

2 LANDASAN TEORI

2.1 Analisis Debit

2.1.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung – punggung gunung/pegunungan di mana air hujan jatuh di daerah tersebut akan mengalir ke sungai utama pada titik stasiun yang ditinjau. Daerah ini umumnya dibatasi oleh topografi yang berarti ditetapkan berdasarkan pada aliran permukaan (Irawan, Ikhsan, dkk., 2020). DAS merupakan suatu kesatuan yang sistematis, dimana terdapat *input* (curah hujan), proses (ekosistem DAS) dan *output* (debit, aliran permukaan, erosi, sedimentasi dan sebagainya). Komponen *output* berupa debit aliran adalah salah satu komponen yang dapat digunakan sebagai dasar dalam kajian analisis kondisi hidrologis suatu DAS. (Suripin, 2002 dalam jurnal Setiawan, 2022) menyatakan bahwa kualitas suatu DAS dapat diukur berdasarkan fluktuasi debit sungai yang mengalir dalam beberapa kondisi curah hujan yang berbeda.

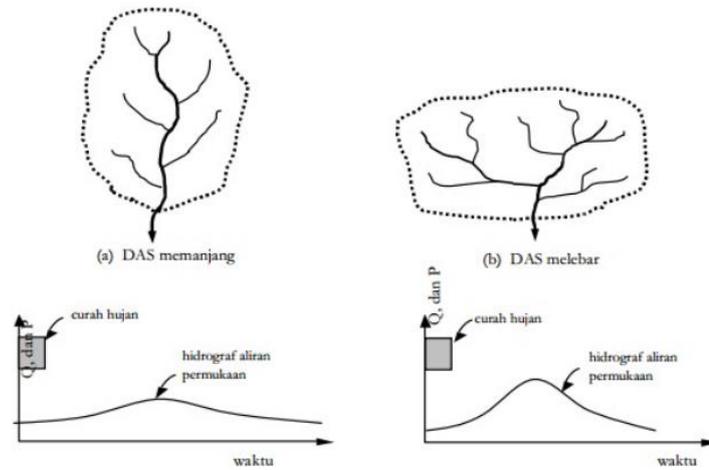
2.1.2 Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS)

Karakteristik suatu daerah aliran sungai (DAS) akan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain luas dan bentuk dari DAS tersebut, kondisi topografi, kondisi geologi serta vegetasi tutupan lahan atau tata guna lahan (Setiawan, 2022).

1. Luas dan Bentuk DAS

Luas DAS mempengaruhi kecepatan dan volume aliran permukaan, semakin luas suatu DAS maka volume aliran permukaan semakin besar. Sedangkan bentuk suatu DAS berpengaruh terhadap pola aliran dalam sungai. Pada curah hujan dan intensitas yang sama, dengan bentuk DAS yang berbeda akan mengakibatkan kecepatan aliran permukaan (*surface runoff*) dari bentuk DAS yang memanjang dan sempit akan lebih besar dari pada bentuk DAS yang melebar atau melingkar. Hal ini terjadi disebabkan waktu konsentrasi pada DAS memanjang terjadi lebih lama dibandingkan dengan DAS yang melebar,

sehingga terkonsentrasinya air di titik kontrol lebih lambat dan hal ini berakibat pada laju dan volume aliran permukaan.

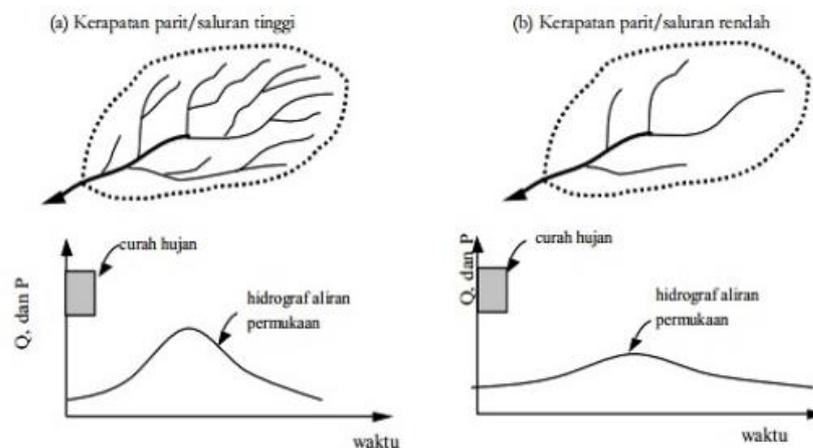


Gambar 2. 1 Pengaruh bentuk DAS pada *surface runoff*

Sumber: (Suripin, 2004)

2. Kondisi Topografi

Kondisi topografi seperti *slope*, keadaan dan kerapatan parit/saluran, serta bentuk-bentuk cekungan lainnya mempengaruhi kecepatan dan volume aliran permukaan. DAS dengan kemiringan curam disertai parit/saluran yang rapat akan menghasilkan laju dan volume aliran permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan DAS yang landai dengan parit yang jarang dan memiliki cekungan. Kerapatan parit sendiri memperpendek waktu konsentrasi sehingga memperbesar laju aliran permukaan.



Gambar 2. 2 Pengaruh kerapatan parit pada hidrograf

Sumber: (Suripin, 2004)

3. Tata Guna Lahan

Tata guna lahan pada mempengaruhi aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C), yaitu bilangan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Koefisien ini menjadi salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Nilai C berkisar antara 0-1. Nilai C yang mendekati angka nol menunjukkan bahwa kondisi DAS tersebut masih dalam keadaan baik dan sebaliknya nilai C yang semakin mendekati angka satu menunjukkan bahwa kondisi DAS dalam keadaan semakin rusak.

4. Kondisi geologi

Kondisi geologi berkaitan dengan laju infiltrasi sehingga dapat mempengaruhi aliran permukaan. Kecepatan dan jumlah air yang meresap ke dalam tanah merupakan fungsi dari jenis tanah, kelengasan tanah, permeabilitas tanah, penutup tanah, *drainase*, *water table*, intensitas dan jumlah hujan.

2.1.3 Pengelolaan Ekosistem Daerah Aliran Sungai (DAS)

Kegiatan pengelolaan DAS adalah sebuah pendekatan hlistek dalam mengelola sumberdaya alam yang bertujuan untuk meningkatkan kehidupan masyarakat dalam mengelola sumberdaya alam secara berkesinambungan membagi daerah kajian ekosistem suatu DAS menjadi tiga daerah, yaitu (Asdak, 2007):

1. Daerah hulu sungai

Daerah hulu sungai merupakan daerah konservasi dengan karakteristik alam berupa *slope* tajam, bukan daerah banjir ataupun genangan, kerapatan drainasenya tinggi, vegetasi penutup lahan biasanya merupakan tegakan hutan dan pemakaian air ditentukan oleh pola drainase.

