

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 DEM

Menurut Zhou dan Liu, DEM yang kemudian disebut *Digital Elevation Model* merupakan bentuk 3 dimensi dari permukaan bumi yang memberikan data berbagai morfologi permukaan bumi, seperti kemiringan lereng, aspek lereng, ketinggian tempat, dan area DAS. DEM merupakan informasi tentang ketinggian suatu tempat. Data elevasi tersebut untuk pemetaan luas genangan banjir, perencanaan wilayah, perencanaan jaringan jalan, jaringan irigasi, pembuatan peta jaringan sungai dan lain-lain. Pada prinsipnya DEM merupakan suatu model digital yang mempresentasikan bentuk permukaan bumi dalam bentuk tiga dimensi (Hernand et al., 2022).

2.1.1 SRTM

SRTM yang kemudian disebut *Shuttle Radar Topography Mission* adalah proyek internasional dari *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA) dari Amerika Serikat, *German Aerospace Center* (DLR) dan *Italian Space Agency* (ASI). SRTM diperoleh dari data elevasi *near-global scale* untuk menghasilkan data topografi resolusi tinggi yang paling lengkap dari Bumi. SRTM terdiri dari sistem radar yang dimodifikasi khusus yang terbang *onboard Space Shuttle Endeavour* selama misi 11 hari di bulan pada Februari 2000. Data SRTM diolah dari *raw data radar* ke model elevasi digital di *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) di Pasadena, CA. File data asli memiliki sampel spasi (“diposting”) pada interval 1 detik lintang dan bujur (sekitar 30 meter di khatulistiwa). Data ini kemudian diedit oleh *National Geospatial Intelligence Agency* (NGA), sebelumnya bernama *National Imagery and Mapping Agency*. Spesifikasi SRTM disajikan pada Tabel 2.1 (Farr, et al., 2007)

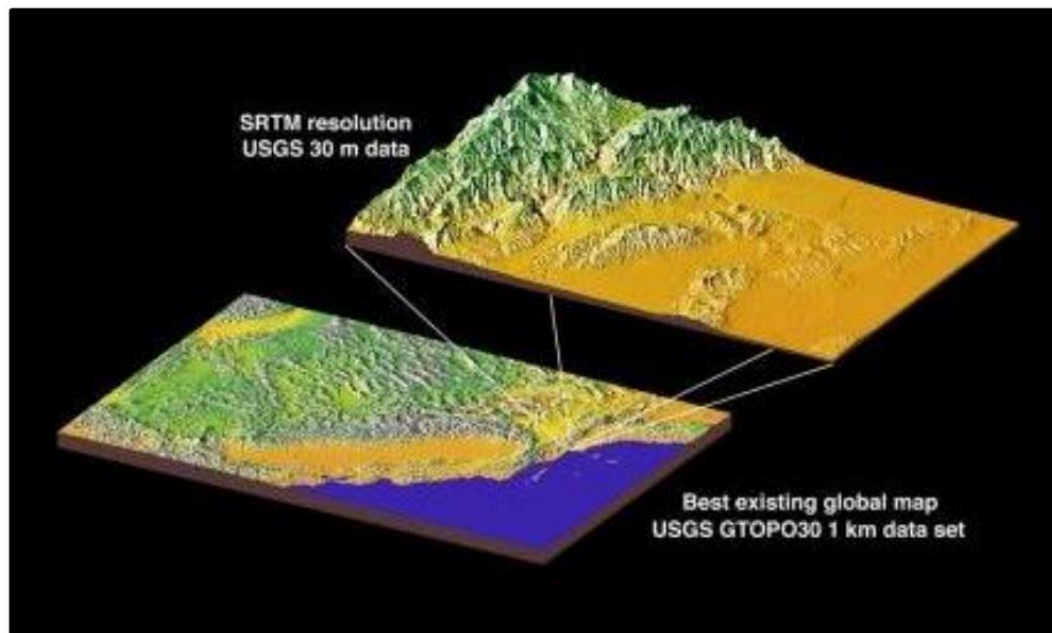
Tabel 2.1 Spesifikasi SRTM (*The Shuttle Radar Topography Mission*)

