

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

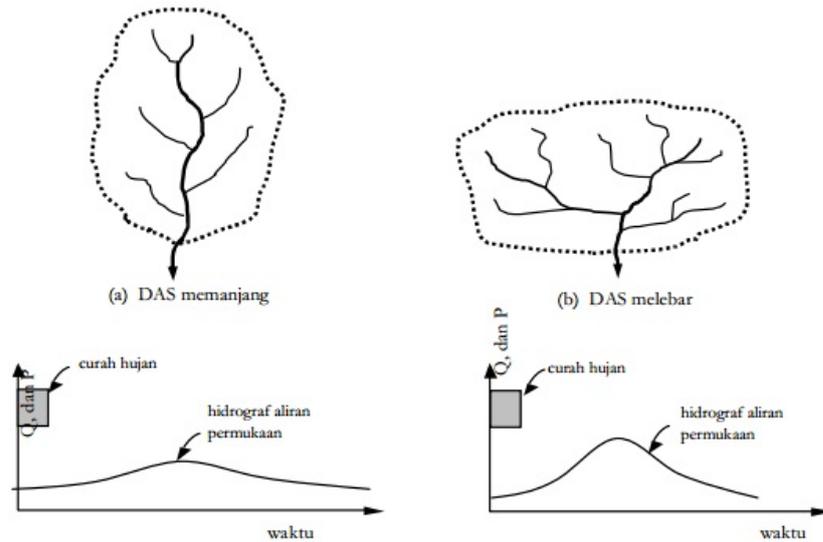
Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan sebagai satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungai yang berfungsi untuk menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan (UU No. 7 Tahun 2004). 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) menyatakan bahwa kualitas suatu DAS dapat diukur berdasarkan fluktuasi debit sungai yang mengalir dalam beberapa kondisi curah hujan yang berbeda.

2.1.1 Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS)

Karakteristik suatu daerah aliran sungai (DAS) akan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain luas dan bentuk dari DAS itu sendiri, kondisi topografi, kondisi geologi serta vegetasi tutupan lahan atau tata guna lahan. (Suripin, 2003)

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.

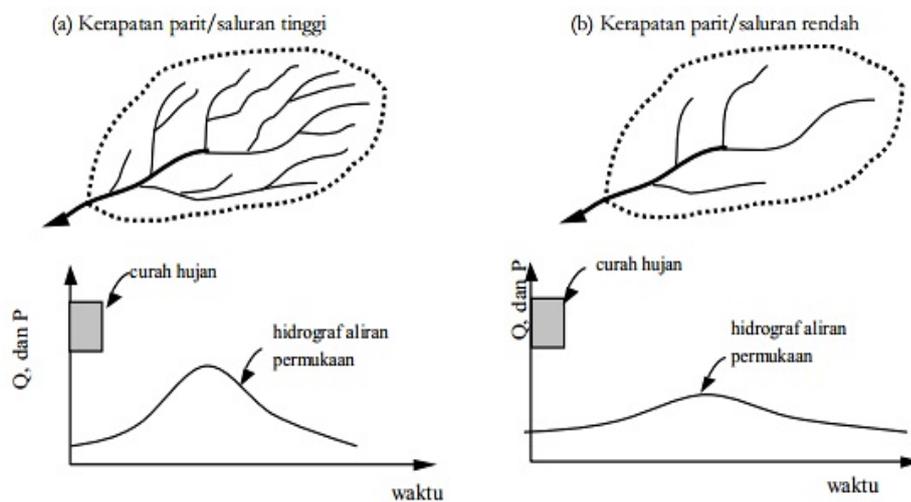


Gambar 2.1 Pengaruh bentuk DAS pada *surface runoff*

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.

2.1.2 Pengelolaan Ekosistem Daerah Aliran Sungai (DAS)

Kegiatan pengelolaan DAS adalah sebuah pendekatan hilistik dalam mengelola sumberdaya alam yang bertujuan untuk meningkatkan kehidupan masyarakat dalam mengelola sumberdaya alam secara berkesinambungan. (Asdak, 2018) membagi daerah kajian ekosistem suatu DAS menjadi tiga daerah, yaitu:

1. Daerah hulu sungai

Daerah hulu sungai merupakan daerah konservasi dengan karakteristik alam berupa *slope* tajam, bukan daerah banjir ataupun genangan, kerapatan drainasinya 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.

2.2 Potensi Banjir

2.2.1 Pengertian Banjir

Banjir adalah aliran yang relatif tinggi yang melampaui tanggul sungai sehingga aliran air menyebar ke dataran sungai dan menimbulkan masalah pada manusia (Chow, 1970). Definisi di atas menjelaskan bahwa banjir terjadi apabila kapasitas alir sungai telah terlampaui dan air telah menyebar ke dataran banjir, bahkan lebih jauh yang mengakibatkan terjadinya genangan. Genangan air tidak dikatakan banjir apabila tidak menimbulkan masalah bagi manusia yang tinggal pada daerah genangan tersebut (Hasibuan, 2004).

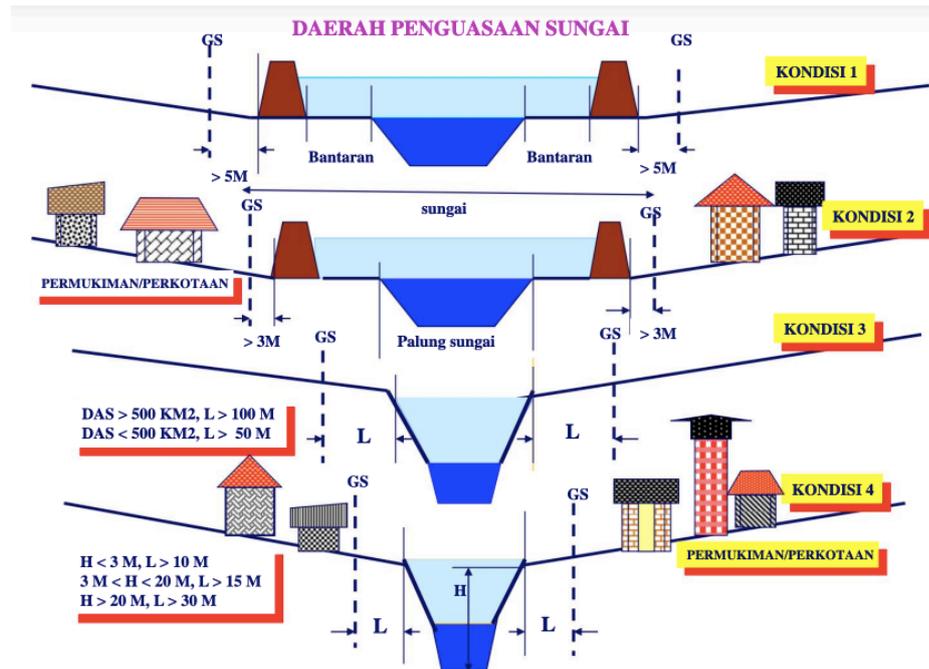
2.2.2 Daerah Rawan Banjir

Untuk mengurangi kerugian yang diakibatkan oleh banjir, maka harus diketahui pasti daerah rawan banjir. Berdasarkan karakteristik wilayah banjir dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Limpasan dari tepi sungai.
2. Wilayah cekungan.
3. Banjir akibat pasang surut.