2. Daerah hilir sungai

Daerah hilir merupakan daerah pemanfaatan dengan karakteristik alam berupa *slope* kecil sampai landai, merupakan daerah banjir dan genangan, vegetasi didominasi oleh tanaman pertanian serta pemakaian airnya diatur dengan berbagai prasarana pengairan seperti bendungan/waduk dan irigasi.

3. Daerah tengah sungai

Daerah aliran sungai bagian tengah merupakan daerah transisi dari kedua karakteristik biogeofisik DAS hulu dan hilir.

2.1.4 Analisis Hidrologi

2.1.4.1 Curah Hujan Wilayah

Hujan kawasan dalam satuan mm merupakan curah hujan maksimum harian merupakan curah hujan diseluruh daerah tersebut (Sari & Irawan, 2021). Hujan kawasan dapat dianalisis dengan beberapa metode diantaranya metode rerata aritmatika, polygon Thiessen, isohyet dan hujan titik (Irawan, Komala Sari, dkk., 2020). Data hujan yang diperoleh dari suatu stasiun hujan disebut hujan titik (*point rainfall*) sehingga belum dapat mewakili hujan kawasan. Hujan kawasan diperoleh dengan menghitung rata-rata curah hujan dari beberapa stasiun hujan yang ada dalam suatu kawasan DAS (Sari dkk., 2020). Metode yang umum dipakai dalam menentukan tinggi curah hujan rata-rata pada area tertentu yaitu metode rata-rata aljabar, metode *Polygon Thiessen* dan metode *Isohyet*.

Tabel 2. 1 Pemilihan Metode Penentuan Curah Hujan

Jumlah Pos Penangkar Hujan	Metode
Cukup	Isohyet, Poligon Thiesen atau Rerata Aljabar
Terbatas	Isohyet, Poligon Thiesen atau Rerata Aljabar
Tunggal	Rerata Aljabar atau Poligon Thiesen
Luas DAS	Metode
DAS besar(>5000 km ²)	Isohyet
DAS sedang (500 s/d 5000 km ²)	Poligon Thiesen
DAS kecil (<500 km ²)	Rerata Aljabar
Topografi	Metode
Pegunungan	Rerata Aljabar
Dtaran	Poligon Thiesen
Berbukit dan tidak beraturan	Isohyet

Sumber: (Suripin, 2004)

A. Metode Rerata Aritmatik (Aljabar)

Metode ini adalah yang paling sederhana untuk menghitung hujan rerata pada suatu daerah. Metode Rerata Aritmatik didasari asumsi bahwa semua stasiun hujan tersebar merata atau hampir merata dalam suatu kawasan yang mempunyai topografi relatif datar, sehingga mempunyai pengaruh yang sama terhadap suatu kawasan. Hujan kawasan di hitung dengan persamaan berikut.

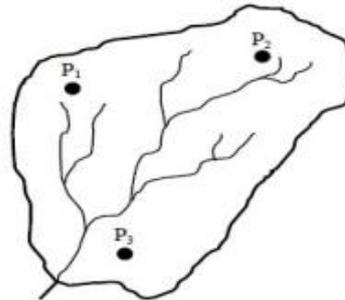
$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots}{n} \quad (2.1)$$

Dengan:

\bar{P} = Hujan rerata kawasan

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ = Hujan di stasiun 1, 2, 3, ..., n

n = Jumlah stasiun



Gambar 2. 3 Stasiun hujan di suatu DAS

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

B. Metode Thiessen

Metode *Thiessen* dihitung berdasarkan nilai hujan titik dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Pada suatu wilayah di dalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili wilayah tersebut. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Perhitungan *polygon Thiessen* dapat dihitung mengikuti persamaan di bawah ini.

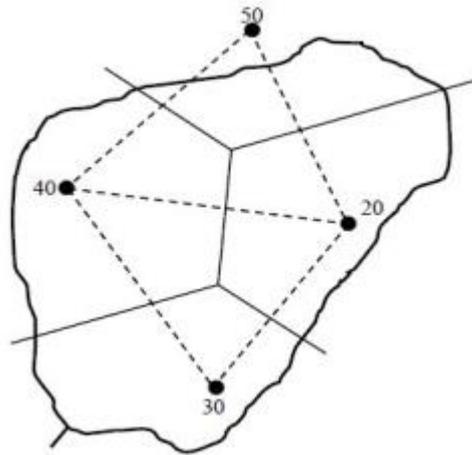
$$\bar{P} = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n}{A_{total}} \quad (2.2)$$

Dengan:

\bar{P} = Hujan rerata kawasan

P_1, P_2, \dots, P_n = Hujan pada stasiun 1, 2, ..., n

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah stasiun 1, 2, ..., n



Gambar 2. 4 Metode Poligon Thiessen

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

C. Metode Isohyet

Isohyet adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Pada metode *isohyet*, dianggap bahwa hujan pada suatu wilayah di antara dua garis *isohyet* adalah merata dan sama dengan nilai rerata dari kedua garis *isohyet* tersebut. Secara matematis hujan rerata tersebut dapat ditulis seperti pada persamaan berikut.

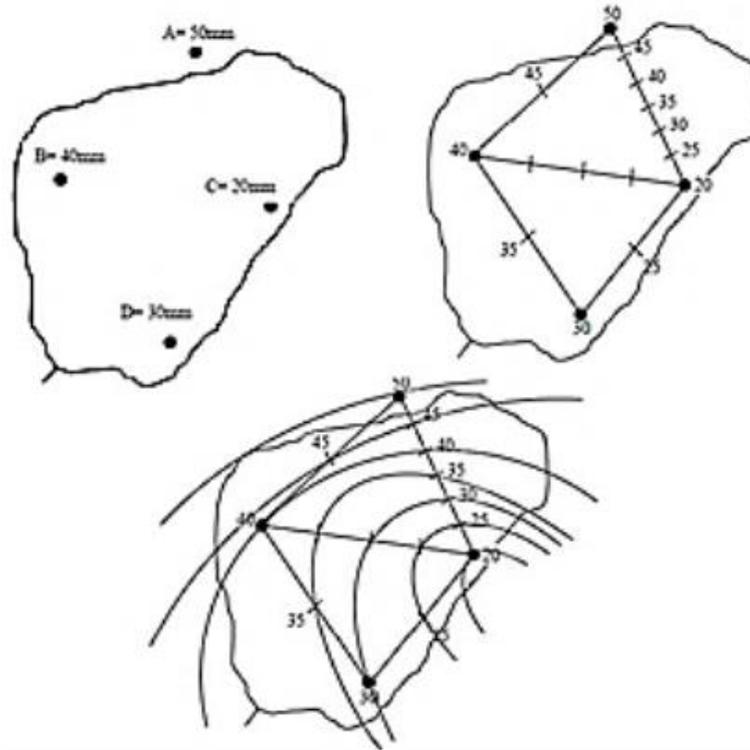
$$\bar{P} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.3)$$

Dengan:

\bar{P} = Hujan rerata kawasan

I_1, I_2, \dots, I_n = Garis *isohyet* ke 1, 2, ..., n

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas yang dibatasi oleh *isohyet* ke 1 dan 2, 2 dan 3, ..., n+1



Gambar 2. 5 Metode Isohyet

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

2.1.4.2 Pengisian Data Curah Hujan yang Hilang

Permasalahan dalam pengukuran hujan yang sering terjadi salah satunya adalah tidak tercatatnya data curah hujan karena rusaknya alat atau pengamat tidak mencatat. Metode yang dapat digunakan untuk mengisi data curah hujan yang hilang ini diantaranya metode.