<i>Item</i>	<i>Spaceborne Imaging Radar-C</i>	<i>X-band Synthetic Aperture Radar</i>	<i>Unit</i>
<i>Main Antenna</i>	12 x 3,5	12 x 0,5	m
<i>Outboard Antenna</i>	8,1 x 0,9	6,0 x 0,4	m
<i>Frequency</i>	5,30	9,60	GHz
<i>Wavelength</i>	5,66	3,10	cm

<i>Item</i>	<i>Spaceborne Imaging Radar-C</i>	<i>X-band Synthetic Aperture Radar</i>	<i>Unit</i>
<i>Horizontal Spacing</i>	1 x 1	1 x 1	<i>arc second</i> (30 m)
<i>Bandwidth</i>	10	10	MHz
<i>Altitude</i>	233	233	Km
<i>Swath Width</i>	225	50	Km
<i>Horizontal Reference</i>	WGS84	WGS84	
<i>Vertical Reference</i>	EGM96 Geoid	WGS84 Ellipsoid	

Sebuah penilaian global yang mengungkapkan bahwa data memenuhi dan melampaui 16 m (90%) akurasi tinggi absolut. Sejak SRTM rilis pada tahun 2005, banyak pengguna telah merangkul ketersediaan data SRTM, menggunakan data dalam banyak pengaturan operasional dan penelitian. (Forkuor & Maathuis, 2012)

Contoh data DEM SRTM disajikan pada Gambar 2.1 (Clark, et al., 2007)



Gambar 2.1 Contoh Data Dem SRTM (SRTM: Shuttle Radar Topography Mission)

2.1.2 DEMNAS

DEM Nasional dibangun dari beberapa sumber data meliputi data IFSAR (resolusi 5 m), TERRASAR-X (resolusi 5 m) dan ALOS-PALSAR (resolusi 11.25 m), dengan menambahkan data masspoint hasil *stereo-plotting*. Resolusi spasial DEMNAS adalah 0.27-arc second, dengan menggunakan datum vertikal EGM2008. Data DEMNAS yang dirilis dipotong sesuai dengan Nomor Lembar

Peta (NLP) skala 1: 50.000 atau 1: 25.000, untuk setiap pulau atau kepulauan. Spesifikasi DEMNAS disajikan pada Tabel 2.2 (Darmawan et al., 2020)

Tabel 2.2 Spesifikasi DEMNAS (Geotekno.com)

Item	Keterangan
Nama File	DEMNAS_ xxxx-yy-v1.0.tif untuk NLP 1:50k
	DEMNAS_ xxxx-yyy-v1.0.tif untuk NLP 1:25k
	xxxx-yy menunjukkan nomor lembar peta RBI
	v1.0 menunjukkan risil versi 1.0
Resolusi	0,27-arcsecond
Datum	EGM 2008
Sistem Koordinat	Geografis
Format	Geotiff 32 bit float

2.2 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 samapt 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.

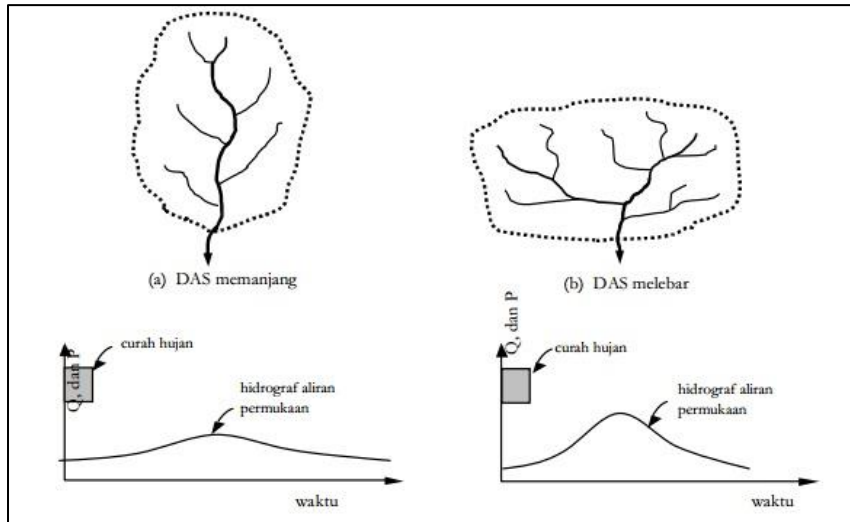
2.2.1 Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS)