Menurut Peraturan Menteri PU No. 63/PRT/2015 tentang garis sempadan sungai, daerah manfaat sungai, daerah penguasaan sungai dan bekas sungai, daerah penguasaan sungai adalah daratan banjir, daerah retensi bantaran atau daerah sempadan. Elevasi dan debit banjir daerah rawan banjir sekurang-kurangnya ditentukan berdasarkan analisis periode ulang 50 tahunan.

Tingkat resiko daerah rawan banjir bervariasi tergantung ketinggian permukaan tanah setempat. Dengan mengolah dan memanfaatkan peta kontur ketinggian permukaan tanah serta melalui analisis hidrologi dan hidrolika dapat ditentukan pembagian daratan banjir menurut tingkat resiko terhadap banjir. Pembagian daerah banjir dapat jadi bahan untuk penataan ruang kota sehingga akan diketahui resiko banjir yang dapat terjadi. Dengan mengikuti pemetaan daerah rawan banjir yang baik akan mengurangi terjadinya bencana/kerusakan/kerugian yang diakibatkan oleh genangan banjir.



Gambar 2.3 Daerah Daerah Penguasaan Sungai

Sumber: (BBWS Penali Juana, 2011)

2.2.3 Tingkat Bahaya Banjir

Banjir terjadi sepanjang sistem sungai dan anak-anak sungainya yang mampu membanjiri wilayah luas dan mendorong peluapan air di daratan banjirnya (*flood plain*) (Brenda 2009). Daratan banjir merupakan daerah rawan banjir yang dapat diklasifikasikan berdasarkan kala ulang banjirnya. Daratan banjir di sekitar bantaran sungai yang masuk dalam daerah genangan pada debit banjir tahunan q_{100} merupakan daerah rawan banjir yang sangat tinggi.

Tabel 2.1 Tingkat Bahaya Banjir Menurut Periode Kala Ulang

Kelas	Kala Ulang Debit Banjir	Daerah Rawan Banjir
1	$Q_{50} - Q_{100}$	Sangat Tinggi
2	$Q_{30} - Q_{50}$	Tinggi
3	$Q_{10} - Q_{30}$	Sedang
4	$Q_1 - Q_{10}$	Rendah

Sumber (Prima, 2015)

2.3 Analisis Hidrologi

2.3.1 Curah Hujan Wilayah

Curah hujan adalah ketinggian air hujan yang terkumpul dalam penakar hujan pada tempat yang datar, tidak menyerap, tidak meresap dan tidak mengalir. 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. Metode yang umum dipakai dalam menentukan tinggi curah hujan rata-rata pada area tertentu yaitu metode rata-rata aljabar, metode Poligon *Thiessen* dan metode *Isohyet*.

Tabel 2.2 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
Dataran	Poligon Thiesen
Berbukit dan tidak beraturan	Isohyet

Sumber: (Suripin, 2004)

2.3.1.1 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.

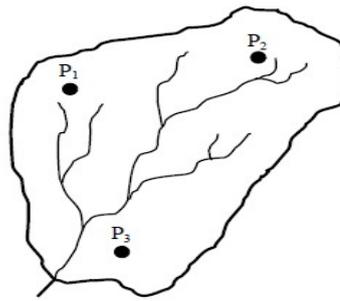
$$\bar{p} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots}{n} \quad 2-1$$

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 2.4 Stasiun hujan di suatu DAS

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

2.3.1.2 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 poligon *Thiessen* dapat dihitung mengikuti persamaan di bawah ini.

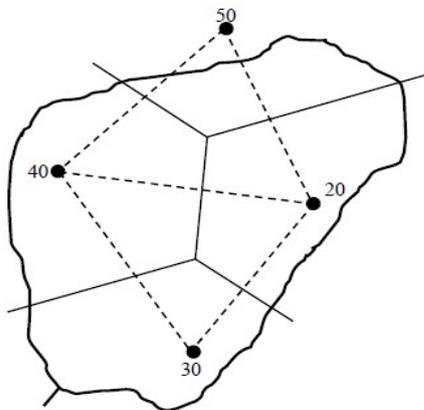
$$\bar{p} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_{total}} \quad 2-2$$

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 2.5 Metode Poligon *Thiessen*

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

2.3.1.3 Metode Isohyet

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

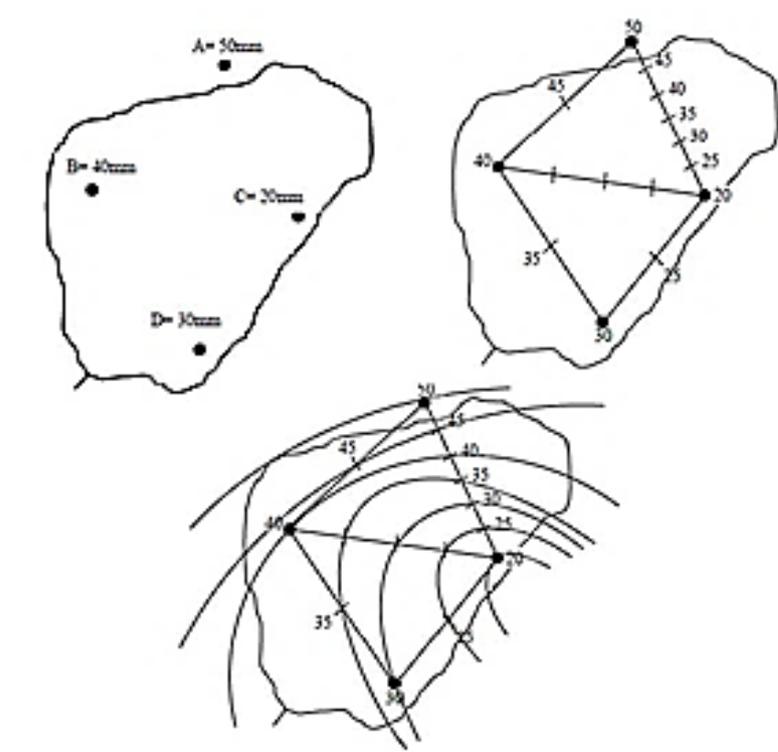
$$\bar{p} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad 2-3$$

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 2.6 Metode *Isohyet*

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

2.3.2 Analisis Perbaikan

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

2.3.2.1 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

2.3.2.2 Metode *Inversed Square Distance*

Inversed Square Distanced. Variabel yang digunakan pada metode ini adalah jarak stasiun terdekat dengan stasiun yang dicari data curah hujan hilangnya. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$p_x = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\left(\frac{p_i}{L_i^2} \right)}{\left(\frac{1}{L^2} \right)} \right) + \dots n \quad 2-5$$

Keterangan:

P_x = Curah Hujan yang hilang di stasiun X (mm)

P_i = Curah hujan di stasiun sekitarnya pada periode yang sama (mm)

L_i = Jarak antara stasiun (m)

2.3.3 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 panggah (*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 kemirinyannya (*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.