A. Metode Perbandingan Normal (*Normal Ratio Method*)

Data yang hilang diperkirakan dengan persamaan berikut:

$$\frac{P_x}{N_x} = \frac{1}{n} \left(\frac{P_1}{N_1} + \frac{P_2}{N_2} + \dots + \frac{P_n}{N_n} \right) \quad (2.4)$$

Keterangan:

P_x = Curah Hujan yang hilang di stasiun X

P_n = Data hujan di stasiun sekitar pada periode yang sama

N_x = Hujan tahunan di Stasiun x

N_n = Hujan Tahunan di Stasiun Sekitar x

B. *Reciprocal Method* (Kantor Cuaca Amerika)

Metode ini menggunakan data curah hujan referensi dengan mempertimbangkan jarak stasiun yang akan melengkapi datanya dengan stasiun referensi tersebut, dengan persamaan berikut.

$$p_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{L_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i^2}} \quad (2.5)$$

Keterangan:

P_x = Curah Hujan yang hilang di stasiun x

P_i = Curah hujan di stasiun referensi yang akan dilengkapi

L_i = Jarak stasiun referensi dengan data stasiun x antara stasiun

2.1.4.3 Uji Konsistensi Data

Apabila terjadi kesalahan pada data hujan yang terlalu besar maka hasil analisis yang dilakukan akan diragukan. Oleh karena itu, sebelum data digunakan maka perlu dilakukan uji kualitas data hujan yaitu dengan uji kepanggaan. Satu seri data hujan untuk satu stasiun tertentu dimungkinkan sifatnya tidak pangkah (*inconsistent*). Uji kepanggaan diperiksa dengan metode kurva massa ganda (*double mass curve*). Metode ini membandingkan hujan tahunan kumulatif di stasiun y terhadap stasiun referensi x. Stasiun referensi biasanya merupakan nilai rerata dari beberapa stasiun di dekatnya. Curah hujan kumulatif digambarkan pada sistem koordinat kartesian x-y kemudian di cek perubahan kemiringannya (*trend*). Data yang konsisten memiliki garis yang cenderung lurus, apabila terdapat patahan/perubahan maka data tak konsisten dan perlu dilakukan koreksi. Koreksi

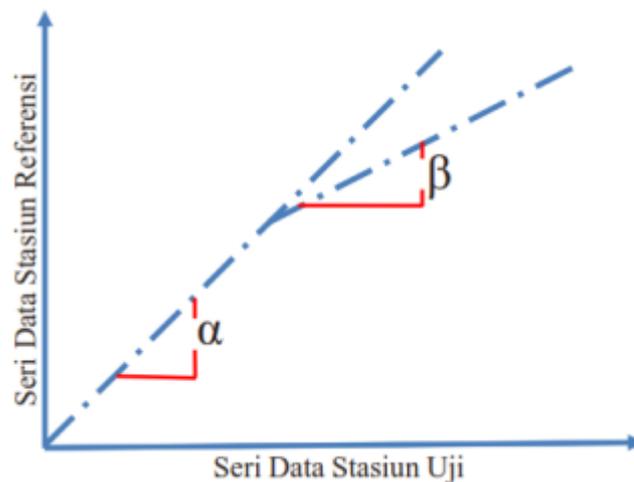
dilakukan dengan mengalikan data setelah kurva berubah dengan perbandingan kemiringan setelah dan sebelum kurva patah.

$$\frac{\alpha}{\beta} \quad (2.6)$$

Keterangan:

α = Kemiringan kurva sebelum patahan

β = Kemiringan kurva setelah patahan



Gambar 2. 6 Metode Massa Kurva Ganda

Sumber: (Soewarno, 1991)

2.1.4.4 Analisis Distribusi Frekuensi

Analisa distribusi frekuensi dipakai untuk mencari besaran curah hujan rencana yang ditetapkan berdasarkan patokan sesuai perencanaan. Analisa ini diperlukan untuk mendapatkan relevansi curah hujan rencana pada periode ulang rencana seperti 2, 5, 10, 20, 50, 100 dan 1000 tahun.

Metode yang dapat dipakai untuk melakukan analisis distribusi frekuensi curah hujan harian terhadap nilai rata-rata tahunannya dalam periode ulang tertentu antara lain distribusi Normal, distribusi *Log Normal*, distribusi *Gumbel* dan distribusi *Log Pearson III*. Penentuan metode yang tepat untuk analisa distribusi frekuensi akan dilakukan cek kesesuaian bergantung pada data dan fungsi

kebutuhan. Parameter statistik untuk menentukan jenis distribusi ditunjukkan dalam tabel dibawah ini.

- Koefisien *skewness* (Cs)

$$C_s = \frac{N \sum \text{Log } X - \log X}{(N - 1)(N - 2)(\sigma_{\log x})^3} \quad (2.7)$$

- Koefisien *kurtosis* (Ck)

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

- Koefisien *variansi* (Cv)

$$C_v = \frac{\sigma_{\log x}}{\log X} \quad (2.9)$$

Tabel 2. 2 Parameter Statistik untuk Menentukan Jenis Distribusi

No	Jenis Distribusi	Syarat Uji Distribusi	
1	Normal	Cs = 0	
		Ck = 3	
2	Log Normal	Cv ³ + 3Cv	Cs = 0
		Cv ⁸ + 6Cv ⁶ +15CV ² +3	Ck = 0
3	Gumbel	Cs = 1,14	
		Ck = 5,4	
4	Log Pearson tipe III	Jika Semua Syarat tidak terpenuhi	

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

A. Distribusi Normal

Persamaan metode distribusi Normal (Hartono, 1993) sebagai berikut.

$$X_{Tr} = \bar{X} + K_{Tr} \times S_X \quad (2.10)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_i^n X_i}{n} \quad (2.11)$$

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (2.12)$$

Keterangan:

X_{Tr} = Besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun

\bar{X} = Harga rata-rata dari data

K_{Tr} = Variabel reduksi Gauss

S_X = Simpangan baku

B. Distribusi *Log Normal*

Persamaan metode distribusi *Log Normal* (Hartono, 1993) adalah sebagai berikut.