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

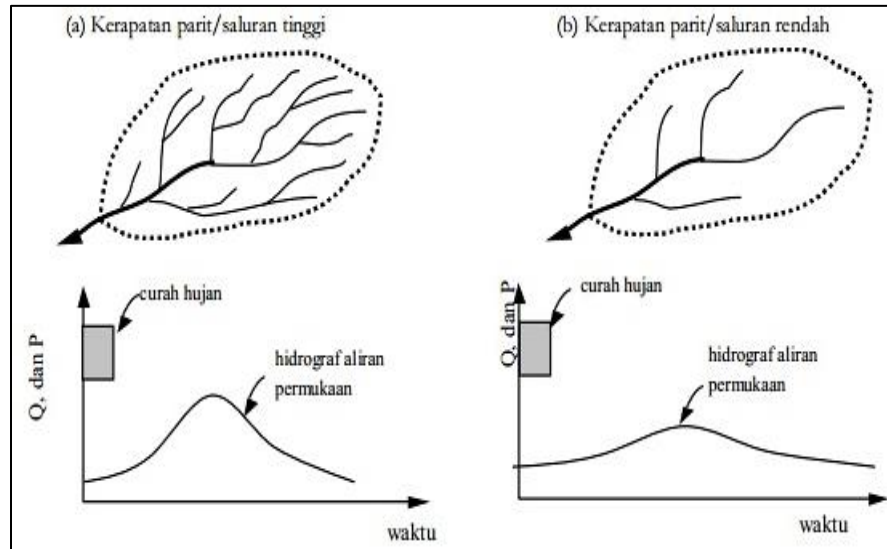
kecepatan aliran permukaan (*surface runoff*) dari bentuk DAS yang memanjang dan sempit akan lebih besar dari pada bentuk DAS yang melebar atau melingkar. Hal ini terjadi disebabkan waktu konsentrasi pada DAS memanjang terjadi lebih lama dibandingkan dengan DAS yang melebar, sehingga terkonsentrasinya air di titik kontrol lebih lambat dan hal ini berakibat pada laju dan volume aliran permukaan (Suripin, 2004).



Gambar 2.2 Pengaruh Bentuk DAS pada *Surface Runoff*

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 (Suripin, 2004).



Gambar 2.3 Pengaruh Kerapatan Parit pada Hidrograf

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.

2.2.2 Pengelolaan Ekosistem Daerah Aliran Sungai (DAS)

Kegiatan pengelolaan DAS adalah sebuah pendekatan hilistik dalam mengelola sumberdaya alam yang bertujuan untuk meningkatkan kehidupan masyarakat dan mengelola sumberdaya alam secara berkesinambungan. Asdak (2007) 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

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.

2.3 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. Pemilihan metode yang cocok dipakai pada suatu DAS dapat ditentukan dengan mempertimbangkan tiga faktor berikut:

1. Jaring-jaring pos penakar hujan dalam DAS
2. Luas DAS
3. Topografi DAS

Pertimbangan tiga faktor dapat dilihat pada Tabel 2.3, Tabel 2.4, dan Tabel 2.5 yang di sajikan (Suripin, 2004).

Tabel 2.3 Metode Berdasarkan Jaring-jaring Pos Penakar Hujan

Jumlah Pos Penakar	Metode yang digunakan
Pos Penakar Hujan Cukup	Metode Isohyet, <i>Thiessen</i> dan Rata-rata Aljabar
Pos Penakar Hujan Terbatas	Metode Rata-rata Aljabar, dan <i>Thiessen</i>
Pos Penakar Hujan Tunggal	Metode Hujan Titik

Sumber: Tsani, 2023

Tabel 2.4 Metode Berdasarkan Luas DAS

Luas DAS (km ²)	Metode yang digunakan
DAS besar (>5000 km ²)	Metode Isohyet
DAS sedang (500>DAS>5000 km ²)	Metode <i>Polygon Thiessen</i>
DAS kecil (<500 km ²)	Metode Rata-rata Aljabar

