung Duren Selatan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat faktor penyebab terjadinya banjir pada wilayah tersebut serta solusinya. Data curah hujan tersebut diolah uji kecocokannya menggunakan

metode *Chi-Square* dan *Kolmogorov-Smirnov*. Kemudian dilakukan analisis intensitas curah hujan menggunakan rumus Mononobe. Akhirnya, diperlukan analisis kapasitas saluran eksisting dengan menggunakan rumus *Manning* nantinya akan dibandingkan dengan debit rencana yang dihitung menggunakan metode Rasional. Dapat disimpulkan bahwa banjir di Kelurahan Tanjung Duren Selatan dikarenakan oleh kurangnya kapasitas saluran eksisting, kontur, dan sampah yang telah menghalangi aliran air.

### **2.2.3. The Influence of Land Use Change and Spatial Discretization of Middle-Lower Ciliwung Sub-Watershed on Flood Hydrograph at Manggarai Weir : a Preliminary Study**

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Nonik Eko Wahyuning Tiyas & Dwita Sutjningsih, 2018) yang berlokasi pada Sungai Ciliwung dikarenakan wilayah Jakarta adalah daerah dataran dimana 40% wilayahnya berada pada bawah permukaan laut sehingga sering terjadi banjir. Menurut peneliti, salah satu penyebab banjir tersebut karena meluapnya Sungai Ciliwung. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengenal pengaruh perubahan penggunaan lahan dengan memerhatikan diskritisasi spasial dan karakteristik riparian Sub DAS Ciliwung Tengah-Hilir terhadap hidrograf banjir di Bendung Manggarai. Pada penelitian ini diambil DAS Ciliwung yang memiliki nilai yang cukup strategis di Indonesia lantaran Sungai Ciliwung merupakan salah satu dari tiga belas sungai yang melintasi pada ibukota. Para peneliti menemukan terdapat perubahan hidrograf banjir dikarenakan urbanisasi dan pertumbuhan penduduk yang bertumbuh pesat sehingga meningkat pula daerah kedap air di DAS Ciliwung. Saat pengolahan data, peneliti menggunakan bantuan *software* HEC-GeoHMS versi 10.1 untuk memperkirakan pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap hidrograf banjir menggunakan metode diskritisasi spasial dapat memberikan hasil hidrograf banjir yang lebih signifikan dengan kondisi eksisting.

#### **2.2.4. Relationship Between Extreme Rainfall and Design Flood-Discharge of The Ciliwung River**

Pada penelitian yang dilakukan oleh (M.Farid, dkk, 2021) yang dilakukan pada Sungai Ciliwung bertujuan untuk menganalisis kecenderungan curah hujan di berbagai daerah kerangka waktu dan pengaruhnya terhadap debit banjir. Peneliti melakukan studi kasus ini dikarenakan banjir di Jakarta yang terjadi hampir setiap tahun dikarenakan pengendalian banjir yang tidak memadai sampai prediksi banjir, sistem drainase yang tidak mumpuni serta sampah yang menyumbat pada drainase. Para peneliti juga menyebutkan bahwa salah satu faktor penyebab terjadinya banjir ialah meningkatnya curah hujan. Dengan perubahan curah hujan tersebut dapat mempengaruhi karakteristik alairan sungai. Metode yang digunakan oleh para peneliti adalah menggunakan tren curah hujan dengan setiap periode 15 tahun yaitu data hujan dari tahun 1985 hingga 2019. Hasil akhirnya, berdasarkan analisis curah hujan ekstrim periode 1995-2009 dan 2005-2019 dibandingkan dengan baseline adalah meningkat pada semua periode ulang yaitu persentase peningkatannya 3-10% dan 5-16% setiap masing-masing.

#### **2.2.5. Analisis Hidrograf Banjir Pada DAS Boang**

Penelitian yang disusun oleh (M. Agung Nugraha, 2014) pada Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan Vol.2 No. 4 ini ditinjau pada Sungai Boang yang merupakan salah satu anak Sungai Musi yang berfungsi sebagai jaringan drainase Kota Palembang yang dimana sub DAS Boang termasuk dalam kawasan drainase. Menurut peneliti, Sub DAS Boang sering terjadi rawan banjir yang terdapat beberapa titik lokasi genangan yang harus menjadi prioritas untuk ditangani. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk analisis debit puncak rancangan menggunakan metode rasional pada periode ulang tertentu dan membandingkannya dengan metode HSS Nakayasu. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah menggunakan metode studi pustaka dan mengerjakan analisis terhadap debit pada DAS Boang dengan periode ulang 2, 5, 10, dan 25 tahun dengan metode rasional dan HSS Nakayasu. Hasil akhirnya, perhitungan debit rancangan banjir pada DAS boang menggunakan metode rasional diperoleh dengan debit puncak rancangan terbesar adalah 75,02 m<sup>3</sup>/detik untuk periode ulang 25 tahun pada waktu puncak 1,79 jam sedangkan hasil



debit rancangan dari metode HSS Nakayasu lebih kecil yaitu  $69,95 \text{ m}^3/\text{detik}$  untuk periode ulang 25 tahun pada waktu puncak 0,9 jam.





*(halaman ini sengaja dikosongkan)*