$$\text{Log}X_{Tr} = \text{log} \bar{X} + K_{Tr} \times S_{\text{log}x} \quad (2.13)$$

$$\text{log} \bar{X} = \frac{\sum_i^n \log(X_i)}{n} \quad (2.14)$$

$$S_{\text{log}x} = \sqrt{\frac{\sum (\log X - \text{log} \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (2.15)$$

Dengan:

$\text{Log}X_{Tr}$ = Besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun

$\text{log} \bar{X}$ = Harga rata-rata dari data

K_{Tr} = Variabel reduksi Gauss

$S_{\text{log}x}$ = Simpangan baku

C. Distribusi *Gumbel*

Persamaan metode distribusi *Gumbel* (Hartono, 1993) adalah sebagai berikut.

$$X_{Tr} = \bar{X} + K \times S_X \quad (2.16)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_i^n X_i}{n} \quad (2.17)$$

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (2.18)$$

Dengan:

X_{Tr} = Besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun

\bar{X} = Harga rata-rata dari data

S_X = Simpangan baku

K = Faktor frekuensi (fungsi dari periode ulang dan tipe frekuensi)

Untuk menghitung faktor frekuensi *Gumbel* mengambil harga:

$$K = \frac{y_t - y_n}{S_n} \quad (2.19)$$

Dengan:

y_t = Reduksi sebagai fungsi dari probabilitas

y_n = Besaran yang merupakan fungsi dari jumlah pengamatan

S_n = Besaran yang merupakan fungsi dari jumlah pengamatan

D. Distribusi Log Pearson Type III

Persamaan metode distribusi *Log Pearson Type III* (Hartono, 1993) adalah sebagai berikut.

$$\text{Log}X_{Tr} = \log \bar{X} + K_{Tr} \times S_{\log x} \quad (2.20)$$

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_i^n \log(X_i)}{n} \quad (2.21)$$

$$S_{\log x} = \sqrt{\frac{\sum (\log X - \log \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (2.22)$$

Dengan:

$\text{Log}X_{Tr}$ = Besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun

$\log \bar{X}$ = Harga rata-rata dari data

K_{Tr} = Koefisien frekuensi *Log Pearson Type III*

$S_{\log x}$ = Simpangan baku

2.1.4.5 Analisis Sebaran Distribusi

Pengujian parameter untuk menguji kecocokan (*the goodness of fit test*) distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut.

A. Uji Chi Square

Uji *Chi-Kuadrat* (uji data vertikal) adalah ukuran perbedaan yang didapat antara frekuensi yang diamati dengan yang diharapkan. Uji *chi kuadrat* merupakan pengujian terhadap perbedaan antara data sampel dan distribusi probabilitas. Uji ini digunakan untuk menguji simpangan tegak lurus yang ditentukan dengan rumus Shahin (Soewarno, 1995).

$$(X^2)_{hit} = \sum_{i=1}^k \frac{(EF - OF)^2}{EF} \quad (2.23)$$

Dengan:

$(X^2)_{hit}$ = Uji statistik

OF = Nilai yang diamati (*Observed frequency*)

EF = Nilai yang diharapkan (*Expected frequency*)

$$EF = \frac{n}{k} \quad (2.24)$$

Uji *Chi-Kuadrat* merupakan uji simpangan vertikal dengan langkah-langkah sebagai berikut.

- Tentukan jumlah kelas distribusi (K)

$$K = 1 + 3,22 \log X \quad (2.25)$$

- Cari nilai Chi kuadrat hitung $(X^2)_{cr}$
- Besarnya nilai $(X^2)_{cr}$ dapat diperoleh berdasarkan taraf signifikan (α) dan derajat bebasnya (DK). Dengan memasukkan harga K dan sebaran *Chi Kuadrat* dapat diperoleh harga DK.

$$DK = K - (P - 1) \quad (2.26)$$

- Kemudian nilai $(X^2)_{cr}$ dibandingkan dengan nilai chi kuadrat kritis $(X^2)_{cr}$

- Jika Nilai $(X^2)_{cr} > (X^2)_{hitung}$, berarti sebaran vertikal dapat diterima.

B. Uji *Smirnov Kolmogorov*

Uji *Smirnov – Kolmogorov* (uji data horizontal) digunakan untuk menguji simpangan secara mendatar (Soewarno, 1995). Pengujian data terhadap simpangan horizontal sendiri yaitu menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\Delta_{maks} = |P_E(X) - P_t(X)| \quad (2.27)$$

Dimana:

Δ_{maks} = Selisih data probabilitas teoritis dan empiris

$P_t(X)$ = Posisi data x menurut sebaran teoritis

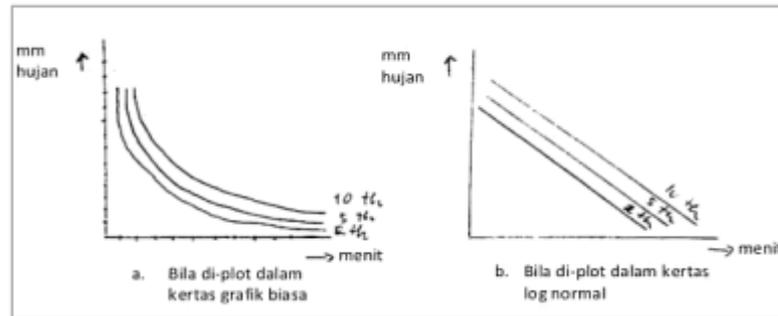
$P_E(X)$ = Posisi data x menurut sebaran empiris

Dari hasil perhitungan didapat perbedaan yang maksimum antara distribusi teoritis dan distribusi empiris yang disebut dengan Δ_{maks} . Kemudian Nilai Δ_{maks} hasil perhitungan dibandingkan dengan Δ_{cr} yang diperoleh dari Tabel untuk suatu derajat tertentu. Apabila $\Delta_{cr} > \Delta_{maks}$ maka hipotesa dapat diterima.

2.1.5 Intensitas Hujan Rencana

Intensitas hujan merupakan salah satu input yang akan digunakan dalam analisis debit rancangan (Sari & Irawan, 2021). Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut berkonsentrasi perlu didapatkan nilai suatu intensitas curah hujan untuk menentukan debit banjir rencana. Analisis intensitas curah hujan dapat diolah dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau. Intensitas curah hujan sangat dipengaruhi oleh lamanya suatu kejadian hujan atau waktu konsentrasi (t_c) serta curah hujan maksimum selama 24 jam.

Hubungan antara intensitas, lama hujan (durasi) dan frekuensi dapat dinyatakan dengan lengkung *Intensity Duration Frequency* (IDF) yang dibuat dengan data hujan jangka pendek (jam-jaman) dari penakar hujan otomatis. Analisis IDF memerlukan analisis frekuensi dengan menggunakan seri data yang diperoleh dari rekaman data hujan (Sudarto & Mukhlisin, 2010).