Sumber: Tsani, 2023

Tabel 2.5 Metode Berdasarkan Topografi DAS

Jenis Topografi DAS	Metode yang digunakan
Pegunungan	Metode Rata-rata Aljabar
Dataran	Metode <i>Polygon Thiessen</i>
Bukit tidak beraturan	Metode Isohyet

Sumber: Tsani, 2023

2.3.5.1 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 (Triatmodjo, 2008):

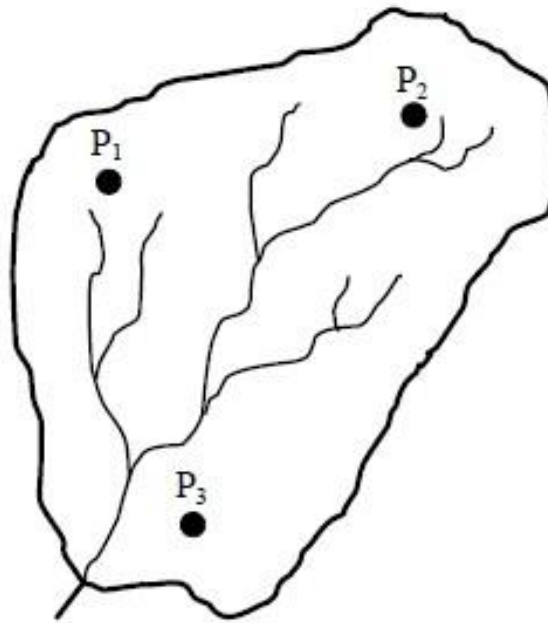
$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad (2.1)$$

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 Metode Rata-rata Aritmatika

2.3.5.2 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 *polygon Thiessen* dapat dihitung mengikuti persamaan 2.2 di bawah ini (Triatmodjo, 2008):

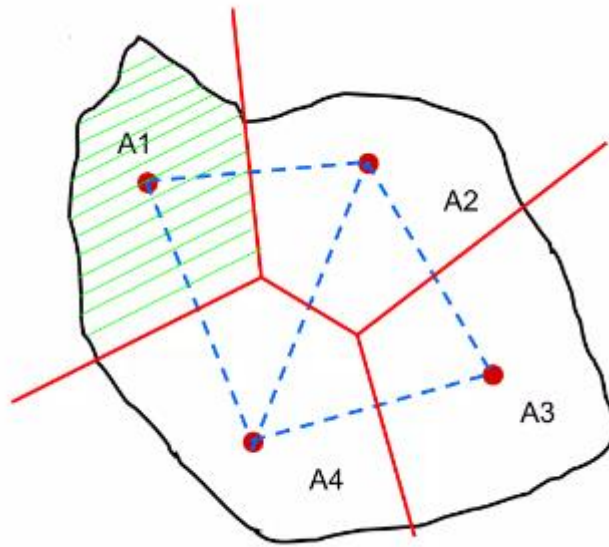
$$\bar{P} = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n}{A_{total}} \quad (2.2)$$

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 2.5 Metode Poligon Thiessen

2.3.5.3 Metode Isohyet

Isohyet 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 2.3 berikut (Triatmodjo, 2008):

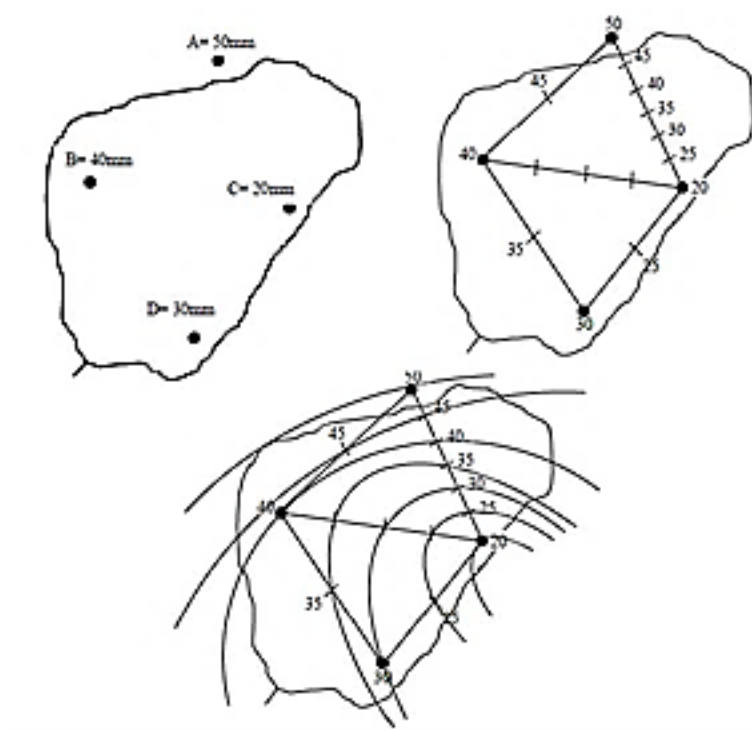
$$\bar{P} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.3)$$