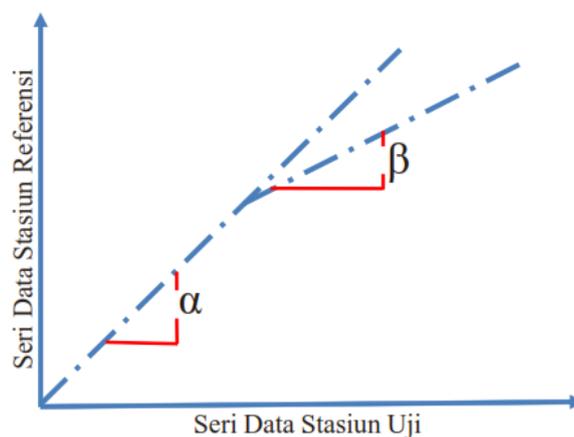
$$\frac{\alpha}{\beta}$$

2-6

Keterangan:

α = Kemiringan kurva sebelum patahan

β = Kemiringan kurva setelah patahan



Gambar 2.7 Metode Massa Kurva Ganda

Sumber: (Soewarno, 1991)

2.3.4 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 *skewnes* (C_s)

$$C_s = \frac{N \sum \log X - \log \bar{X}}{(N-1)(N-2)(\sigma_{\log X})^3} \quad 2-7$$

- 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)

$$C_v = \frac{\sigma_{\log X}}{\log \bar{X}} \quad 2-9$$

Tabel 2.3 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 ⁴ + 16Cv ² + 3	Ck = 0
3	Gumbell	Cs = 1,14	
		Ck = 5,4	
4	Log Pearson tipe III	Jika semua syarat tidak terpenuhi	

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

2.3.4.1 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

2.3.4.2 Distribusi Log Normal

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

$$\log X_{Tr} = \log \bar{X} + K_{Tr} \times S_{\log X} \quad 2-13$$

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_1^n \log(X_i)}{n} \quad 2-14$$

$$S_{\log X} = \sqrt{\frac{\sum (\log X - \log \bar{X})^2}{n - 1}} \quad 2-15$$

Dengan :

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

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

K_{Tr} = Variabel reduksi Gauss

$S_{\log X}$ = Simpangan baku

2.3.4.3 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

2.3.4.4 Distribusi *Log Pearson Type III*

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

$$\log X_{Tr} = \log \bar{X} + K_{Tr} \times S_{\log X} \quad 2-20$$

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_1^n \log(X_i)}{n} \quad 2-21$$

$$S_{\log X} = \sqrt{\frac{\sum (\log X - \log \bar{X})^2}{n - 1}} \quad 2-22$$

Dengan :

$\log X_{Tr}$ = 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

2.3.5 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.

2.3.5.1 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.

2.3.5.2 Uji *Smirnov Kolmogrov*

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

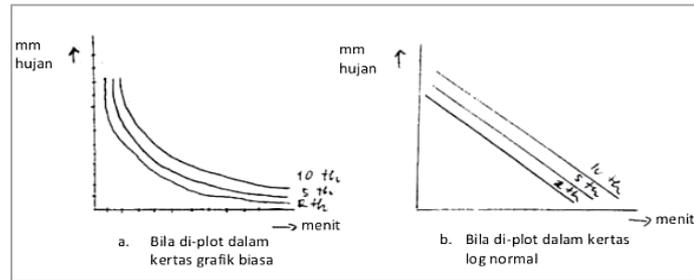
$P_E(X)$ = Posisi data x menurut sebaran empiris

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.

2.4 Intensitas Hujan Rencana

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 (Sri Harto, 1993 dalam (Sudarto & Mukhlisin, 2010).



Gambar 2.8 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 Kirpich (1940, dalam 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.

$$t_c = \frac{0,06628L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad 2-29$$

Dengan: 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 2.4 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)).

2.5 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 et al., 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 2.5 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 2.6 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)

2.6 Indeks Infiltrasi

Penentuan hujan efektif untuk memperoleh hidrograf dilakukan dengan menggunakan indeks infiltrasi. Hal ini karena 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:

$$\phi = 10.4903 - 3.859 \times 10^{-6} + 1.6985 \times 10^{-13} \left(\frac{A}{SN} \right)^4 \quad 2-32$$

Dimana: ϕ = Indeks Infiltrasi (mm/jam)

A = Luas DAS (km²)

SN= Frekuensi sumber

2.7 Analisis Debit Banjir Rencana

2.7.1 Metode Rasional

Persamaan Rasional dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa curah hujan yang terjadi mempunyai intensitas seragam dan merata di seluruh daerah pengaliran selama paling sedikit sama dengan waktu konsentrasi (t_c) (Suripin, 2004).

Persamaan matematik persamaan Rasional adalah sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{1}{360} \times C \times I \times A \quad 2-33$$

Dimana: Q_p = Debit maksimum rencana (m³/dt).

A = Luas daerah aliran (Ha)

C = Koefisien aliran ($0 \leq C \leq 1$)

I = Intensitas curah hujan (mm/jam).

2.7.2 Hidrograf Satuan Sintetik

2.7.2.1 Metode Nakayasu

HSS Nakayasu dikembangkan berdasarkan beberapa sungai di Jepang (Soemarto, 1987). Adapun parameter yang berpengaruh antara lain.

1. Tenggang waktu dari permulaan hujan hingga akhir dari hujan
2. Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograph*)
3. Luas daerah pengaliran

4. Panjang alur sungai utama terpanjang (*length of the longest channel*)
5. Koefisien pengaliran (*run-off coefficient*)

Adapun rumus perhitungan HSS Nakayasu (Soemarto, 1987) yaitu:

$$Q_P = \frac{C \times A \times R_o}{3,6(0,3T_P + T_{0,3})} \quad 2-34$$

Keterangan :

Q_p = Debit puncak banjir (m^3 /detik)

R_o = Hujan satuan (mm)

T_p = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (hour)

$T_{0,3}$ = Waktu yang diperlukan oleh penurunan Q dari puncak hingga 30% Q_p

A = Luas daerah pengaliran sampai ke outlet

C = Koefisien pengaliran

Dalam menentukan T_p dan $T_{0,3}$ digunakan sebuah rumus pendekatan yaitu:

$$T_p = tg + 0,8 + T_r \quad 2-35$$

$$T_{0,3} = a \times tg \quad 2-36$$

Hujan efektif yang menyebabkan terjadinya limpasan dihitung sebagai berikut.

$$T_r = 0,75 \times tg \quad 2-37$$

Dimana tg adalah *time lag* yaitu waktu antara hujan sampai debit puncak banjir (*hour*). Besarnya tg dihitung dengan syarat sebagai berikut.