Gambar 2. 7 Lengkung Intensity Duration Frequency (IDF)

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

Curah hujan jangka pendek dinyatakan dalam intensitas per jam yang disebut intensitas curah hujan (mm/jam). Perhitungan Intensitas hujan untuk waktu konsentrasi tertentu (t_c) dengan metode *Mononobe* yang dikembangkan oleh (Suripin, 2004) dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.28)$$

Keterangan:

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t_c = lamanya curah hujan (jam)

R_{24} = curah hujan maks dalam 24 jam (mm)

Waktu konsentrasi (t_c) suatu DAS adalah waktu yang dibutuhkan oleh aliran air hujan yang jatuh ke permukaan tanah dan kemudian mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran DAS (*outlet*) setelah lahan menjadi jenuh. Waktu konsentrasi dapat dihitung dengan persamaan yang diberikan oleh Kirpich, yang berlaku untuk lahan pertanian kecil dengan luas daerah tangkapan kurang dari 80 hektar.

$$t_c = \frac{0,06628L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (2.29)$$

Keterangan:

t_c = waktu konsentrasi (jam)

L = panjang lintasan air dari titik terjauh sampai titik tinjau (km)

S = kemiringan antara elevasi maksimum dan minimum

Rumus lainnya untuk menghitung waktu konsentrasi juga diberikan oleh Hathway (Ponce, 1989 dalam Yusuf, 2021).

$$t_c = \frac{0,606(Ln)^{0,467}}{S^{0,234}} \quad (2.30)$$

Dengan (n) adalah koefisien kekerasan, sedang notasi lainnya sama dengan persamaan Kirpich. Berikut ini adalah Tabel yang menyajikan nilai koefisien kekerasan (n).

Tabel 2. 3 Nilai Koefisien kekerasan n

Tata guna lahan	n
Kedap air	0,02
Timbunan tanah	0,1
Tanaman pangan/tegalan dengan sedikit rumput pada tanah gundul yang kasar dan lunak	0,2
Padang rumput	0,4
Tanah gundul yang kasar dengan rumput dedaunan	0,6
Hutan dan sejumlah semak belukar	0,8

Sumber: (Triatmodjo, 2013 dalam Yusuf, 2021)

2.1.6 Koefisien Aliran Permukaan

Koefisien limpasan (C) adalah perbandingan antara jumlah air yang mengalir di suatu daerah akibat turunnya hujan, dengan jumlah hujan yang turun di daerah tersebut (Subarkah 1980, dalam Arianti, 2015). Besarnya aliran permukaan dapat menjadi kecil, apabila curah hujan tidak melebihi kapasitas infiltrasi.

Nilai koefisien aliran permukaan (C) berkisar antara 0 – 1 ($0 \leq C \leq 1$) (Chow dkk., 1988). Nilai nol menunjukkan bahwa semua air hujan yang turun terinfiltrasi sempurna ke dalam tanah sehingga DAS dalam kondisi baik, sedangkan nilai C = 1 menunjukkan bahwa seluruh air hujan mengalir sebagai aliran permukaan dan kondisi DAS dalam keadaan semakin rusak.

Apabila DAS terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan dengan koefisien pengaliran yang berbeda, maka nilai aliran permukaan (C) mengikuti persamaan berikut:

$$C_{DAS} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \times A_i}{A_i} \quad (2.31)$$

Keterangan:

C_{DAS} = Koefisien aliran permukaan suatu DAS

C_i = Koefisien aliran permukaan jenis penutupan lahan i

A_i = Luas daerah penutupan lahan dengan jenis penutupan lahan i

n = Jumlah jenis penutup lahan

Koefisien aliran permukaan diperoleh berdasarkan pada faktor kemiringan lereng, penggunaan lahan dan tekstur tanah. Koefisien C ini didapat dari pemberian skor pada masing-masing ketiga variabel tersebut dengan memperhatikan seberapa besar pengaruh kondisi variabel tersebut dalam debit puncak dan dengan memperhatikan luasan satuan lahan dan luasan DAS (Kadoatie & Roestam, 2005). Berikut beberapa Tabel nilai C menurut beberapa sumber.

Tabel 2. 4 Nilai Koefisien Limpasan Berdasarkan Tata Guna Lahan

Karakteristik Tanah	Tata Guna Lahan	Koefisien Limpasan (C)
Campuran pasir dan/ atau campuran kerikil	Pertanian	0,20
	Padang rumput	0,15
	Hutan	0,10
Geluh dan sejenisnya	Pertanian	0,40
	Padang rumput	0,35
	Hutan	0,30
Lempung dan sejenisnya	Pertanian	0,50
	Padang rumput	0,45
	Hutan	0,40

Sumber: (Lily, 2010 dalam Yusuf, 2021)

Tabel 2. 5 Koefisien Aliran Permukaan Terkalibrasi Citanduy Hulu

No	Keterangan	Nilai C
1	Hutan Lahan Kering Primer	0,02
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	0,03
3	Hutan Tanaman Industri	0,05
4	Semak dan Belukar	0,07
5	Pemukiman/Lahan Terbangun	0,70
6	Pertanian Lahan Kering	0,30
7	Pertanian Lahan Kering Campur Semak	0,18
8	Sawah	0,15
9	Perkebunan	0,40
10	Tubuh Air	0,05

Sumber: (Yusuf, 2021)

2.1.7 Indeks Infiltrasi

Penentuan hujan efektif untuk memperoleh hidrograf dilakukan dengan menggunakan indeks infiltrasi. Air Hujan yang jatuh sebagai salah satu bagian dari siklus hidrologi akan terintersepsi, sebagian akan terinfiltasi pada wilayah yang masih hijau dan akan menjadi limpasan (*runf off*) (Hidayat dkk., 2021). Infiltrasi merupakan unsur yang paling penting berkaitan dengan kehilangan air selain intersepsi, penguapan maupun tampungan cekungan. Oleh karena besarnya kehilangan air pada suatu DAS sangat dipengaruhi oleh keadaan kebasahan DAS sebelum terjadi hujan sehingga untuk memperkirakan besarnya kehilangan air untuk setiap kasus sangat sulit. Oleh sebab itu indeks infiltrasi (indeks Φ) digunakan sebagai sarana penyederhanaan untuk memperkirakan kehilangan air dengan nilai tetap selama hujan yang ditinjau. Nilai rata – rata indeks Φ didekati dengan persamaan (Sri Harto 1993), sebagai berikut:

$$\Phi = 10,4903 - 3,859 \times 10^{-6} + 1,6985 \times 10^{-13} \left(\frac{A}{SN} \right)^4 \quad (2.32)$$

Keterangan:

Φ = Indeks Infiltrasi (mm/jam)

A = Luas DAS (km²)

SN = Frekuensi sumber

2.1.8 Analisis Debit dengan Hidrograf Satuan Sintetik

2.1.8.1 Metode Gama-1

Metode Gama-1 dikembangkan berdasarkan perilaku hidrologis 30 DAS di Pulau Jawa oleh Sri Harto (1993, 2000). HSS Gama-I terdiri dari tiga bagian pokok yaitu sisi naik (*rising limb*), puncak (*crest*) dan sisi turun (*recesion limb*). Persamaan-persamaan yang digunakan dalam HSS Gama-I adalah sebagai berikut.

