

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

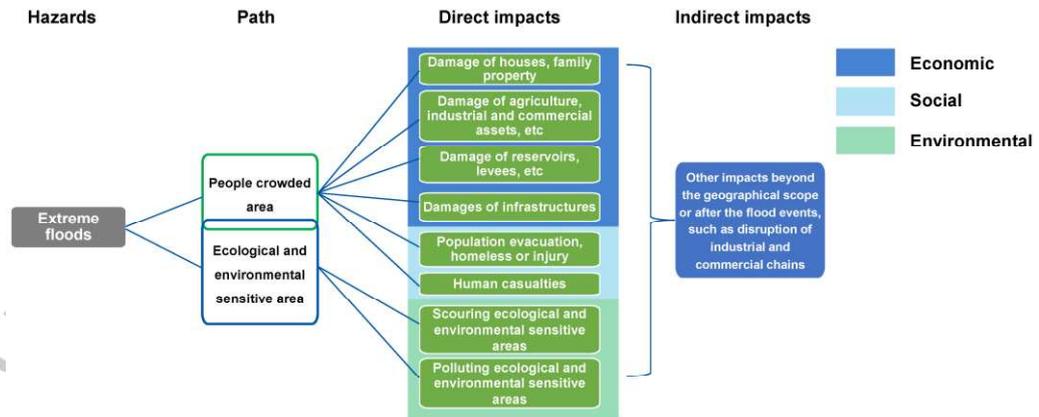
### 2.1 Banjir

Banjir merupakan sebuah kondisi dimana tinggi muka air (TMA) melebihi ketinggian tepi sungai, keluar dari alur sungai alami, dan menyebabkan genangan di sekitar tepi sungai (Yazdan, Ahad, Kumar, & Mehedi, 2022). Sedangkan menurut Papaioannou, et al. (2022), curah hujan yang tinggi sehingga menambahkan volume aliran pada sungai merupakan penyebab banjir. Ketika sungai tidak sanggup menampung volume tersebut, tinggi muka air (TMA) akan melewati elevasi tepi sungai dan terjadi luapan. Banjir sendiri merupakan salah satu bencana yang sangat destruktif dan bertanggung jawab atas kerusakan infrastruktur, kerugian ekonomi, dan merenggut korban jiwa (Papaioannou, et al., 2022). Banjir pada perkotaan sulit untuk dikelola akibat perbedaan topografi, situasi hidrologi, dan situasi hidrolika (drainase perkotaan).

Banjir dapat terjadi akibat beberapa penyebab, seperti curah hujan tinggi, aliran sungai yang dihalangi oleh sampah, tata guna lahan yang berubah sehingga menyebabkan daya infiltrasinya rendah, maupun mitigasi yang kurang tepat. Berdasarkan penyebab-penyebab tersebut, banjir dapat dibedakan menjadi tiga jenis yang dijelaskan sebagai berikut (Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD), 2023):

- A. **Banjir fluvial**, merupakan banjir yang terjadi akibat luapan air sungai ketika debit aliran air melebihi batas kapasitas sungai.
- B. **Banjir pluvial**, merupakan banjir genangan yang terjadi akibat ketidakmampuan tanah untuk menyerap air hujan maupun drainase yang tidak mengalir secara baik.
- C. **Banjir rob**, merupakan banjir yang terjadi dikarenakan pasang air laut yang besar dan meluap ke pesisir pantai. Banjir rob juga dapat terjadi ketika pasang air laut bertemu dengan aliran banjir sungai yang menghasilkan aliran balik.

Banjir memiliki dampak yang merugikan bagi masyarakat. Banjir juga memiliki 2 dampak, yakni dampak langsung dan tidak langsung. Menurut Yu, Wang, dan Li (2022), dampak dari bencana banjir dapat dibagi menjadi tiga, yaitu secara ekonomi, sosial, dan lingkungan (Gambar 2.1). Adapun penjelasan dari dampak bencana banjir adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 Dampak bencana banjir (Yu, Wang, & Li, 2022)

## A. Dampak Langsung

### 1. Dampak Sosial

Dampak sosial pada bencana banjir adalah hal-hal yang berkaitan dengan masyarakat setempat, meliputi evakuasi masyarakat, tunawisma akibat banjir, masyarakat terluka, bahkan korban jiwa. Hal ini menjadi dampak yang cukup besar karena memastikan keselamatan masyarakat merupakan tugas utama dalam bencana alam.

### 2. Dampak Ekonomi

Dampak ekonomi secara langsung meliputi hancurnya perumahan masyarakat, pertanian, aset-aset industrial, infrastruktur, drainase, bangunan air, bangunan pengendali banjir, dan lain-lain.

### 3. Dampak Lingkungan

Dampak lingkungan yang terjadi saat banjir adalah kerusakan ekosistem alam dan area alam yang sensitif terhadap banjir, seperti rusaknya bagian sungai dan bantarannya.

## B. Dampak Tidak Langsung

Dampak tidak langsung yang terjadi akibat bencana banjir adalah terhambatnya kegiatan sosial-ekonomi, pendidikan yang terhambat, sistem komunikasi serta listrik yang hilang, munculnya masalah kesehatan, hilangnya lapangan pekerjaan, dan lain-lain.

Pemerintah telah melakukan upaya untuk meminimalisir dampak jika terjadi luapan sungai. Upaya tersebut adalah mengeluarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 28/PRT/M/2015 tentang Penetapan Garis Sempadan Sungai dan Garis Sempadan Danau. Dalam peraturan tersebut, garis sempadan sungai dan danau (batas kiri dan kanan) diatur agar tidak dilakukan pembangunan pada batas garis tersebut. Berikut adalah batas garis sempadan tersebut:

- • Kondisi tidak ada tanggul pada kawasan perkotaan
  1. Kedalaman sungai kurang dari 3 m : minimal memiliki jarak 10 meter.
  2. Kedalaman sungai 3 sampai 20 m : minimal memiliki jarak 15 meter
  3. Kedalaman sungai lebih dari 20 m : minimal memiliki jarak 30 meter
- • Kondisi bertanggul pada kawasan perkotaan: minimal memiliki jarak 3 meter dari luar kaki tanggul.
- • Kondisi sungai besar (DAS lebih besar dari 500 km<sup>2</sup>) tidak ada tanggul di luar kawasan perkotaan: minimal memiliki jarak 100 meter.
- • Kondisi sungai kecil (DAS lebih kecil dari 500 km<sup>2</sup>) tidak bertanggul di luar kawasan perkotaan: minimal memiliki jarak 50 meter.
- • Kondisi bertanggul di luar kawasan perkotaan: minimal memiliki jarak 5 meter dari luar kaki tanggul.

Berdasarkan kejadian banjir yang terjadi, peta ancaman banjir dapat dibuat. Salah satu dasar dalam penyusunan kebijakan penanggulangan bencana adalah peta ancaman. Peta ancaman banjir didasari oleh luasan dan kedalaman banjir pada suatu daerah, baik berdasarkan kejadian terdahulu maupun hasil simulasi. Indeks komponen peta ancaman banjir berpedoman pada Peraturan

Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Nomor 2 Tahun 2012 (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Tingkat ancaman banjir

Tingkat Ancaman	Indeks Kedalaman
Rendah	< 0,75 m
Sedang	0,75 – 1,5 m
Tinggi	> 1,5 m

Sumber: BNPB (2012)

## 2.2 Penanggulan Banjir

Penanggulan adalah cara pengurangan resiko bencana melalui bangunan fisik dan peningkatan kesadaran serta kemampuan menahan sebuah bencana. Langkah-langkah antisipasi bencana dapat dilakukan pada sebelum, saat, dan sesudah bencana. Adapun beberapa cara menanggulangi banjir adalah dengan mengawasi tata guna lahan agar terdapat daerah resapan hujan, edukasi pencegahan banjir seperti larangan membuang sampah pada badan air, pembangunan drainase yang tepat, peningkatan pengawasan penggundulan hutan, reboisasi, pengerukan sedimen pada dasar sungai, maupun pembangunan bangunan pengendali banjir seperti tanggul.