a) Jika sungai dengan panjang alur $L > 15$ km, maka:

$$tg = 0,4 + 0,058 \times L \quad 2-38$$

b) Jika sungai dengan panjang alur $L < 15$ km, maka:

$$tg = 0,21 \times L^{0,7} \quad 2-39$$

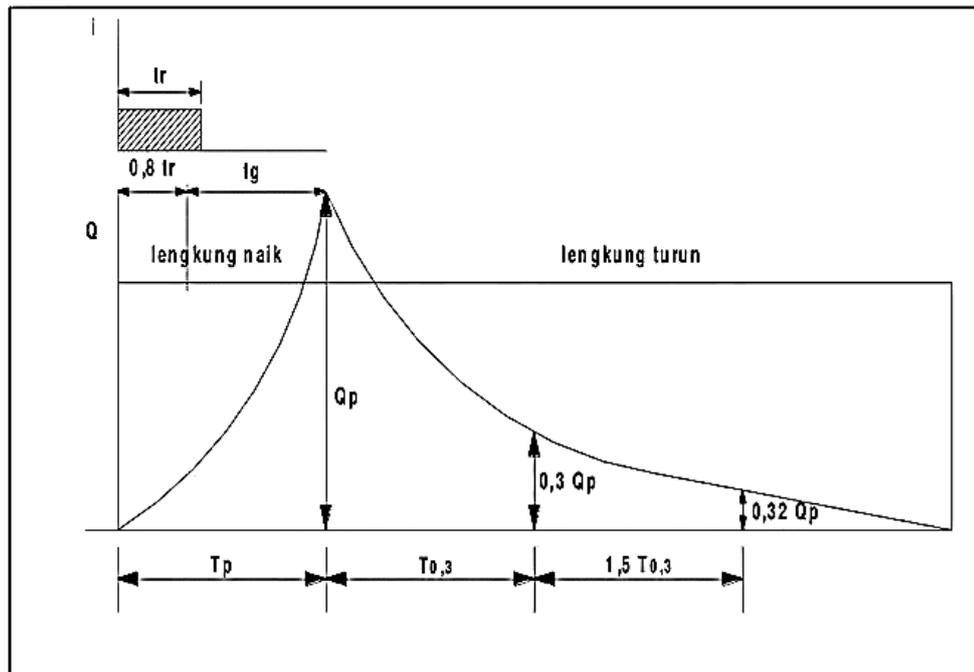
Perhitungan $T_{0,3}$ menggunakan ketentuan parameter hidrograf α sebagai berikut.

$\alpha = 2$ - pada daerah pengaliran biasa

$\alpha = 1,5$ - pada bagian naik hidrograf lambat, dan turun cepat

$\alpha = 3$ - pada bagian naik hidrograf cepat, dan turun lambat

$$\alpha = \frac{0,47 \times (A \times L^{0,25})}{tg} \quad 2-40$$



Gambar 2.9 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

Bagian lengkung dari HSS Nakayasu mempunyai persamaan sebagai berikut.

1. Waktu naik $0 \leq t < T_p$

$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad 2-41$$

2. Waktu turun

- a) $T_p \leq t < T_p + T_{0,3}$

$$Q_t = Q_p \times 0,3 \left(\frac{t - T_p}{T_{0,3}} \right) \quad 2-42$$

- b) $T_p + T_{0,3} \leq t < (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q_t = Q_p \times 0,3 \left(\frac{t - T_p + 0,5T_{0,3}}{1,5 - T_{0,3}} \right) \quad 2-43$$

- c) $t > T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$

$$Q_t = Q_p \times 0,3 \left(\frac{t - T_p + 0,5T_{0,3}}{2T_{0,3}} \right) \quad 2-44$$

2.7.2.2 Metode Snyder

Pada awal tahun 1938, F.F. Snyder dari Amerika Serikat mengembangkan rumus empiris dengan koefisien-koefisien empiris yang menghubungkan unsur-unsur hidrograf satuan dengan karakteristik daerah pengairan (Triatmodjo, 2008).

1. Waktu dari titik berat durasi hujan efektif t_D ke puncak hidrograf satuan, t_p

$$t_p = C_t(LLC)^{0,3} \quad 2-45$$

2. Debit puncak untuk durasi t_D (Q_p)

$$Q_p = \frac{C_p \times A}{t_p} \quad 2-46$$

3. Waktu dasar hidrograf satuan (T)

$$T = 3 + \frac{t_p}{8} \quad 2-47$$

4. Durasi standar dari hujan efektif (t_D)

$$t_D = \frac{t_p}{5,5} \quad 2-48$$

5. Apabila durasi hujan efektif t_r tidak sama dengan durasi standar t_D , maka:
Waktu dari titik berat durasi hujan t_r ke puncak hidrograf satuan (t_{pR})

$$t_{pR} = t_p + 0,25(t_r - t_D) \quad 2-49$$

6. Debit puncak untuk durasi t_r (Q_{pR})

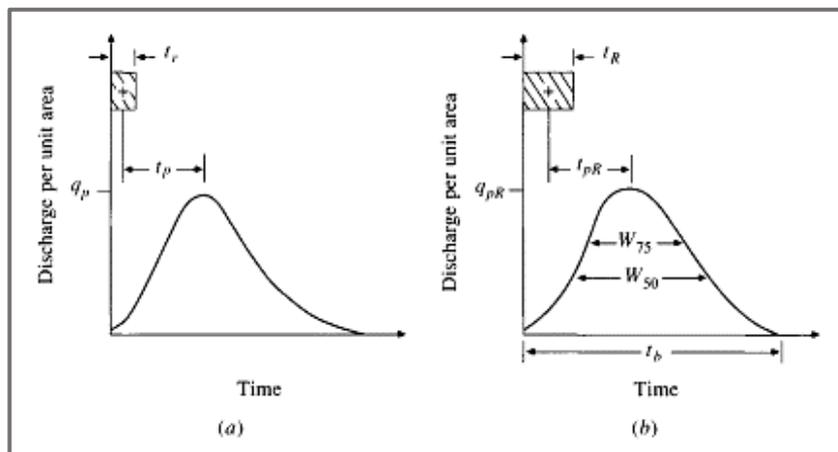
$$Q_{pR} = Q_p \times \frac{t_p}{t_{pR}} \quad 2-50$$

7. Lebar unit hidrograf pada debit 50% dari debit puncak

$$= \frac{0,23A^{1,08}}{(Q_{pR})^{1,08}} \quad 2-51$$

8. Lebar unit hidrograf pada debit 75% dari debit puncak

$$W_{75} = \frac{0,13A^{1,08}}{(Q_{pR})^{1,08}} \quad 2-52$$



Gambar 2.10 Hidrograf Satuan Sintetik Snyder

Sumber: (Chow et al., 1988)

2.7.2.3 Metode *Gama-I*

Metode *Gama-I* 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)

$$TR = 0.43 \left(\frac{L}{100SF} \right)^3 + 1.0665SIM + 1.2775 \quad 2-53$$

2. Debit puncak banjir (QP)

$$QP = 0.1836A^{0.5886}TR^{-0.4008}JN^{0.2381} \quad 2-54$$

3. Waktu dasar (TB)

$$TB = 27.4132TR^{0.1457}S^{-0.0986}SN^{0.7344}RUA^{0.2574} \quad 2-55$$

4. Koefisien resesi (K)

$$K = 0.5617A^{0.1798}S^{-0.1446}SF^{-1.0897}D^{0.0452} \quad 2-56$$

5. Aliran dasar (QB)

$$QB = 0.4715A^{0.6444}D^{0.9430} \quad 2-57$$

6. Indeks Infiltrasi (Φ)

$$\phi = 10.4903 - 3.859 \times 10^{-6} + 1.6985 \times 10^{-13} \left(\frac{A}{SN} \right)^4 \quad 2-58$$

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.