1. Waktu puncak HSS Gama-I (TR)

$$TR = 0,43 \left(\frac{L}{100SF} \right)^3 + 1,0665SIM + 1,2775 \quad (2.33)$$

2. Debit puncak banjir (QP)

$$QP = 0,1836A^{0,5886}TR^{-0,4008}JN^{0,2381} \quad (2.34)$$

3. Waktu dasar (TB)

$$TB = 27,4132TR^{0,1457}S^{-0,0986}SN^{0,7344}RUA^{0,2574} \quad (2.35)$$

4. Koefisien resesi (K)

$$K = 0,5617A^{0,1798}S^{-0,1446}SF^{-1,0897}D^{0,0452} \quad (2.36)$$

5. Aliran dasar (QB)

$$QB = 0,4715A^{0,6444}D^{0,9430} \quad (2.37)$$

6. Indeks Infiltrasi (Φ)

$$\Phi = 10,4903 - 3,859 \times 10^{-6}A^2 + 1,6985 \times 10^{-13} \left(\frac{A}{SN} \right)^4 \quad (2.38)$$

7. Debit pada jam ke t (Q_t)

$$Q_t = QP e^{-t/K} \quad (2.39)$$

Dengan:

A = luas DAS (km²)

L = panjang sungai utama (km)

S = kemiringan dasar sungai

SF = faktor sumber, jumlah panjang sungai tingkat satu dibagi dengan jumlah panjang sungai semua tingkat

SN = frekuensi sumber, jumlah pangsa sungai tingkat satu dibagi dengan jumlah pangsa sungai semua tingkat

WF = faktor lebar, perbandingan antara lebar DAS yang diukur di titik sungai yang berjarak $0,75 L$ dengan lebar DAS yang diukur di sungai yang berjarak $0,25 L$ dari stasiun hidrometri

JN = jumlah pertemuan sungai

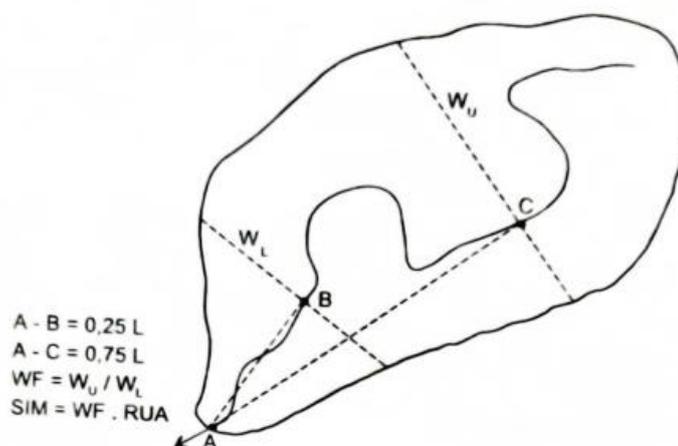
SIM = faktor simetri, hasil kali antara WF dengan RUA

RUA = Luas relatif DAS sebelah hulu, luas DAS hulu dibagi luas DAS (km^2)

D = kerapatan jaringan kuras, jumlah panjang sungai semua tingkat dibagi luas DAS

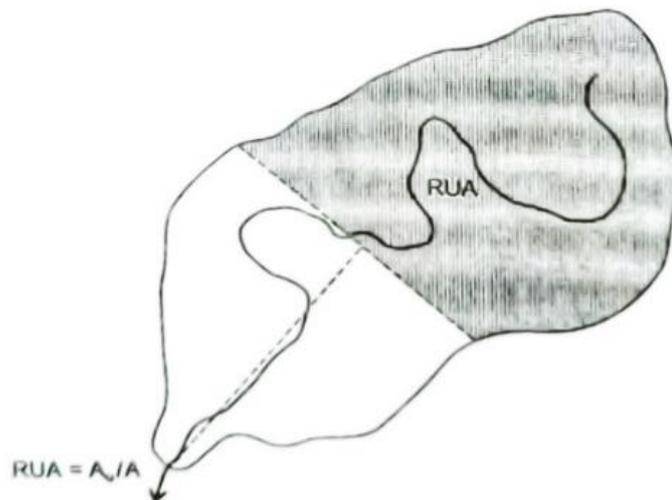
Φ = indeks infiltrasi (mm/jam)

Berikut ini adalah gambaran sketsa penetapan WF dan RUA pada suatu DAS.



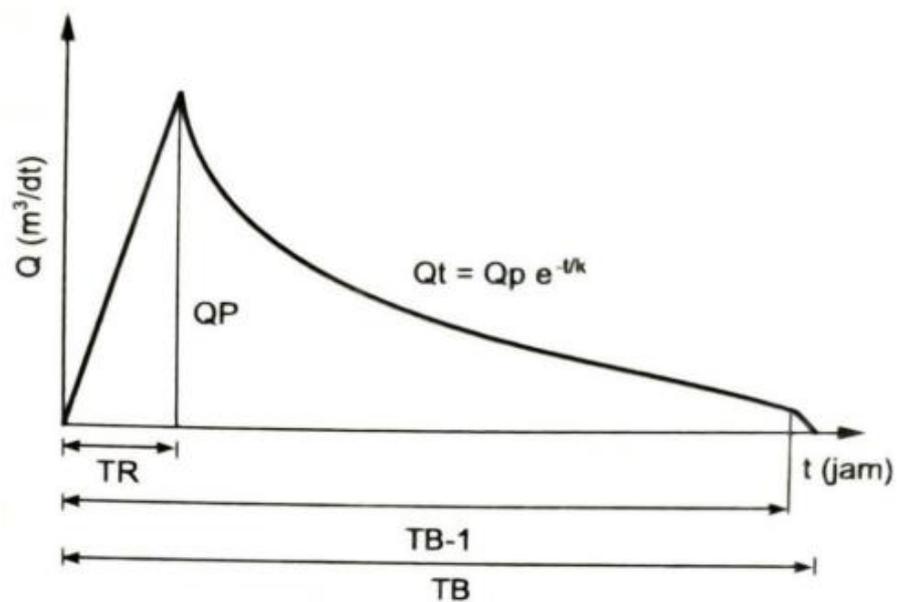
Gambar 2. 8 Sketsa Penetapan WF

Sumber: (Triatmodjo, 2008)



Gambar 2. 9 Sketsa Penetapan RUA

Sumber: (Triatmodjo, 2008)



Gambar 2. 10 Hidrograf Satuan Sintetik Gama-I

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

2.2 Analisis Genangan Banjir dengan *software* HEC-RAS

Hydrologic Engineering Centre River Analysis System (HEC-RAS) merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai atau *River Analysis System* (RAS), yang dapat mensimulasikan aliran tetap 1 dimensi (1D), perhitungan aliran tidak tetap 1 dimensi (1D), dan 2 dimensi (2D), transport

sedimen, simulasi kualitas dan temperatur air. Perhitungan profil muka air pada HEC-RAS berdasarkan pada persamaan energi dimana kehilangan energi akibat dari gesekan (koefisien Manning) dan kontraksi/ekspansi (koefisien dikalikan beda tinggi kecepatan). Pada penelitian ini, menggunakan aliran unsteady dimana simulasi kedalaman aliran air yang berubah terhadap waktu.