Dalam membatasi badan air agar tidak meluap ke wilayah tertentu, tanggul harus lebih tinggi dibandingkan dengan elevasi sekitarnya (Yazdan, Ahad, Kumar, & Mehedi, 2022). Jenis-jenis tanggul sendiri antara lain adalah tanggul alami, tanggul timbunan, dan tanggul beton.

Tanggul alami terbentuk dari tanah alami tanpa campur tangan manusia dan berada di tepi sungai. Tanggul timbunan merupakan tanggul buatan dari timbunan tanah dan/atau material lainnya, sedangkan jika terbuat dari campuran beton maka disebut tanggul beton sehingga lebih kuat secara struktur.

Syarat-syarat pembangunan tanggul harus diperhitungkan terhadap hal-hal sebagai berikut:

1. Elevasi tanggul harus lebih tinggi dibandingkan muka air sungai pada debit banjir rencana agar dapat menahan luapan banjir.

2. Struktur dari lereng dan kaki tanggul harus kuat untuk mencegah terjadinya longsor.
3. Tanggul harus stabil dan diperhitungkan agar tidak mengalami penurunan.
4. Agar terhindar dari longsornya tebing sungai, jarak tanggul dengan tebing sungai harus diperhitungkan supaya tetap aman.
5. Tanggul harus tanpa ada rembesan maupun kebocoran

Pengerukan sungai merupakan salah satu normalisasi sungai di titik rawan banjir. Pengerukan sendiri merupakan perubahan bentuk dasar perairan agar mencapai kedalaman dan lebar yang diinginkan (Permenhub, 2018). Sedangkan menurut Yazdan, dkk (2022), pengerukan merupakan pemindahan material pada dasar sungai dengan alat keruk sehingga mengubah bentuk dari badan air. Adapun tujuan dari pengerukan pada normalisasi sungai adalah sebagai pengendali banjir dengan memperlancar aliran sungai dan memperdalam dasar sungai. Pengerukan ini dilakukan hingga batas kemampuan alat pengeruk terhadap batuan atau tanah keras pada profil sungai maupun kestabilan pada tebing sungai.

### **2.3 Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS)**

Menurut SNI 1724:2015 dan SNI 2415:2016, Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan kesatuan wilayah berupa sungai beserta anak-anak sungainya yang dibatasi oleh daratan pemisah yakni punggung-punggung gunung, yang memiliki fungsi sebagai penampung dan pengalir air hujan ke danau atau laut. Adapun nama lain dari DAS adalah daerah tangkapan hujan (*catchment area*). DAS sangat mempengaruhi besar debit banjir rencana. Adapun karakteristik-karakteristik DAS adalah sebagai berikut:

#### **A. Karakteristik topografi**

Karakteristik topografi merupakan bentuk wilayah daerah aliran sungai (DAS), elevasi, dan kemiringan lereng. Topografi menjadi indikasi batas-batas DAS berupa punggung bukit atau pegunungan. Salah satu data topografi yang sering digunakan adalah *Digital Elevation Model* (DEM).

DEM merupakan berupa gambaran geometri permukaan bumi atau model relief dari rupa bumi dalam tiga dimensi (3D) dalam bentuk digital (DEMNAS, 2023). Data DEM diperoleh dari berbagai sumber seperti citra satelit stereo, FU stereo (*photogrammetric Techniques*), data yang didapatkan dari pengukuran lapangan (GPS, EDM, *Theodolite*, *Echosounder*, dll), peta radar, serta LiDAR (*Light detection and Ranging*). Menurut Juarez, dkk (2019) dan Amin (2015), resolusi DEM sangat mempengaruhi hasil dari simulasi banjir. DEM resolusi tinggi dapat menggambarkan kondisi yang hampir mendekati keadaan sesungguhnya dan memberikan hasil simulasi banjir sesuai dengan kondisi eksisting. Oleh karena itu, data DEM dapat digunakan dalam peta topografi pada karakteristik DAS karena merupakan data kontur atau permukaan bumi.

Peta DEM yang didapatkan dari DEMNAS merupakan peta dengan penggabungan data DSM (*Digital Surface Model*) dan asimilasi *mass point* pada peta topografi. Proses tersebut terjadi dengan menggabungkan elevasi dari permukaan tanah (*mass point*) dengan elevasi DSM, sehingga menciptakan DTM (*Digital Terrain Model*). DSM sendiri menyajikan ketinggian permukaan tanah serta objek-objek yang terlihat di atas tanah seperti bangunan, vegetasi, dan lain-lain, sedangkan DTM dan DEM hanya ketinggian permukaan tanah saja.

## **B. Karakteristik geologi dan jenis tanah**

Karakteristik geologi dan jenis tanah adalah karakteristik yang mencakup beberapa jenis batuan, penyebaran luas dari beberapa jenis bebatuan, fisik dari berbagai jenis batuan, kehomogenan maupun jenis bebatuan, serta struktur maupun tekstur dari tanah. Hal ini mempengaruhi erosi dan sedimentasi pada sebuah sungai.

## **C. Karakteristik tata guna lahan**

Karakteristik tata guna lahan yaitu luas serta jenis tata guna lahannya. Nilai koefisien aliran permukaan serta kemampuan infiltrasi dari sebuah jenis tata guna lahan tidak sama. Berdasarkan Lampiran 3.1, semakin

bervegetasi sebuah lahan, semakin besar juga koefisien aliran permukaannya. Tanah bervegetasi mampu menurunkan kecepatan aliran permukaan, menambah kemampuan daya infiltrasi, menjaga kondisi tanah, serta memperkecil erosi (Ongdas, Akiyanova, Karakulov, Muratbayeva, & Zinabdin, 2020). Berdasarkan Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/Kepala Badan Pertanahan Nasional (ATRKBPN) Nomor 14 Tahun 2022, tata guna lahan untuk ruang terbuka hijau (RTH) minimal sebanyak 30% dari luas wilayah kota.

Nilai koefisien aliran permukaan (C) dinyatakan dengan kisaran nilai 0 – 1, dengan nilai 0 menandakan keseluruhan air diperoleh dari hujan terserap sempurna ke dalam tanah dan nilai 1 menandakan air hujan menjadi aliran permukaan. Adapun rumus perhitungannya menggunakan Rumus 2.1.

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot A_i}{A_i} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

*C* : Koefisien aliran permukaan

*n* : Jumlah jenis tutupan lahan

*C<sub>i</sub>* : Koefisien aliran limpasan berdasarkan tutupan lahan *i*

*A<sub>i</sub>* : Luas daerah tutupan lahan *i* (km<sup>2</sup>)

#### 2.4 Analisis Hidrologi

Ilmu hidrologi adalah ilmu mengenai distribusi air, sifat-sifatnya, serta hubungan dengan sekitar dan makhluk hidup (SNI 1724:2015). Dalam perancangan bangunan air, proses yang dibutuhkan adalah analisis hidrologi. Proses ini digunakan dalam memperhitungkan curah hujan untuk mencari debit banjir rencana periode ulang agar bangunan air dapat didesain sesuai dengan kebutuhan menanggulangi debit rencana tersebut.

### 2.4.1 Curah Hujan Kawasan

Curah hujan didefinisikan sebagai millimeter per satuan waktu. Dari satuan tersebut, curah hujan dapat dijelaskan sebagai jumlah air terkonsentrasi dalam suatu durasi tertentu. Menurut SNI 2415:2016, perhitungan curah hujan kawasan suatu DAS menggunakan tiga cara; aritmatik, poligon thiessen, dan isohyet.

#### A. Metode Aritmatik

Metode aritmatik adalah metode pencarian curah hujan areal yang paling sederhana. Metode ini dilakukan dengan menghitung rerata curah hujan maksimum setiap pos/stasiun hujan pada daerah aliran sungai tersebut (Gambar 2.2). Metode ini cocok untuk DAS kurang dari 500 km<sup>2</sup>. Perhitungan metode aritmatik menggunakan Rumus 2.2.