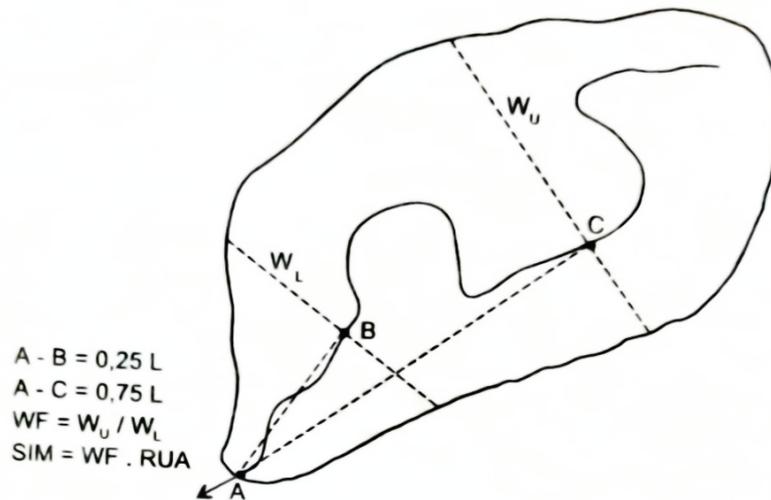
SIM = faktor simetri, hasil kali antara WF dengan RUA.

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

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

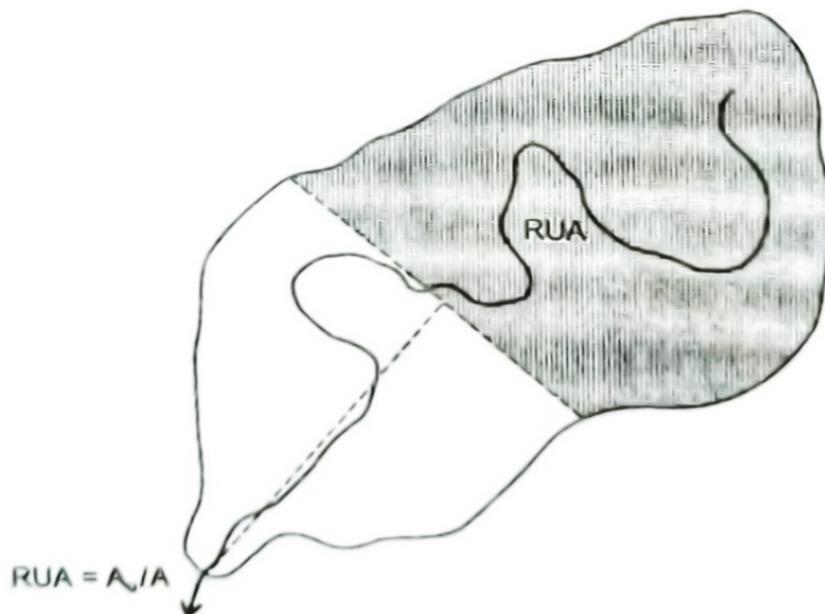
Φ = indeks infiltrasi (mm/jam)

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



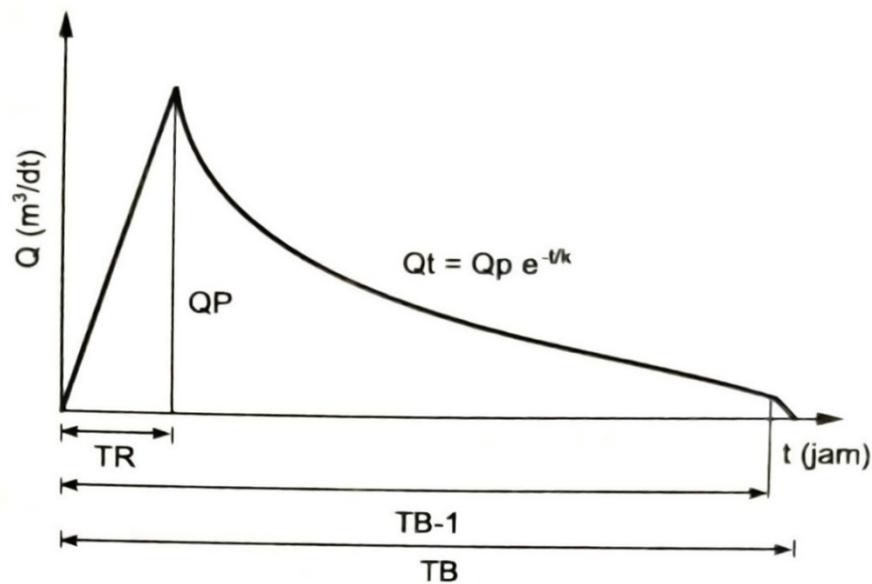
Gambar 2.11 Sketsa Penetapan WF

Sumber: (Triatmodjo, 2008)



Gambar 2.12 Sketsa Penetapan RUA

Sumber: (Triatmodjo, 2008)



Gambar 2.13 Hidrograf Satuan Sintetik Gama-I

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

2.8 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah basis data yang biasanya mempunyai komponen spasial dalam pengolahan dan penyimpanannya. 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, 2003).

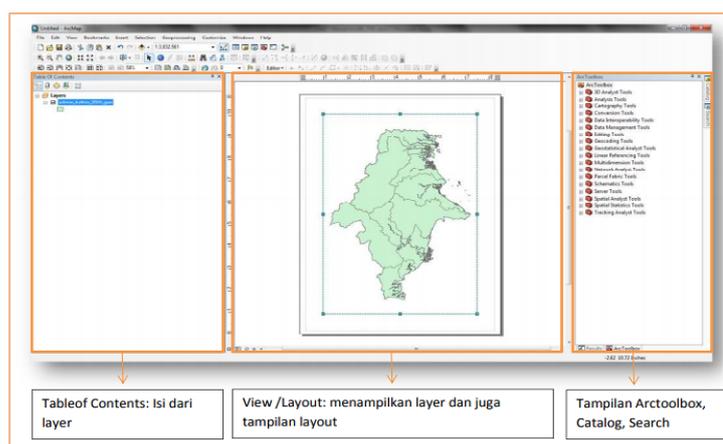
SIG dalam sejatinya adalah sebuah pusat penyimpanan dan perangkat - perangkat analisis bagi data yang dikumpulkan dari berbagai sumber. Pengembang dapat menumpangtindihkan informasi dari berbagai sumber data tersebut melalui berbagai *theme* dan *layer*, melakukan analisis data secara menyeluruh dan menggambarkannya secara grafis bagi pengguna (Albrecht, 2007).