2.2.1 Pemodelan Aliran 1D

1. Persamaan Dasar

Proses fisik ini dapat digambarkan dengan persamaan matematis, yang dikenal sebagai Persamaan St. Venant. Persamaan tersebut terdiri dari persamaan kontinuitas (prinsip konservasi massa) dan persamaan momentum (prinsip konservasi momentum), yang dituliskan dalam bentuk persamaan diferensial parsial sebagai berikut (Siregar & Indrawan, 2017):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - ql = 0 \quad (2.40)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + Sf \right) = 0 \quad (2.41)$$

Keterangan:

A = luas total tampang aliran,

Q = debit aliran,

ql = debit lateral per satuan panjang,

V = kecepatan aliran,

g = percepatan gravitasi,

x = jarak (diukur searah aliran),

z = elevasi muka air,

t = waktu,

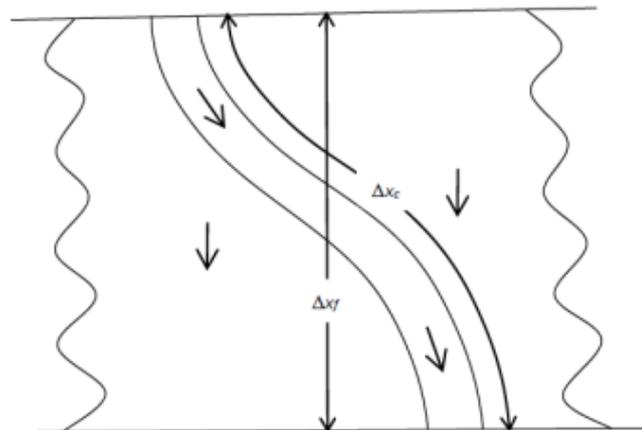
Sf = kemiringan garis energi (*friction slope*),

n = koefisien kekasaran Manning, dan

R = radius hidrolis.

2. Penerapan Persamaan Aliran Tak Tetap

HEC-RAS mengelompokkan alur saluran menjadi tiga bagian, bantaran kiri, alur utama, dan bantaran kanan seperti ilustrasi Gambar 2. 11. Saat air sungai mengalami kenaikan, air bergarak menyamping menjauh alur utama menuju bantaran sungai. Saat air mulai surut, air di bantara bergerak menuju alur utama karena arah utama aliran adalah sepanjang alur utama, aliran dua dimensi ini dapat dianggap mendekati aliran satu dimensi. Daerah genangan di luar alur utama dapat dimodelkan sebagai daerah tampung yang airnya dapat saling berpindah dari dan menuju alur utama.



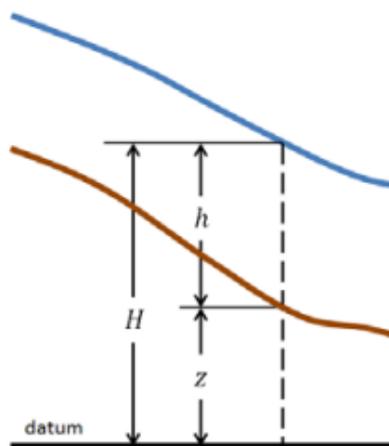
Gambar 2. 11 Aliran Melalui Alur Utama dan Bantaran

Sumber: (Istiarto, 2014)

2.2.2 Pemodelan Aliran 2D

1. Persamaan Dasar

Pemodelan HEC-RAS 2 dimensi menggunakan pendekatan persamaan air dangkal yang menjabarkan pengaliran air dalam istilah kedalaman rerata kecepatan aliran 2-dimensi serta tinggi muka air sebagai respon terhadap pengaruh gaya gravitasi serta pengaruh gaya gesek (Immanuella dkk., 2022). Ilustrasi elevasi permukaan bawah dengan simbol $z(x,y)$, kedalaman aliran yaitu $h(x,y,t)$, dan elevasi permukaan air yaitu H , dapat dilihat pada berikut:



Gambar 2. 12 Elevasi Permukaan Aliran

Sumber: (Sutapa, 2020)

Pada persamaan kontinuitas, diasumsikan bahwa aliran tak teratur maka bentuk persamaan aliran tak tetap yaitu:

$$\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \quad (2.42)$$

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa kecepatan aliran berubah terhadap waktu dan arah x dan y.

2.3 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan suatu sistem informasi berbasis komputer untuk menyimpan, mengelola dan menganalisis, serta memanggil data bereferensi geografis (Wibowo dkk., 2015). Karena itu SIG mempunyai kemampuan untuk menyimpan dan menghasilkan produk-produk peta dan sejenisnya. SIG juga menawarkan potensi untuk menjalankan analisis berganda ataupun mengevaluasi suatu skenario sebagaimana simulasi model (Lyon, 2002). SIG dalam sejatinya adalah sebuah pusat penyimpanan dan perangkat - perangkat analisis bagi data yang dikumpulkan dari berbagai sumber. Pengembang dapat menumpangtindihkan informasi dari berbagai sumber data tersebut melalui berbagai *theme* dan *layer*, melakukan analisis data secara menyeluruh dan menggambarkannya secara grafis bagi pengguna.

2.3.1 *Software* ArcGIS

ArcGIS adalah perangkat lunak *Geographic Information System* (GIS) dari ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) yang memungkinkan pengguna untuk memanfaatkan data dari berbagai format data. ArcGIS menyediakan kerangka yang *scalable* dapat disesuaikan menurut keperluan, yang mampu diimplementasikan untuk *single users* maupun *multiusers* dalam aplikasi *desktop*, server dan internet (Web).

ArcGIS *Desktop* merupakan *platform* dasar yang dapat digunakan untuk mengelola suatu proyek dan alur kerja Sistem Informasi Geografis (SIG) yang kompleks serta dapat digunakan untuk membangun data, peta, model, serta aplikasi (Hartoyo dkk., 2010). ArcGIS *Desktop* memiliki fitur *ArcCatalog*, *ArcMap*, *ArcToolbox*, *ArcGlobe*, dan *ModelBuilder*.