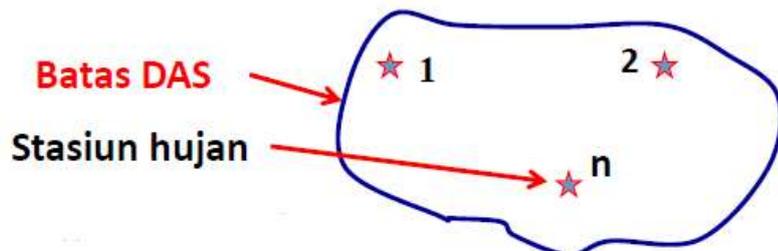
$$\overline{RR} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

$\overline{RR}$  = Rerata curah hujan maksimum kawasan (mm)

$R_1, \dots, R_n$  = Curah hujan maksimum masing-masing pos/stasiun hujan (mm)

$n$  = Jumlah pos/stasiun hujan yang diamati



Gambar 2.2 Metode aritmatik (Arbaningrum, 2018)

#### B. Metode Poligon Thiessen

Perhitungan rasio pengaruh luas stasiun hujan terhadap total luas daerah aliran sungai merupakan metode perhitungan poligon thiessen (Gambar 2.3). Metode ini memerlukan setidaknya 3 stasiun hujan dan tidak sesuai untuk daerah pegunungan akibat pengaruh orografis, namun metode ini lebih teliti dibandingkan dengan metode

aritmatik. Kriteria untuk metode ini adalah DAS dengan luas 500 – 5.000 km<sup>2</sup>. Selain itu, penambahan maupun pemindahan stasiun hujan dapat mengubah keseluruhan poligon dan mempengaruhi curah hujan kawasan DAS tersebut. Perhitungan metode ini menggunakan Rumus 2.3.

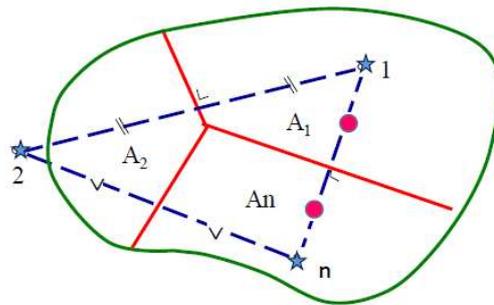
$$\overline{RR} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

$\overline{RR}$  = Rata-rata curah hujan maksimum kawasan (mm)

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = Luasan pengaruh masing-masing pos/stasiun hujan yang dibatasi polygon (mm)

$R_1, R_2, \dots, R_n$  = Curah hujan maksimum masing-masing pos/stasiun hujan (mm)



Gambar 2.3 Metode poligon thiessen (Arbaningrum, 2018)

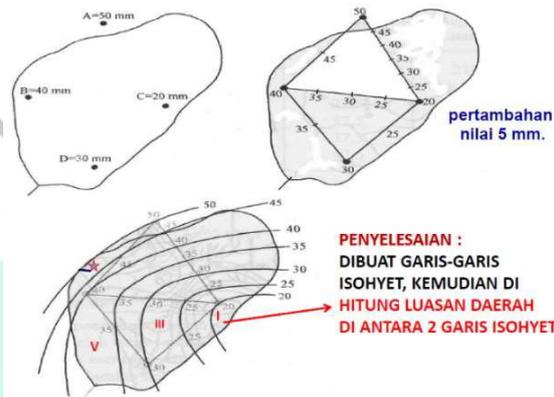
### C. Metode Isohyet

Metode isohyet menggunakan garis kontur tinggi curah hujan pada DAS untuk mengetahui curah hujan kawasan, dengan ketelitian yang cocok untuk daerah datar maupun pegunungan (luas DAS > 5.000 km<sup>2</sup>). Metode ini memerlukan banyak stasiun hujan dan dibutuhkan analisis yang teliti. Perhitungannya berupa rerata tinggi curah hujan pada garis-garis isohyet dikalikan dengan luas bagian kedua garis tersebut dan dibagi dengan total luas daerah aliran sungai tersebut (Gambar 2.4). Rumus 2.4 merupakan rumus perhitungan untuk metode ini.

$$\overline{RR} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- $\overline{RR}$  = Rerata curah hujan maksimum kawasan (mm)
- $A_1, A_2, \dots, A_n$  = Luas daerah pada tiap batas garis isohyet (km<sup>2</sup>)
- $R_1, R_2, \dots, R_n$  = Curah hujan pada masing-masing garis isohyet (mm)



Gambar 2.4 Metode isohyet (Arbaningrum, 2018)

#### 2.4.2 Data Curah Hujan Hilang

Data curah hujan pada pos hujan dapat hilang ataupun tak tercatat, baik dikarenakan kesalahan manusia atau faktor-faktor lain seperti alat yang rusak maupun bencana alam. Menurut SNI 2415:2016, dua metode yang dapat dilakukan untuk menanggulangi data yang hilang ;

- A. Perhitungan rerata hujan pada pos hujan terdekat dengan pos hujan yang memiliki data hujan yang hilang. Hal ini dapat dilakukan apabila perbedaan curah hujan tahunan normal lebih kecil dari 10% di stasiun hujan terdekat dengan stasiun yang memiliki data hilang.
- B. Perhitungan nilai ratio hujan tahunan terhadap stasiun hujan lain. Metode ini dapat dilakukan apabila curah hujan tahunan normal memiliki perbedaan lebih besar dari 10% di stasiun hujan terdekat dengan stasiun yang memiliki data hilang. Perhitungan menggunakan Rumus 2.5.

$$RR = \frac{1}{n} \left\{ \left( \frac{N_x R_a}{N_a} \right) + \left( \frac{N_x R_b}{N_b} \right) + \dots + \left( \frac{N_x R_n}{N_n} \right) \right\} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

$RR$  = Curah hujan data hilang (mm)

$N_x$  = Rerata curah hujan tahunan di stasiun dengan data yang hilang (mm)

$R_{a,..}, R_n$  = Curah hujan pada stasiun A,B,..N saat waktu tertentu (mm)

$N_{a,..}, N_n$  = Rata-rata curah hujan tahunan di stasiun A,B,..N (mm)

### 2.4.3 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi merupakan metode perhitungan periode ulang hujan, yaitu probabilitas (P) terjadinya kembali suatu peristiwa hujan dalam kurun waktu tertentu dan merupakan dasar analisis hidrologi dalam menghitung debit banjir rencana untuk mencegah kejadian banjir serta standar pembangunan bangunan air. Periode ulang hujan dapat terjadi dalam setahun dihitung dengan;  $T = 1/P$ . Perhitungan dalam analisis frekuensi menurut SNI 2415:2016 adalah sebagai berikut:

#### 2.4.3.1 Parameter Statistik

Parameter merupakan salah satu bagian dari analisis frekuensi. Adapun perhitungan parameter statistik menggunakan Rumus 2.6 sampai 2.14.

##### A. Rata-rata ( $\bar{X}$ )

- Distribusi Normal dan Gumbel

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{n} \dots\dots\dots (2.6)$$

- Distribusi Log normal dan Log Pearson III

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

##### B. Standar Deviasi ( $S_d$ )

Jika sebaran data semakin besar pada nilai rata-rata, nilai  $S_d$  semakin menjadi lebih besar juga dan sebaliknya. Perhitungannya menggunakan Rumus 2.8 dan 2.9.

- Distribusi Normal dan Gumbel

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{X_i - \bar{X}\}^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.8)$$

- Distribusi Log normal dan Log Pearson III

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{\log X_i - \log \bar{X}\}^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.9)$$

C. Koefisien Variasi (C<sub>v</sub>)

Koefisien Variasi merupakan perbandingan antara S<sub>d</sub> terhadap rerata suatu sebaran. Rumus 2.10 digunakan untuk mencari C<sub>v</sub>.

$$C_v = \frac{S_d}{\bar{X}} \dots\dots\dots(2.10)$$

D. Koefisien Skewness (C<sub>s</sub>)

Koefisien *Skewness* menunjukkan ketidaksimetrisan dari bentuk distribusi. Berikut adalah cara perhitungan adalah dengan Rumus 2.11 dan 2.12.