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

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.

$$p_x = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\left(\frac{p_i}{L^2} \right)}{\left(\frac{1}{L^2} \right)} \right) + \dots n \quad (2.5)$$

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

Uji konsistensi data terjadi pada data hujan yang terlalu besar maka hasil analisis yang dilakukan akan diragukan. Oleh karena itu, sebelum data digunakan diperlu dilakukan uji kualitas data hujan yaitu dengan uji kepanggahan. Satu seri data hujan untuk satu stasiun tertentu dimungkinkan sifatnya tidak panggah (*inconsistent*). Uji kepanggahan 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.

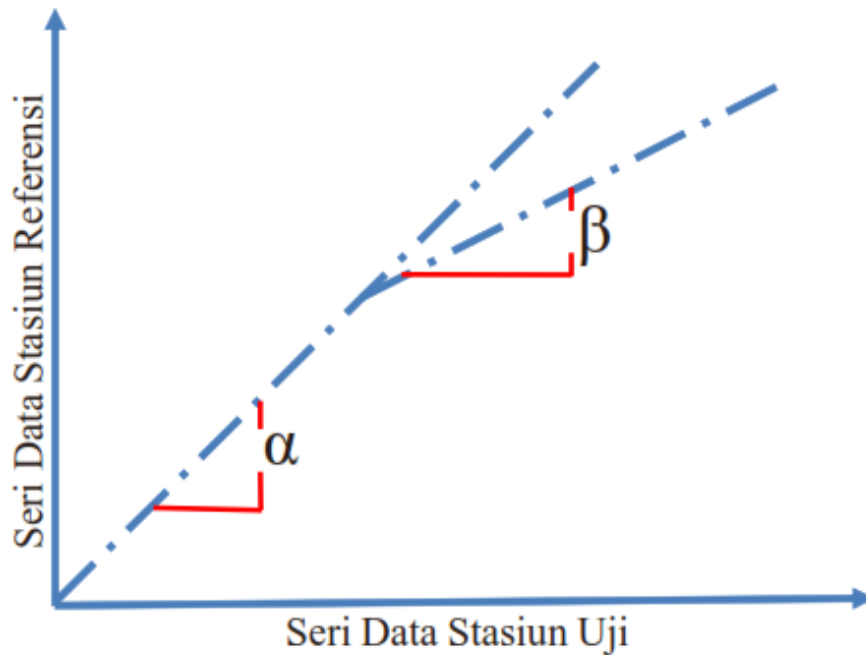
Curah hujan kumulatif digambarkan pada sistem koordinat kartesian x-y kemudian di cek perubahan kemirinyannya (trend). Data yang konsisten memiliki garis yang cenderung lurus, apabila terdapat patahan/perubahan maka data tak konsisten dan perlu dilakukan koreksi. Koreksi dilakukan dengan mengalikan data setelah kurva berubah dengan perbandingan kemiringan setelah dan sebelum kurva patah (Soewarno, 1995)

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

Keterangan:

α = Kemiringan kurva sebelum patahan

β = Kemiringan kurva setelah patahan



Gambar 2.7 Metode Kurva Massa Ganda

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 dalam 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 distribus 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)

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

Syarat-syarat batas penentuan sebaran dapat dilihat pada Tabel 2.6 yang disajikan berikut ini (Triatmodjo, 2008).