2.8.1 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 et al., 2010). ArcGIS *Desktop* memiliki fitur *ArcCatalog*, *ArcMap*, *ArcToolbox*, *ArcGlobe*, dan *ModelBuilder*.

Program ArcMap adalah program yang akan digunakan dalam pengolahan data spasial pada penelitian ini. Secara umum program ini akan digunakan untuk input data spasial, menganalisis serta akan memunculkan hasil analisis datanya yang dapat berupa visualisasi peta maupun data berupa angka.



Gambar 2.14 Tampilan ArcMap

Sumber: (ESRI, 2010)

2.8.2 *Input Data Spasial*

Data Spasial, merupakan data atau informasi yang berorientasi geografis dan memiliki sistem koordinat tertentu sebagai dasar referensinya. Terdapat dua model penyajian data spasial yaitu data raster dan data vektor.

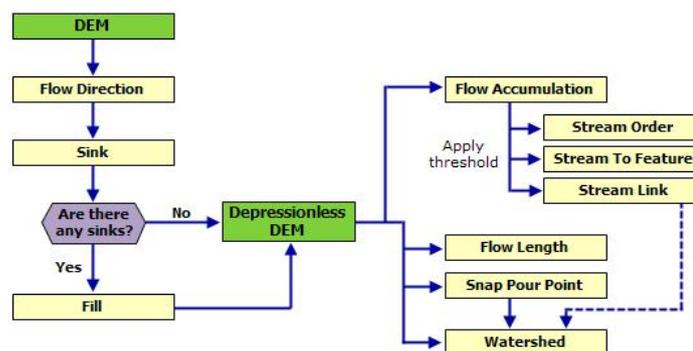
Input data adalah proses mengidentifikasi dan mengumpulkan data yang diperlukan pada penelitian. Proses ini awalnya terdiri dari pengumpulan data, pemformatan ulang, *georeferensi*, kompilasi dan dokumentasi data. Komponen masukan data mengubah data dari data mentah kesuatu bentuk yang dapat digunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Data spasial yang digunakan yaitu berupa peta *land cover* yang akan diolah untuk menghasilkan data yang dibutuhkan dalam melaksanakan penelitian ini.

2.8.3 Analisis dan *Output Data Spasial*

Analisis data spasial merupakan salah satu kemampuan yang dimiliki oleh program ArcGIS yang digunakan untuk memperoleh informasi baru. Fungsi analisis yang akan digunakan diantaranya yaitu *scoring*, *overlay* dan delinasi batas DAS (*watershed*). Yang akan dilakukan dalam penelitian yaitu analisis memprediksi nilai koefisien aliran permukaan (C) pada suatu DAS akibat terjadi perubahan tataguna lahan dengan menggunakan metode rasional pada data debit puncak yang diukur secara langsung dengan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG).

Nilai koefisien aliran permukaan (C) dipengaruhi oleh kelerengan, jenis tanah dan penutupan lahan (Wahyuningrum, Nining; Pramono, 2007). Sehingga pada proses tumpang-susun (*overlay*) yang akan dilakukan adalah menggunakan rumus koefisien aliran permukaan ($C_{\text{tertimbang}}$) yang memperhitungkan ketiga faktor tersebut dengan bantuan program ArcMap yang terdapat pada ArcGIS. Masing-masing faktor diklasifikasikan dan tiap kelas diberi nilai (*scoring*) dan bobot.

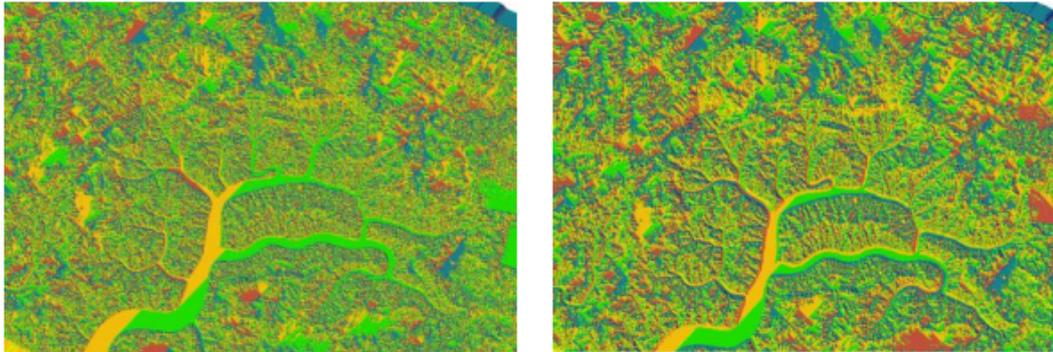
Analisis data spasial pada ArcMap juga akan digunakan oleh peneliti pada proses delinasi batas DAS. Amir *et al.*, (2014, dalam Purwono *et al.*, 2018) menjelaskan bahwa delinasi batas DAS merupakan proses penentuan batas DAS atau Sub-DAS berdasar karakteristik hidrologi suatu bentang alam. Delinasi batas DAS bisa dilakukan secara otomatis dengan menggunakan data *Digital Elevation Model* (DEM). Proses delinasi ini dibuat dengan prinsip ekstraksi data topografis untuk memperoleh nilai masukan pada penentuan karakteristik hidrologi DAS (*flow direction – flow accumulation – stream order – basin/watershed*). Adapun skema proses delinasi batas DAS dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.15 Proses delinasi batas DAS

Sumber: (ESRI, 2010)

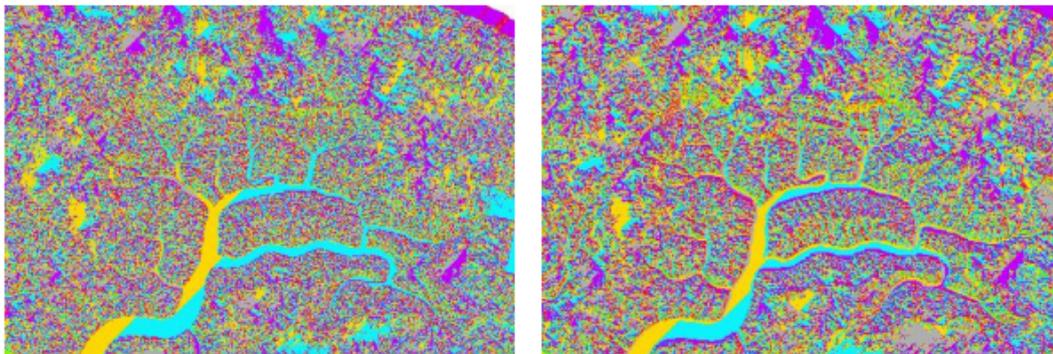
Flow Direction merupakan fungsi dengan hasil *ouput* berupa arah aliran air. Secara prinsip, data arah aliran diperoleh dari manifestasi kondisi topografis yang digambarkan oleh kenampakan morfometri (*slope*). Sebagai hasil dari proses ini, terdapat perbedaan informasi yang ditunjukkan antara input data DEM dengan perlakuan khusus (*filtering*) dan data DEM asli. (Purwono, Hartanto, Prihanto, & Kardono, 2018).