- Distribusi Normal dan Gumbel

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S_d^3} \dots\dots\dots(2.11)$$

- Distribusi Log normal dan Log Pearson III

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S_d^3} \dots\dots\dots(2.12)$$

Apabila C<sub>s</sub> = 0,00, maka kurva distribusi berbentuk simetris. Jika C<sub>s</sub> lebih besar dari nol, maka bentuknya menceng ke kanan, sedangkan jika C<sub>s</sub> lebih kecil dari nol, maka bentuknya menceng ke kiri.

E. Koefisien Kurtosis (C<sub>k</sub>)

Koefisien C<sub>k</sub> memperlihatkan seberapa runcing sebuah kurva sebaran atau distribusi. Koefisien ini dapat dicari dengan Rumus 2.13 dan 2.14.

- Distribusi Normal dan Gumbel

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S_d^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4 \dots\dots\dots(2.13)$$

- Distribusi Log normal dan Log Pearson III

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S_d^4} \sum_{i=1}^n (\log x_i - \log \bar{X})^4 \dots(2.14)$$

Keterangan:

$\bar{X}$  = nilai rerata curah hujan

$X_i$  = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke-i

$n$  = jumlah data dari curah hujan yang diteliti

$S_d$  = standar deviasi

$C_v$  = koefisien variasi

$C_s$  = koefisien kemencengan

$C_k$  = koefisien kurtosis

#### 2.4.3.2 Pemilihan Jenis Distribusi

Berdasarkan hasil parameter statistik curah hujan yang diperoleh, pemilihan jenis sebaran dipilih berdasarkan persyaratan SNI 2415:2016. Persyaratan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Persyaratan jenis sebaran

Jenis Sebaran	Syarat
Normal	$C_s = 0$
	$C_k = 3$
	$C_s = C_v^2 + 3 C_v$
Log Normal	$C_k = 5,383$
	$C_v \sim 0,06$
	$C_s \neq 0$
Log Pearson III	$C_k = 5,383$
	$C_v \sim 0,3$
	$C_s = 1,14$
Gumbel	$C_k = 5,4$

Sumber: SNI 2415:2016

### 2.4.3.3 Distribusi Frekuensi

Menurut SNI 2514:2016, distribusi frekuensi curah hujan periode ulang dihitung menggunakan beberapa rumus antara lain; distribusi Normal, distribusi Gumbel, distribusi Log Normal, dan distribusi Log Pearson III. Perhitungan curah hujan rencana periode ulang T pada tiap distribusi menggunakan cara perhitungan yang berbeda-beda. Rumus 2.15 sampai dengan Rumus 2.19 merupakan rumus yang digunakan untuk mencari distribusi frekuensi.

#### A. Distribusi Normal

$$X_T = \bar{X} + K_T S_d \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan:

$X_T$  = Tinggi curah hujan rencana pada suatu periode ulang (mm/hari)

$\bar{X}$  = Rerata tinggi curah hujan(mm/hari)

$K_T$  = Nilai variabel reduksi Gauss pada suatu periode ulang [Lampiran 3.2 **Error! Reference source not found.**]

$S_d$  = Nilai standar deviasi distribusi normal [Rumus 2.8]

#### B. Distribusi Gumbel

$$X_T = \bar{X} + S_d K_T \dots\dots\dots(2.16)$$

$$K_T = \frac{(Y_T - Y_n)}{S_n} \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan:

$X_T$  = Tinggi curah hujan rencana pada suatu periode ulang (mm/hari)

$\bar{X}$  = Rerata tinggi curah hujan (mm/hari)

$S_d$  = Nilai standar deviasi distribusi Gumbel [Rumus 2.8]

$K^T$  = Nilai faktor probabilitas

$Y_T$  = Reduksi variat berdasarkan variabel [Lampiran 3.3]

$Y_n$  = Rerata reduksi variat [Lampiran 3.4]

$S_n$  = Standar deviasi reduksi variat [Lampiran 3.5]

### C. Distribusi Log Normal

$$\text{Log } X_T = \log \bar{X} + S_{d \log x} K_T \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan:

$X_T$  = Tinggi curah hujan rencana pada suatu periode ulang  
(mm/hari)

$\bar{X}$  = Rerata tinggi curah hujan (mm/hari)

$S_d$  = Nilai standar deviasi distribusi Log Normal  
[Rumus 2.9]

$K_T$  = Nilai faktor probabilitas [Lampiran 3.6]

### D. Distribusi Log Pearson III

$$\text{Log } X_T = \log \bar{X} + S_{d \log x} K^T \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan:

$\text{Log } X_T$  = Tinggi curah hujan rencana pada suatu periode  
ulang dalam bentuk logaritmik (mm/hari)

$\bar{X}$  = Rerata tinggi curah hujan (mm/hari)

$S_d$  = Nilai standar deviasi untuk distribusi Log Pearson  
III [Rumus 2.9]

$K^T$  = Nilai faktor probabilitas [Lampiran 3.7]  
berdasarkan koefisien skewness ( $C_s$ )  
[Rumus 2.12]

#### 2.4.3.4 Uji Cara Grafis

Dalam menentukan jenis sebaran, persyaratan lainnya adalah untuk memenuhi persyaratan pada kertas probabilitas. Uji cara grafis pada kertas probabilitas bertujuan untuk mencari jarak penyimpangan pada titik data terhadap garis teoritis. Jarak penyimpangan terbesar merupakan nilai  $\Delta_{maks}$ . Nilai  $\Delta_{maks}$  harus lebih kecil dari nilai  $\Delta_{kritik}$  (SNI 2415:2016).

Titik-titik data pada kertas probabilitas ditempatkan dengan diurutkan data dari yang terkecil hingga terbesar maupun

sebaliknya. Dalam *plotting* pada kertas probabilitas, P (Probabilitas) ada pada sumbu X dan nilai Xi ada pada sumbu Y. Perhitungan probabilitas untuk uji cara grafis menggunakan Rumus 2.20.

$$P(X_m) = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan:

$P(X_m)$  = data yang telah diurutkan

$m$  = nomor urut data

$n$  = jumlah data

#### 2.4.3.5 Uji Kecocokan Distribusi

Pengujian kecocokan distribusi bertujuan agar mengetahui apabila kecocokan distribusi pada suatu sampel mewakili fungsi distribusi frekuensi tersebut (Kementerian PUPR, 2018).

##### 1) Uji Smirnov-Kolmogorov

Sebagai pengujian kecocokan non-parametrik, pengujian ini tidak melibatkan fungsi distribusi. Prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut (Kementerian PUPR, 2018):

1. Pengurutan data dari yang terkecil hingga terbesar maupun sebaliknya dan menentukan besarnya peluang dari tiap data.

$$X_i = P(x_i)$$

$$X_{ii} = P(x_{ii})$$

$$X_n = P(x_n)$$

2. Pengurutan nilai peluang teoritis berdasarkan hasil penggambaran data.

$$X_i = P'(x_i)$$

$$X_{ii} = P'(x_{ii})$$

$$X_n = P'(x_n)$$

3. Dari hasil kedua nilai peluang tersebut, selisih antar peluang dihitung agar mendapatkan hasil  $D_{maksimum}$  (Rumus 2.21).

$$D = maksimum [P(X_n) - P'(X_n)] \dots\dots\dots(2.21)$$

4. Nilai  $D_{maksimum}$  harus lebih kecil dari  $D_{kritis}$  ( $D_{maks} < D_{kritis}$ ).  $D_{kritis}$  didapatkan pada Lampiran 3.8 yang didasari jumlah data serta derajat kepercayaannya.