2.4 Metode ECLAC

Metode penilaian bencana pertama kali dikembangkan oleh ECLAC (*UN-Economic Commission for Latin America and Caribbean*) yang digunakan sebagai penilaian kerugian akibat bencana topan, banjir, gempa bumi pada negara-negara yang terkena bencana di wilayah Karibia, yang biasa dikenal DaLA (*Damage and Loss Assessment*). Metode ini pernah diadopsi dan diadaptasi oleh Pemerintah Indonesia untuk menghitung kerusakan dan kerugian akibat bencana tsunami di Aceh tahun 2004.

Suatu kawasan dikatakan banjir apabila daerah tersebut terkena dampak banjir baik itu kerusakan, bencana atau kerugian. Semua hal ini akan berdampak langsung terhadap aktivitas penduduk sekitar akibat dari daerah genangan banjir yang mengganggu daratan pemukiman penduduk maupun pertanian. Dalam hal ini kerusakan terjadi terhadap rumah dan lahan pertanian yang memberikan arti bahwasannya pemilik rumah harus mengeluarkan biaya perbaikan akibat banjir. Selain itu banjir juga memberikan dampak lain terhadap penduduk seperti: penyakit, gangguan terhadap psikologis dan memungkinkan terjadinya kematian. Untuk itu sudah semestinya dilakukan suatu analisis yang bertujuan menghitung kerugian banjir, agar nantinya dapat dilakukan antisipasi terhadap kerugian banjir tahunan. Metode ECLAC menganalisis tiga aspek utama yaitu (Puspita, 2017):

1. Kerusakan (dampak langsung), merupakan dampak terhadap asset, saham, properti yang dinilai dengan harga unit penggantian (bukan rekonstruksi) yang disepakati. Perkiraan itu harus memperhitungkan tingkat kerusakan (apakah aset masih bisa dipulihkan/diperbaiki, atau sudah sama sekali hancur).
2. Kerugian (dampak tidak langsung), merupakan proyeksi hambatan produktivitas akibat asset yang rusak/hilang akibat bencana, seperti potensi pendapatan yang berkurang, pengeluaran yang bertambah dan lain-lain selama beberapa waktu hingga aset dipulihkan; berdasarkan nilai saat ini. Kesepakatan atas periode pemulihan sangat penting, dengan pertimbangan bahwa semakin lama waktu yang diperlukan untuk pemulihan, seperti dalam kasus Aceh, dampak kerugian akan meningkat secara signifikan.
3. Dampak ekonomi (kadang disebut dampak sekunder) meliputi dampak fiskal, dampak pertumbuhan PDB, dan lain-lain. Analisis ini juga bisa diterapkan pada tingkat subnasional.

2.4.1 Estimasi Kerugian Ekonomi

Penilaian kerusakan dan kerugian (*Damage and Loss Assessment/DLA*) ini menggunakan metode ECLAC (*UN-Economic Commission for Latin America and Caribbean*) yang sudah umum digunakan untuk melakukan penilaian dampak pasca berbagai bencana internasional. Menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$K = n \times fK \times NUP \quad (2.43)$$

Keterangan:

K = Kerugian (Rp.)

fK = Faktor kerusakan

n = Jumlah atau area terdampak

NUP = Nilai unit pengganti

Jumlah/Area terdampak diperoleh dari hasil pengolahan data menggunakan ArcGis. Dalam menentukan nilai unit pengganti, penelitian ini menggunakan data kerugian per sektor UCBFM 2010 (*Upper Citarum Basin Flood Management*) sebagai referensi, kemudian dilakukan penyesuaian dengan nilai rupiah pada 2023.

Tabel 2. 6 Nilai Unit Pengganti 2010

Sektor	Nilai Unit Pengganti 2010 (Rp.)
Pertanian	9,295,500.00/ha
Industri Kecil	44,300,000.00/Unit
Industri Menengah	1,170,000,000.00/Unit
Industri Besar	2,600,000,000.00/Unit
Jalan Utama	1,480,000.00/m
Jalan Lokal	740,000.00/m
Pemukiman/Rumah Tangga	47,700,000.00/Unit

Sumber: (UCBFM, 2010)

Untuk menyesuaikan nilai unit pengganti ke tahun berikutnya, maka data nilai unit pengganti 2010 disesuaikan nilainya ke tahun berikutnya berdasarkan rata-rata tingkat inflasi selama berapa tahun kedepan yang ingin dicari. Berikut rumus yang digunakan.

$$FV = PV \times (1 + i)^n \quad (2.44)$$

Keterangan:

FV : Nilai masa depan

PV : Nilai sekarang

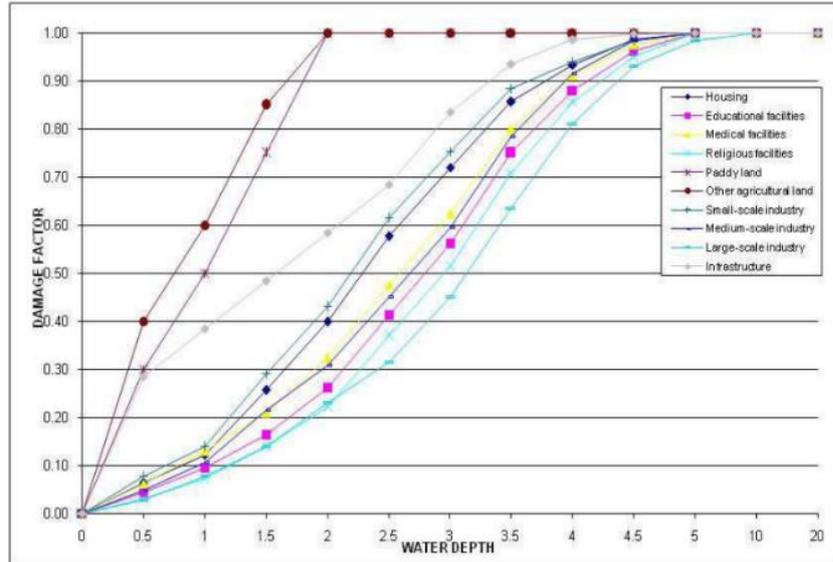
i : rata-rata tingkat inflasi, dan n : jumlah tahun

Tabel 2. 7 Tingkat Inflasi Tahun 2010-2023

Tahun	Nilai Inflasi (%)
2010	6.96
2011	3.79
2012	4.3
2013	8.38
2014	8.36
2015	3.35
2016	3.02
2017	3.61
2018	3.13
2019	2.72
2020	1.68
2021	1.87
2022	5.51
2023	2.61

Sumber: (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2024)

Faktor kerusakan ditentukan berdasarkan fungsi kerugian banjir di Kabupaten Bandung yang dibuat oleh JICA (*Japan international Cooperation Agency*), 2010



Gambar 2. 13 Fungsi Kerusakan banjir di Kabupaten Bandung

Sumber: (JICA, 2007)