Gambar 2.16 Visualisasi *Output* Fungsi *Flow Direction*

Sumber: (Purwono et al., 2018)

Flow Accumulation merupakan fungsi dengan *output* berupa data raster yang merepresentasikan jumlah akumulasi aliran air yang terjadi pada suatu liputan lahan (Purwono et al., 2018) Akumulasi aliran air diperoleh dari kalkulasi nilai elevasi permukaan, dimana semakin tinggi nilai elevasi berikut gradien kemiringannya maka akan semakin rendah akumulasi aliran air. Sebagai hasil akhir dari parameter ini, terdapat nilai akumulasi air yang biasanya juga identik dengan jaringan sungai yang relevan dengan kondisi di lapangan.

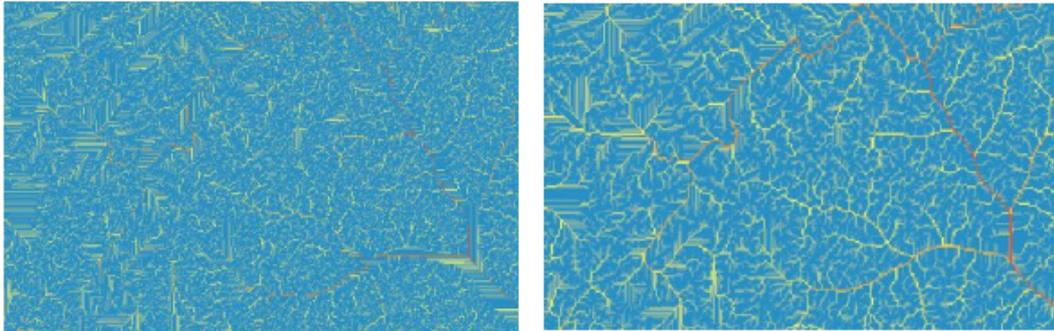


Gambar 2.17 Visualisasi *Flow Accumulation*

Sumber: (Purwono et al., 2018)

Fungsi *stream Order* diperoleh dari hasil perhitungan parameter hidrologis yaitu *flow accumulation* (Purwono et al., 2018). Secara teoritis, proses ekstraksi

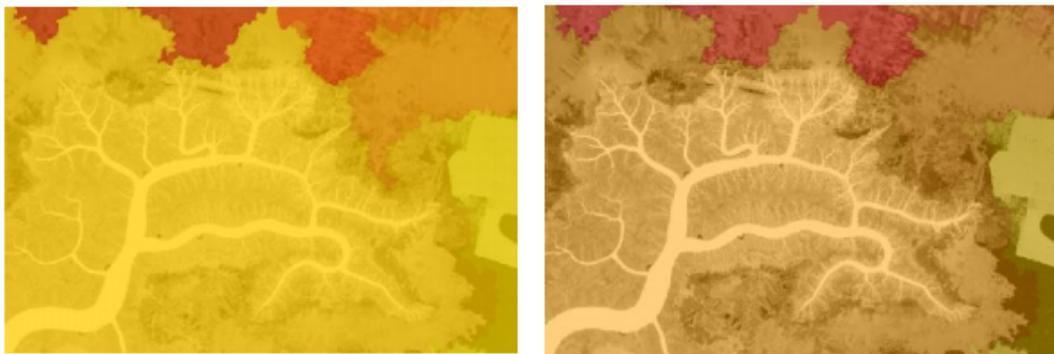
jaringan sungai dilakukan dengan proses pengumpulan piksel-piksel yang mempunyai nilai kecenderungan arah aliran dan akumulasi yang sama, dengan nilai lokasi berdekatan secara spasial. Parameter ini membuat klasifikasi mengenai orde (tingkatan) jaringan sungai. Informasi yang direpresentasikan dari parameter ini adalah *drainage network*.



Gambar 2.18 Visualisasi Hasil Fungsi *Stream Order*

Sumber: (Purwono et al., 2018)

Watershed merupakan proses akhir dan akan menghasilkan batas *imaginer* yang berada pada suatu jaringan sungai (Purwono et al., 2018). Parameter ini merupakan hasil dari dari proses integrasi proses dari parameter-parameter data yang dihasilkan sebelumnya yaitu arah aliran (*flow direction*), akumulasi aliran (*flow accumulation*), orde sungai (*stream order*).



Gambar 2.19 Visualisasi Hasil Delinasi DAS

Sumber: (Purwono et al., 2018)

2.9 Sistem Pemodelan Hidrologi (*HEC-RAS*)

Steady Flow Water Surface Component. Modul ini memiliki fungsi untuk menghitung profil muka air aliran permanen berubah beraturan (*steady gradually varied flow*). Program ini dapat melakukan pemodelan jaringan sungai, sungai dendritik, maupun sungai tunggal. *Regime* aliran yang dapat dimodelkan yaitu

aliran sub kritik, super- kritik, maupun campuran antara keduanya. Modul aliran permanen *HEC-RAS* dapat memperhitungkan pengaruh berbagai hambatan aliran, seperti jembatan (*bridges*), gorong-gorong (*culverts*), bendung (*weirs*), maupun hambatan di bantaran sungai.

Modul aliran permanen diciptakan untuk permasalahan pengelolaan bantaran sungai dan penetapan asuransi resiko banjir berkenaan dengan penetapan bantaran sungai dan dataran banjir. Modul aliran permanen juga dipakai untuk memperkirakan perubahan muka air akibat perbaikan alur atau pembangunan tanggul.

Unsteady Flow Simulation. Modul ini dapat mensimulasikan aliran tak permanen satu dimensi pada sungai yang mempunyai alur kompleks. Semula, modul aliran tak-permanen *HEC-RAS* hanya bisa diaplikasikan pada aliran sub-kritik juga dapat mensimulasikan *regime* aliran campuran (sub-kritik, super-kritik, loncat air, dan *drawdowns*). Fitur spesial modul aliran tak-permanen terdiri atas analisis dam-break, limpasan melalui tanggul dan tanggul jebol, pompa, operasi dam navigasi, dan aliran tekan dalam pipa.

Sediment Transport/ Movable Boundary Computations. Modul ini dapat mensimulasikan *transport sedimen* satu dimensi (simulasi perubahan dasar sungai) akibat gerusan atau deposisi dalam waktu yang cukup panjang (umumnya tahunan, dapat pula dilakukan simulasi perubahan dasar sungai akibat sejumlah banjir tunggal). Potensi transpor sedimen dianalisis berdasarkan fraksi ukuran butir sedimen sehingga memungkinkan untuk simulasi *armoring* dan *sorting*. Fitur utama modul *transport sedimen* terdiri atas kemampuan untuk memodelkan suatu jaring (*network*) sungai, *dredging*, berbagai alternatif tanggul, dan pemakaian berbagai persamaan (empiris) *transport sedimen*.