**2) Uji Chi-Kuadrat**

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah distribusi tersebut dapat mewakili analisis distribusi statistik sampel data (Kementerian PUPR, 2018). Jika nilai chi-kuadrat terhitung lebih kecil dari chi-kuadrat kritis, maka hasil pengujian memenuhi persyaratan. Lampiran 3.9 merupakan nilai dari chi-kuadrat kritis. Rumus-rumus perhitungan chi-kuadrat menggunakan Rumus 2.22 sampai Rumus 2.25.

$$G = 1 + 3,322 \log n \dots\dots\dots(2.22)$$

$$DK = G - (P + 1) \dots\dots\dots(2.23)$$

$$E_i = \frac{n}{G} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan:

- $X_h^2$  = Parameter chi-kuadrat terhitung
- $G$  = Jumlah sub-kelompok
- $E_i$  = Jumlah nilai teoritis pada sub-kelompok  $i$
- $O_i$  = Jumlah nilai pengamatan pada sub-kelompok  $i$
- $DK$  = Derajat kebebasan
- $P$  = Untuk distribusi normal dan binomial = 2  
Untuk distribusi gumbel dan poisson = 1

#### 2.4.4 Intensitas Hujan Periode Ulang dan Curah Hujan Efektif

Intensitas hujan dipengaruhi oleh durasi hujan, frekuensi hujannya, dan curah hujan periode ulangnya. Lengkung IDF (*Intensity – Duration – Frequency*) menunjukkan hubungan antara ketiga hal tersebut. Intensitas hujan merupakan komponen penting dalam menghitung debit banjir rencana dan juga dalam membuat kurva intensitas hujan, serta rasio distribusi hujan. Menurut Kementerian PUPR (2018) dan SNI 2415:2016, perhitungan intensitas hujan pada umumnya menggunakan metode mononobe dan dapat dilihat pada Rumus 2.26, sedangkan rasio distribusi hujan pada Rumus 2.27.

$$I = \frac{R_0}{t_c} \left( \frac{t_c}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \dots \dots \dots (2.26)$$

$$R_t = t \cdot I - (t - 1) \cdot (I_{T-1}) \dots \dots \dots (2.27)$$

Keterangan:

- $I$  = Intensitas hujan (mm/jam)
- $R_0$  = Curah hujan pada suatu periode ulang (mm)
- $t_c$  = Waktu konsentrasi hujan (jam)
- $R_t$  = Rasio distribusi hujan
- $t$  = Durasi hujan (jam)

Dari perhitungan di atas, curah hujan efektif ( $R_{ei}$ ) dapat dicari dan menggunakan Rumus 2.28 untuk perhitungannya. Perhitungan ini diperlukan dalam perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis (HSS).

$$R_{ei} = R_{24} \times R_t \dots \dots \dots (2.28)$$

- $R_{ei}$  = Hujan efektif pada distribusi hujan (mm)
- $R_{24}$  = Curah hujan maksimum selama 24 jam tiap periode ulang (mm)
- $R_t$  = Rasio distribusi hujan

#### 2.4.5 Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Debit Banjir Periode Ulang

Pada perancangan bangunan air, debit banjir periode ulang wajib diperhitungkan. Salah satu cara dalam memperkirakan debit banjir adalah

menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) (Krisnayanti, Hunggurami, & Heo, 2020). HSS adalah metode perkiraan debit banjir tiap jam berdasarkan karakteristik dari daerah aliran sungainya. Beberapa metode dalam perhitungan HSS banjir yang kerap dipakai di Indonesia yakni metode HSS Nakayasu, HSS Snyder, dan HSS SCS (SNI 2415:2016).

#### A. Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

Perhitungan metode HSS Nakayasu menggunakan Rumus 2.29 dan 2.30 (SNI 2415:2016).

$$Q_p = \frac{c \cdot A \cdot R_0}{3,6 (0,3T_p + T_{0,3})} \dots\dots\dots(2.29)$$

$$Q_{base\ flow} = 0,5 Q_p \dots\dots\dots(2.30)$$

Keterangan:

$Q_p$  = Debit banjir puncak (m<sup>3</sup>/det)

$Q_{base\ flow}$  = Aliran dasar (m<sup>3</sup>/det)

$c$  = Koefisien aliran permukaan

$A$  = Luas DAS (km<sup>2</sup>)

$L$  = Panjang sungai yang diteliti (km)

$R_0$  = Curah hujan (mm), biasa dipakai 1 mm

$T_g$  = Waktu konsentrasi (jam)

$$= 0,4 + 0,058L \ [L \geq 15 \text{ km}]$$

$$= 0,21L^{0,7} \ [L < 15 \text{ km}]$$

$T_r$  = Durasi atau waktu dari curah hujan (jam);

$$[0,5T_g \text{ sampai } 1T_g]$$

$T_p$  = Durasi permulaan banjir sampai dengan puncak hidrograf banjir (jam)

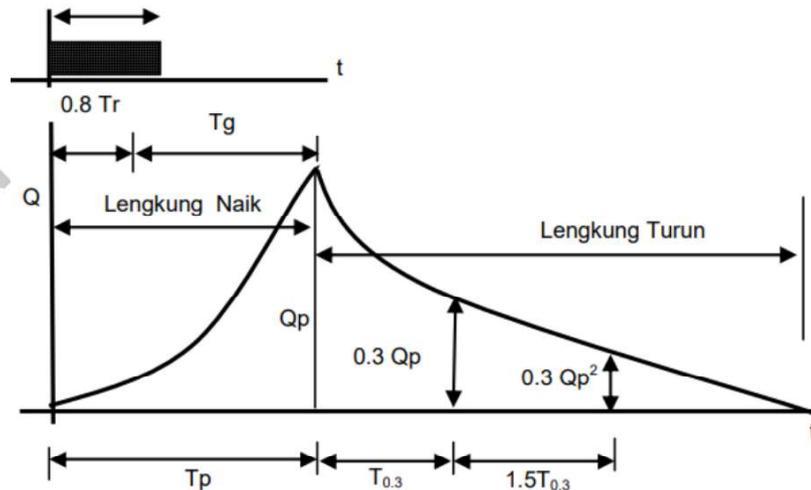
$$= T_g + 0,8 T_r$$

$T_{0,3}$  = Durasi puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak banjir (jam)

$$= \alpha T_g$$

$\alpha$  = Koefisien karakteristik DAS [1,5 – 3,5]

Dalam memperhitungkan debit tiap jam pada hidrograf, posisi waktu perlu diperhatikan pada saat jam terjadinya banjir. Menurut SNI 2415:2016, Sarminingsih (2018), dan Nurzanah, dkk (2022), perhitungan metode HSS Nakayasu berdasarkan grafik hidrograf antara waktu dan debit puncak (Gambar 2.5) dapat dilihat pada Rumus 2.31 sampai Rumus 2.34.



Gambar 2.5 Grafik hidrograf Nakayasu (Sarminingsih, 2018)

1. Pada lengkung naik ( $0 < t < T_p = 3,33$ )

$$UH = Qp \times \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \quad (\text{m}^3/\text{det}/\text{mm}) \quad \dots\dots\dots(2.31)$$

2. Pada lengkung turun ( $T_p < t < T_p + T_{0,3}$ )

$$UH = Qp \times 0,3^{\frac{t-T_p}{T_{0,3}}} \quad (\text{m}^3/\text{det}/\text{mm}) \quad \dots\dots\dots(2.32)$$

3. Pada lengkung turun ( $T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$ )

$$UH = Qp \times 0,3^{\frac{(t-T_p) + (0,5 \times T_{0,3})}{1,5 \times T_{0,3}}} \quad (\text{m}^3/\text{det}/\text{mm}) \quad \dots\dots\dots(2.33)$$

4. Pada lengkung turun ( $t > T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$ )

$$UH = Qp \times 0,3^{\frac{(t-T_p) + (1,5 \times T_{0,3})}{2 \times T_{0,3}}} \quad (\text{m}^3/\text{det}/\text{mm}) \quad \dots\dots\dots(2.34)$$