Modul transport sedimen diciptakan untuk mensimulasikan *trend* jangka Panjang gerusan dan deposisi oleh perubahan frekuensi dan durasi debit atau muka air, ataupun perubahan geometri sungai. Modul ini dapat juga digunakan untuk memprediksi deposisi didalam reservoir, desain kontraksi untuk keperluan navigasi, analisis pengaruh *dredging* terhadap laju deposisi, memprediksi kedalaman gerusan akibat banjir, dan mengkaji sedimentasi pada suatu saluran.

2.10 Estimasi Kerugian Ekonomi Metode ECLAC

Resiko banjir pasti terjadi apabila suatu kawasan 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. Dalam hal ini kerusakan terjadi terhadap rumah 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 (Gangguan Kesehatan dan kenyamanan) 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.

Pada tahun 1972 memperkenalkan salah satu metode yang disebut dengan metode ECLAC. Metode ini digunakan untuk menghitung kerusakan dan kerugian bencana yang terjadi di Amerika Latin pada saat itu dan diadopsi serta diadaptasi oleh pemerintah Indonesia untuk menghitung kerusakan dan kerugian akibat bencana tsunami di Aceh tahun 2004. Lebih dari pada itu, dalam paparan konseptual (Jovel, 2009) menjelaskan bahwa ECLAC mencakup stok fisik dan aliran (*flow*) yang mengukur kerusakan aset dan perubahan/kerugian dalam aliran ekonomi, menggunakan sistem neraca pendapatan nasional, pendekatan asesmen atas dasar sektoral (“*bottom up*”) yang dijumlahkan untuk mendapatkan nilai total dampak bencana, analisis dampak bencana pada variabel-variabel makro ekonomi dan pendapatan perseorangan.

Metode ECLAC menganalisis tiga aspek utama, yaitu kerusakan, kerugian dan dampak ekonomi (Sesunan, 2014). Kerusakan (dampak langsung), merupakan dampak terhadap aset, saham, properti yang dinilai dengan harga unit penggantian (bukan rekonstruksi) yang disepakati. Kerugian (dampak tidak langsung), merupakan proyeksi hambatan produktivitas akibat aset yang rusak atau hilang akibat bencana, seperti potensi pendapatan yang berkurang, pengeluaran yang bertambah dan lain-lain selama beberapa waktu hingga aset dipulihkan berdasarkan nilai saat ini. Sedangkan dampak ekonomi (kadang disebut dampak sekunder) meliputi dampak fiskal, dampak pertumbuhan PDB, dan lain-lain.

Metode ini dimaksudkan menyediakan sebuah penilaian awal mengenai kerusakan dan kehilangan setelah terjadi suatu bencana untuk mengidentifikasi kebutuhan pemulihan yang segera harus dilakukan ataupun kebutuhan pembangunan kembali (rekonstruksi) dalam jangka panjang.

Tahap pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan data primer dan sekunder. Berdasarkan (Wardhono & Rondhi, 2010), data primer yang perlu dikumpulkan adalah data sektor berdasarkan pengelompokan yang telah disesuaikan dengan kondisi setempat wilayah yang terkena dampak bencana

Pengelompokan sektor tersebut merupakan upaya menyederhanakan kondisi lapangan dengan posting untuk rehabilitasi dan rekonstruksi. Oleh karenanya terkadang dalam perhitungan pengelompokan dapat dilakukan lebih kompleks dan lengkap.

Tahap penghitungan dikaitkan dengan masa sebelum dan sesudah adanya bencana. Hal ini dimaksudkan agar tahap rehabilitasi dan rekonstruksi lebih baik dibandingkan dengan periode sebelumnya. Selain itu perhitungan kerusakan dan kerugian juga harus dilakukan

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

$$K = n \times fK \times NUP \quad 2-59$$

Keterangan :

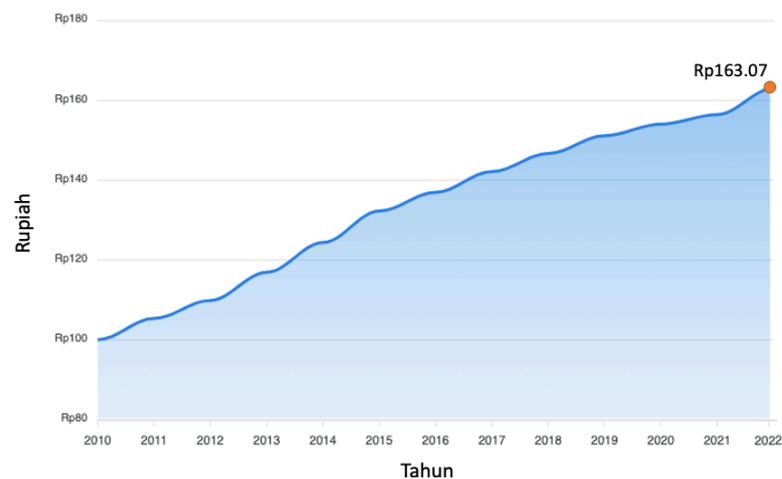
K	= Kerugian (Rp.)	fK	= Faktor kerusakan
n	= Jumlah atau area terdampak	NUP	= Nilai unit pengganti

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 2022 seperti yang terlihat pada Gambar 2.20.

Tabel 2.7 Nilai Unit Pengganti 2010

Sektor	Nilai Unit Pengganti 2010 (Rp.)
Pertanian	9,295,000.00/Ha
Industri Kecil	4,430,000.00/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
Permukiman	47,700,000.00/Unit

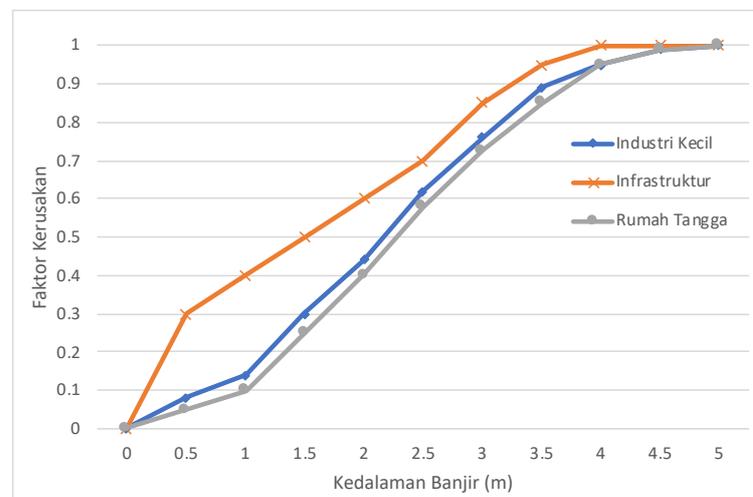
Sumber: (UCBFM, 2010)



Gambar 2.20 Grafik Nilai Rupiah dari waktu ke waktu (per tahun)

Sumber: (Bank Indonesia, 2023)

Faktor kerusakan ditentukan berdasarkan fungsi kerugian banjir di Kabupaten Bandung yang dibuat oleh JICA, 2010



Gambar 2.21 Fungsi Kerugian banjir di Kabupaten Bandung

Sumber: (JICA, 2007)