### B. Hidrograf Satuan Sintetis Snyder

Snyder merupakan metode perhitungan HSS yang berasal dari Amerika Serikat. Perhitungan HSS ini merupakan perkembangan dari rumus empiris dan koefisien empiris yang menyatukan unsur

hidrograf dengan karakteristik-karakteristik DAS. Rumus-rumus untuk HSS ini dapat dilihat pada Rumus 2.35 – 2.46 (SNI 1724:2016).

$$t_p = C_t(L.L_c) \dots\dots\dots(2.35)$$

$$t_r = \frac{t_p}{5,5} \dots\dots\dots(2.36)$$

$$Q_p = 2,78 \frac{C_p \times A}{t_p} \dots\dots\dots(2.37)$$

$$t_b = 72 + 3t_p \dots\dots\dots(2.38)$$

Keterangan:

$t_p$  = Durasi awal titik berat hujan hingga debit puncak (jam)

$t_r$  = Durasi hujan efektif (jam)

$C_t$  = Nilai koefisien waktu (0,75 – 3,00)

$L$  = Panjang aliran sungai utama (km)

$L_c$  = Jarak titik berat DAS menuju *outlet* sepanjang aliran utama (km)

$Q_p$  = Debit maksimum total (m<sup>3</sup>/det)

$A$  = Luas daerah aliran sungai (km<sup>2</sup>)

$C_p$  = Nilai koefisien debit (0,90 – 1,40)

$t_b$  = Waktu dasar hidrograf (jam)

Besaran  $t_r$  diasumsikan selama 1 jam. Apabila  $t_r' = t_p/5,5$  lebih besar dibandingkan dengan  $t_r$  asumsi ( $t_r' > t_r$  asumsi), koreksi terhadap  $t_p$  harus dilakukan dengan Rumus 2.40, sedangkan jika  $t_r'$  lebih kecil dibandingkan dengan  $t_r$  asumsi ( $t_r' < t_r$  asumsi), koreksi terhadap  $t_p$  harus dilakukan dengan Rumus 2.41.

1. Jika  $t_r' > t_r$  asumsi

$$t_p' = t_p + 0,24 (t_r - t_r') \dots\dots\dots(2.39)$$

$$t_p = t_p' + 0,5t_r \dots\dots\dots(2.40)$$

2. Jika  $t_r' < t_r$  asumsi

$$t_p = t_p + 0,5t_r \dots\dots\dots(2.41)$$

Dalam menentukan grafik hubungan antara  $Q_p$  (debit) dengan  $t$  (waktu) pada hidrograf Snyder (Gambar 2.6), persamaan Alexeyev digunakan seperti pada Rumus 2.42 sampai Rumus 2.46.

$$Q = Y \cdot Q_p \dots\dots\dots(2.42)$$

$$Y = 10^{\frac{-a(1-X)^2}{X}} \dots\dots\dots(2.43)$$

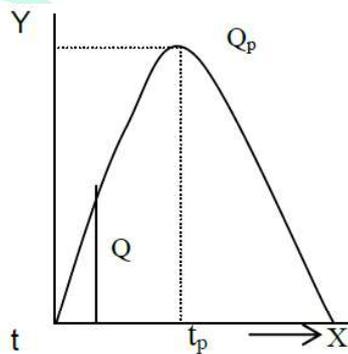
$$X = \frac{t}{t_p} \dots\dots\dots(2.44)$$

$$a = 1,32a^2 + 0,15a + 0,045 \dots\dots\dots(2.45)$$

$$\alpha = \frac{Q_p t_p}{h A} \dots\dots\dots(2.46)$$

Keterangan:

$h$  = curah hujan efektif periode ulang (mm)



Gambar 2.6 Grafik hidrograf Snyder (SNI 1724:2016)

### C. Hidrograf Satuan Sintetis *Soil Conservation Service* (SCS)

HSS SCS diekspresikan dalam perbandingan antara debit ( $q$ ) terhadap debit puncak ( $q_p$ ), serta durasi ( $t$ ) terhadap durasi naik ( $T_p$ ). HSS SCS menggunakan Rumus 2.47 sampai Rumus 2.50 (SNI 1724:2016).

#### 1. Debit Puncak ( $Q_p$ )

$$Q_p = \frac{2,08A}{T_p} \dots\dots\dots(2.47)$$

Keterangan:

$Q_p$  = Debit puncak ( $m^3/det$ )

$A$  = Luas DAS ( $km^2$ )

$T_p$  = Durasi naik atau durasi permulaan hujan hingga puncak hidrograf (jam)

2. Waktu kelambatan ( $t_p$ )

$$t_p = 0,6T_c \text{ (hidrograf tak berdimensi) .....(2.48)}$$

$$t_p = 2,67T_p \text{ (hidrograf segitiga) .....(2.49)}$$

Keterangan:

$t_p$  = Waktu kelambatan; durasi titik berat curah hujan menuju puncak hidrograf (jam)

$T_c$  = Waktu konsentrasi (jam)

$$= 0,01947L^{0,77}S^{-0,385}$$

$L$  = Panjang maksimum sungai (m)

$S$  = Kemiringan daerah aliran sungai

3. Waktu naik ( $T_p$ )

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \text{ .....(2.50)}$$

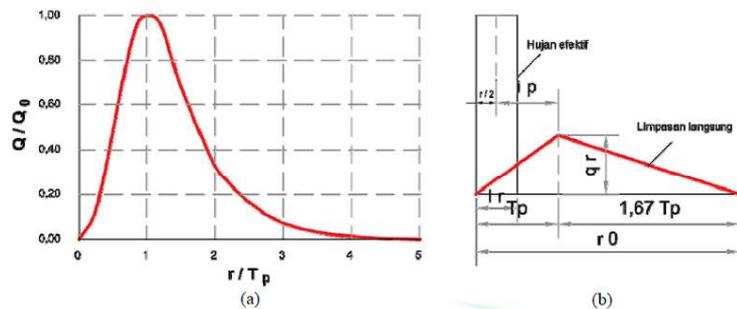
Keterangan:

$T_p$  = Waktu naik atau durasi permulaan hujan menuju puncak hidrograf (jam)

$t_p$  = Waktu kelambatan; durasi titik berat curah hujan hingga puncak hidrograf (jam)

$t_r$  = Durasi curah hujan efektif (jam)

Berdasarkan Rumus 2.47 sampai Rumus 2.50 dan Lampiran 3.10, grafik HSS SCS dapat dibuat (Gambar 2.7).



(a) Hidrograf tak berdimensi (b) Hidrograf segitiga

Gambar 2.7 Grafik hidrograf SCS (SNI 1724:2016)

#### D. Hidrograf Satuan Sintetis

Setelah memperhitungkan debit banjir ordinat unit HSS, perhitungan debit banjir total tiap jam akibat sebaran hujan menggunakan Rumus 2.51.

$$Q_{tot} = U_1.R_{ei} + U_2.R_{ei1} + U_3.R_{ei3} + U_n.R_{ei(n-1)} + Q_b \dots\dots\dots(2.51)$$

Keterangan:

$Q_{tot}$  = Debit banjir total tiap jam pada suatu periode ulang (m<sup>3</sup>/det)

$U_a$  = Ordinat atau posisi HSS;  $Q_1$ ;  $Q_r$ ;  $Q_t$  (m<sup>3</sup>/det)

$R_{ei}$  = Hujan efektif pada distribusi hujan (mm)  
= Curah hujan periode ulang x rasio distribusi hujan

$Q_b$  = Aliran dasar/*base flow* (m<sup>3</sup>/det)

#### 2.5 Analisis Hidrolika

Menurut SNI 1724:2015, hidrolika adalah ilmu yang mempelajari hal-hal dan sifat yang mengenai aliran air, material-material yang dibawanya, serta gaya-gaya yang ditimbulkannya. Adapun dalam analisis hidrolika, aliran yang dipelajari adalah aliran saluran tertutup dan terbuka. Analisis hidrolika pada aliran sungai termasuk aliran saluran terbuka. Salah satu tujuan dari analisis hidrolika adalah untuk mengetahui kapasitas penampang sungai. Rumus perhitungan untuk kapasitas penampang sungai dapat menggunakan Rumus 2.52 sampai Rumus 2.55.

##### A. Persamaan Chezy

$$Q = AC\sqrt{RS} \dots\dots\dots(2.52)$$

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{S} + \frac{1}{n}}{1 + \frac{n}{\sqrt{R}} \left( 23 + \frac{0,00155}{S} \right)} \text{ (Metode Kutter) } \dots\dots\dots(2.53)$$

$$C = \frac{87}{1 + \frac{Y}{\sqrt{R}}} \text{ (Metode Bazin) } \dots\dots\dots(2.54)$$

##### B. Persamaan Manning

$$Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} A \dots\dots\dots(2.55)$$

Keterangan:

$Q$  = kapasitas debit penampang ( $\text{m}^3/\text{det}$ )

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

$R$  = Jari-jari hidrolis ( $\text{m}$ ) =  $A/P$

$P$  = Keliling penampang basah ( $\text{m}$ )

$S$  = Kemiringan pada dasar atau lantai saluran

$C$  = Koefisien Chezy

$n$  = Koefisien kekasaran Manning untuk saluran [Lampiran 3.11]

$\gamma$  = Berat jenis bahan lapisan saluran

### 2.5.1 Pemodelan Hidrolika dengan HEC-RAS

Aplikasi *Hydrologic Engineering Center River Analysis System* (HEC-RAS) yang diciptakan oleh *U.S. Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center* bertujuan untuk analisis profil aliran tetap (*steady flow*), aliran tidak tetap (*unsteady flow*), sedimentasi, maupun simulasi kualitas air. Pemodelan pada aplikasi ini berdasarkan persamaan-persamaan kontinuitas dan momentum, dan memerlukan beberapa komponen agar simulasi dapat berjalan.

#### A. Konsep perhitungan pada HEC-RAS

##### 1. 1D model

HEC-RAS pada model satu dimensi (1D) merupakan model yang hanya menghubungkan potongan melintang penampang sungai dengan struktur hidrolis dan diasumsikan hanya memiliki aliran arah memanjang (*longitudinal*) (Yazdan, Ahad, Kumar, & Mehedi, 2022). Persamaan-persamaan pada 1D model dapat dilihat di bawah ini:

##### a. Persamaan Energi

Menurut M. AL-Hussein, dkk (2022), persamaan energi untuk 1D model pada HEC-RAS dapat dilihat pada Rumus 2.56 dan Rumus 2.57.

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots\dots\dots(2.56)$$

$$h_e = L\bar{S} + C \left| \frac{\alpha_2 V_2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1}{2g} \right| \dots\dots\dots(2.57)$$

Keterangan:

$Z_1, Z_2$  = Elevasi atau ketinggian dasar saluran (m)

$Y_1, Y_2$  = Elevasi atau ketinggian air pada saluran (m)

$V_1, V_2$  = Kecepatan aliran (m/det)

$\alpha_1, \alpha_2$  = Koefisien kecepatan

$h_e$  = Ketinggian akibat kehilangan energi (m)

$L$  = Jarak antar kedua penampang

$S$  = Kemiringan atau gradien dasar saluran

$C$  = Koefisien kehilangan energi yang terjadi akibat penyempitan, pelebaran, atau belokan

b. Persamaan Kontinuitas

Menurut Pertiwi, dkk (2021), persamaan kontinuitas untuk 1D model pada HEC-RAS menggunakan Rumus 2.58.

$$\frac{\partial(AV)}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \dots\dots\dots(2.58)$$

Keterangan:

$A$  = Luas penampang basah (m<sup>2</sup>)

$V$  = Kecepatan aliran (m/det)

$q$  = aliran lateral masuk/keluar per satuan panjang (m/s)

$Q$  = Debit pada tengah saluran (m<sup>3</sup>/det)

$x$  = jarak antara dua penampang (m)

$t$  = waktu (detik)

c. Persamaan Momentum

Menurut Pertiwi, dkk (2021), persamaan momentum untuk 1D model pada HEC-RAS dapat dilihat pada Rumus 2.59 dan Rumus 2.60.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial h}{\partial x} + S_f \right) = 0 \dots\dots\dots(2.59)$$

$$S_f = \frac{n^2 V^2}{R^3} \dots\dots\dots(2.60)$$

Keterangan:

$g$  = Gravitasi (9,81 m/det<sup>2</sup>)

$h$  = Elevasi atau tinggi muka air (m)

- $S_f$  = gaya gesek kemiringan saluran
- $N$  = Koefisien kekasaran manning
- $R$  = Jari-jari hidrolis (m) = A/P

**2. 2D model**

HEC-RAS pada model dua dimensi (2D) merupakan model simulasi yang memiliki aliran arah memanjang (*longitudinal*) dan melintang (*lateral*), namun kecepatan pada sumbu z diabaikan (Dasallas, Kim, & An, 2019). Pergerakan aliran arah melintang dapat memberikan hasil simulasi genangan banjir atau luasan banjir pada daerah geometrik dengan menggunakan komputisasi *mesh* atau *grid*. Persamaan-persamaan yang digunakan dalam 2D model adalah Rumus 2.61 hingga Rumus 2.63 (Yazdan, Ahad, Kumar, & Mehedi, 2022).

a. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + v \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \dots\dots\dots(2.61)$$

b. Persamaan Momentum

Arah sumbu X:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f v \dots(2.62)$$

Arah sumbu Y:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f u \dots\dots(2.63)$$

Keterangan:

- $H$  = Ketinggian muka air (m)
- $h$  = Kedalaman air (m)
- $u$  = Rata-rata kecepatan aliran arah X (m<sup>2</sup>/det)
- $v$  = Rata-rata kecepatan aliran arah Y (m<sup>2</sup>/det)
- $q$  = debit banjir (m<sup>3</sup>/det)
- $v_t$  = Koefisien viskositas eddy
- $c_f$  = Koefisien gesekan
- $f$  = Parameter Coriolis

### 3. 1D-2D *coupled* model

Dalam menggabungkan 1D dan 2D model, HEC-RAS menggunakan *lateral structure* (*weir equation*) sebagai penghubung aliran sungai (1D) melampaui ke dataran banjir (2D) dan menjadi metode 1D-2D *coupled* model serta dapat diberi bangunan air (Dasallas, Kim, & An, 2019). Limpasan banjir yang meluap dari *lateral structure* ditentukan dengan persamaan aliran 2D atau persamaan weir (bendung) pada Rumus 2.64.

$$dQ = C(y_{ws} - y_w)^{\frac{2}{3}} dx \dots\dots\dots(2.64)$$

Keterangan:

$dQ$  = Limpasan struktur (m)

$dx$  = Jarak elemen (m)

$y_{ws}$  = Elevasi muka air (m)

$y_w$  = Elevasi struktur (m)

$C$  = Koefisien *weir* (Lampiran 3.12)

## B. Komponen hidrolika yang dibutuhkan pada HEC-RAS

### 1. Data geometri

Data geometri yang diperlukan pada simulasi pada Aplikasi HEC-RAS adalah sebagai berikut (Yazdan, Ahad, Kumar, & Mehedi, 2022):

- a. Peta DEM untuk *terrain* yang bertujuan sebagai tempat terjadinya simulasi.
- b. Alur sungai (*river*) dan bantaran sungai (*bank lines*) sebagai tempat aliran 1D dari hulu ke hilir.
- c. *Cross section* sebagai potongan melintang sungai.
- d. *Lateral structure* sebagai penghubung aliran sungai (1D) dengan dataran banjir (2D).
- e. *2D flow area* sebagai area dataran banjir untuk 2D *flow* model menggunakan komputasi *mesh* atau *grid* dengan resolusi yang dapat diatur. Ukuran *mesh* dianjurkan sama

atau kelipatan dari resolusi DEM agar hasil simulasi lebih nyata.

## **2. Debit banjir**

Debit banjir pada simulasi HEC-RAS dibedakan menjadi dua, *steady* dan *unsteady flow*. Aliran tetap atau *Steady flow* merupakan kondisi aliran ketika debit, kecepatan, tekanan, densitas, dan sebagainya tidak dipengaruhi oleh waktu, sedangkan aliran tidak tetap atau *unsteady flow* adalah kondisi aliran yang dipengaruhi oleh waktu. Data yang digunakan untuk *unsteady flow* adalah hidrograf satuan sintetis banjir.

## **3. Koefisien Kekasaran Manning**

Koefisien manning mempengaruhi laju dari sebuah aliran. Lampiran 3.13 merupakan daftar koefisien manning berdasarkan jenis tutupan lahan.

### **2.6 Penelitian Terdahulu**

#### **A. Pemilihan Metode Analisis Debit Banjir Rancangan Embung Coyo Kabupaten Grobogan**

Penelitian yang dilakukan oleh Sarminingsih (2018) adalah penelitian untuk memilih metode debit banjir rancangan yang tepat untuk DAS Coyo, dengan penggunaan metode HSS Nakayasu dan HSS Snyder. Analisis hidrologi dilakukan dengan pencarian curah hujan kawasan menggunakan metode poligon Thiessen, analisis statistik dan distribusi probabilitas, pengujian Smirnov-Kolmogorov, pengujian cara grafis, intensitas hujan metode mononobe, serta HSS debit banjir. Distribusi probabilitas yang memenuhi persyaratan adalah log normal. Berdasarkan hasil perhitungan, debit puncak metode HSS Nakayasu lebih kecil 10% dibandingkan dengan metode HSS Snyder. Namun, HSS Nakayasu dipilih yang mewakili debit rencana dikarenakan kesesuaian waktu puncak banjir dengan karakteristik DAS Coyo.

## **B. Analisis Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir Di Wilayah Hilir Aliran Kali Angke**

Suherman dan Firmansyah (2017) meneliti perubahan debit banjir rencana yang terjadi akibat berubahnya tata guna lahan pada daerah hilir kali angke. Metode pada penelitian ini adalah pencarian curah hujan kawasan menggunakan metode poligon Thiessen dan aritmatik, analisis statistik, pemilihan jenis sebaran, perhitungan distribusi probabilitas, koefisien limpasan, serta perhitungan debit rencana menggunakan metode rasional. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah berubahnya tata guna lahan mempengaruhi besar debit rencana. Koefisien tata guna lahan yang semakin besar akibat berkurangnya vegetasi mengakibatkan kenaikan pada debit banjir rencana.

### ● **C. *Estimating Flooding at River Spree Floodplain Using HEC-RAS Simulation***

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yazdan, Ahad, Kumar, dan Mehedi (2022), simulasi HEC-RAS dilakukan untuk mengetahui perkiraan kejadian banjir pada Sungai Spree di Jerman dan mitigasi yang dapat dilakukan. Model simulasi HEC-RAS dilakukan dengan beberapa perbedaan yakni dalam durasi simulasi, ukuran *grid* pada *2D flow area*, dan koefisien kekasaran Manning, serta beberapa mitigasi banjir. Simulasi yang dilakukan adalah *coupled 1D-2D* model sehingga dapat terlihat genangan akibat limpasan banjir dan elevasi muka air pada potongan melintang penampang. Adapun mitigasi yang dilakukan adalah dengan mengubah pola vegetasi yang mempengaruhi koefisien Manning, pengerukan, dan penambahan tanggul. Dari hasil simulasi, luasan genangan akibat banjir berkurang secara signifikan ketika diberlakukan mitigasi tersebut. Pengerukan dan penambahan tanggul menambahkan kapasitas dari sungai, sedangkan penambahan vegetasi yang menurunkan koefisien Manning memberikan hasil luasan banjir yang lebih kecil dibandingkan dengan koefisien Manning yang lebih tinggi. Selain itu, durasi banjir dan ukuran *grid* memberikan pola limpasan banjir yang berbeda.

#### ***D. An Operational Method for Flood Directive Implementation in Ungauged Urban Areas***

Penelitian yang dilakukan Papaioannou, dkk (2018) merupakan penelitian menggunakan simulasi dua dimensi (2D) pada Aplikasi HEC-RAS pada Kota Volos dengan DAS Xerias, Krafidonas dan Anavros, Yunani. Metode *Soil Conservation Service Curve Number* (SCS-CN) untuk curah hujan periode ulang 50, 100, dan 1000 tahun digunakan dalam penelitian ini. Hasil perbandingan antara simulasi HEC-RAS dengan kejadian terdahulu dilakukan dengan persentase kemiripan sebesar 77% pada simulasi HEC-RAS periode ulang 100 tahun dengan kejadian banjir tahun 2006 pada Alur Sungai Xerias. Tujuan dari simulasi HEC-RAS adalah untuk membuat peta banjir pada tiap periode ulang. Selain itu, penelitian ini menyatakan bahwa terdapat ketidakpastian dalam simulasi yang dapat disebabkan oleh beberapa hal; ketidakpastian pada parameter IDF yang berasal dari sampel data curah hujan yang terbatas, ketidakpastian hidrologi akibat kondisi kelembaban tanah yang mempengaruhi parameter metode SCS-CN, dan ketidakpastian koefisien manning akibat data tutupan lahan yang tidak tepat.

#### ***E. Using High-Density LiDAR Data and 2D Streamflow Hydraulic Modeling to Improve Urban Flood Hazard Maps: A HEC-RAS Multi-Scenario Approach***

Penelitian yang dilakukan oleh Mihu-Pintilie, dkk (2019) bertujuan untuk membuat peta potensi banjir berdasarkan hasil simulasi banjir dua dimensi (2D) pada Sungai Bistrita, Romania. Penggunaan data untuk penelitian ini adalah data hidrologi dan DEM dari LiDAR (resolusi 0,5 m). Berdasarkan hasil penelitian, 2D *flow* model dan DEM dari LiDAR merupakan kombinasi yang tepat untuk deliniasi banjir karena kondisi hidrolis sangat tergambar dengan baik (saluran, pertemuan saluran, jembatan, bendungan, jalan, dll). Hasil simulasi HEC-RAS berupa kedalaman banjir, luasan banjir, kecepatan aliran banjir, dan tinggi muka air.

Berdasarkan hasil simulasi, peta potensi dan klasifikasi banjir dibuat mengikuti pedoman *Ministry Of Land Infrastructure and Transport* (MLIT) serta pendataan kerusakan properti akibat banjir. Menurut Mihu-Pintilie dkk (2019), simulasi banjir model dua dimensi (2D) dengan DEM LiDAR penting dan diperlukan pada tiap lingkungan perkotaan.

#### **F. Case Study of HEC-RAS 1D–2D Coupling Simulation: 2002 Baeksan Flood Event in Korea**

Penelitian yang dilakukan oleh Dasallas, Kim, dan An (2019) merupakan simulasi HEC-RAS 1D-2D *Coupled* atau gabungan simulasi 1D-2D pada DAS Baeksan-Nakdong, Korea Selatan. Penggabungan simulasi satu dimensi (1D) dengan dua dimensi (2D) pada HEC-RAS dilakukan dengan penggunaan media berupa *lateral structure*. Selain menggunakan HEC-RAS untuk simulasi banjir, Aplikasi FLUMEN dan Aplikasi Gerris juga dipakai untuk simulasi 2D agar dapat dijadikan perbandingan. Hasil simulasi banjir HEC-RAS memiliki luas genangan lebih besar (3,88 km<sup>2</sup>) dibandingkan dengan FLUMEN (3,13 km<sup>2</sup>) dan Gerris (3,51 km<sup>2</sup>). Berdasarkan durasi banjir, genangan banjir sebesar 97% dari total area banjir terjadi pada jam ke-16, sedangkan pada Gerris dan FLUMEN pada jam ke-8. Perbedaan pada durasi puncak luas banjir terjadi karena perbedaan perhitungan dan pendekatan simulasi masing-masing aplikasi. Simulasi menggunakan HEC-RAS dinyatakan lebih realistis pada aspek sifat dinamis banjir dibandingkan FLUMEN dan Gerris.