Tabel 2.6 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 Br, 1993) sebagai berikut.

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

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.11)$$

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

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* (Br, 1993) adalah sebagai berikut.

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

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log(X_i)}{n} \quad (2.14)$$

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

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 Br, 1993) adalah sebagai berikut.

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

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.17)$$

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

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 Br, 1993) adalah sebagai berikut.

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

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log(X_i)}{n} \quad (2.21)$$

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

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.

2.3.5.4 Uji Chi Square

Uji *Chi-Square* (uji data vertikal) adalah ukuran perbedaan yang didapat antara frekuensi yang diamati dengan yang diharapkan. Uji *Chi-Square* 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-Square* merupakan uji simpangan vertikal dengan langkah-langkah sebagai berikut.

- Tentukan jumlah kelas distribusi (K)
- 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.

2.3.5.5 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

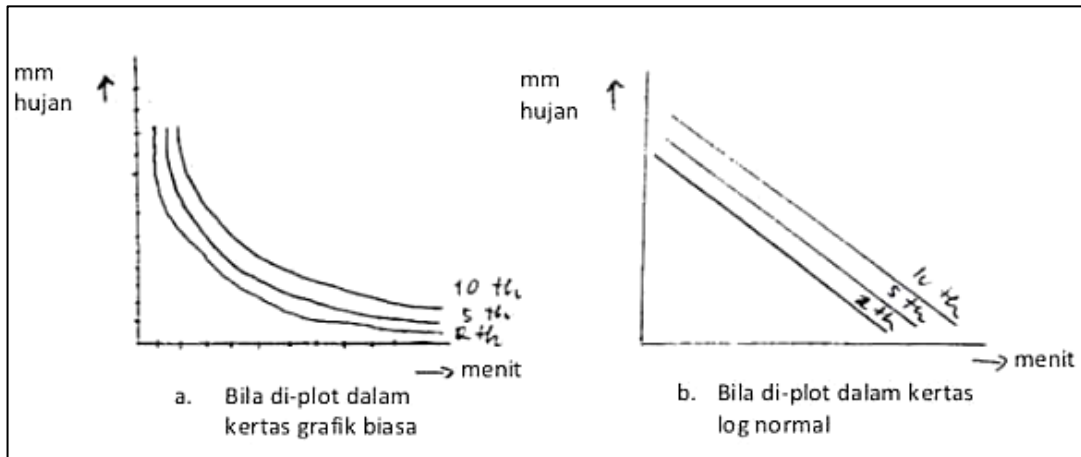
$P_E(X)$ = Posisi data x menurut sebaran empiris

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.

2.4 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 (Br, 1993).



Gambar 2.8 Lengkung *Intensity Duration Frequency* (IDF)

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)).

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

Nilai (n) adalah koefisien kekerasan, sedang notasi lainnya sama dengan persamaan Kirpich. Berikut ini adalah Tabel 2.7 yang menyajikan nilai koefisien kekerasan (n) (Triatmodjo, 2013 dalam Yusuf, 2021).

Tabel 2.7 Nilai Koefisien Kekerasan

Tata Guna Lahan	n
Kedap air	0,02
Timbunan tanah	0,10
Tanaman pangan/tegalan dengan sedikit rumput pada tanah gundul yang kasar dan lunak	0,20
Padang rumput	0,40
Tanah gundul yang kasar dengan rumput dedaunan	0,60
Hutan dan sejumlah semak belukar	0,80

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 (Chow, 1988). 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.

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 nilai C disajikan pada Tabel 2.5 (Lily, 2010 dalam Yusuf, 2021) dan Tabel 2.8 (Yusuf, 2021).

Tabel 2.8 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

Karakteristik Tanah	Tata Guna Lahan	Koefisien Limpasan (C)
	Padang rumput	0,45
	Hutan	0,40

Sumber: Yusuf, 2021

2.6 Analisis Debit Banjir Rencana

2.6.1 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) (Supirin, 2004). Persamaan matematik persamaan Rasional adalah sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{1}{360} \times C \times I \times A \quad (2.32)$$

Dimana:

Q_p = Debit maksimum rencana (m^3/dt).

A = Luas daerah aliran (Ha)

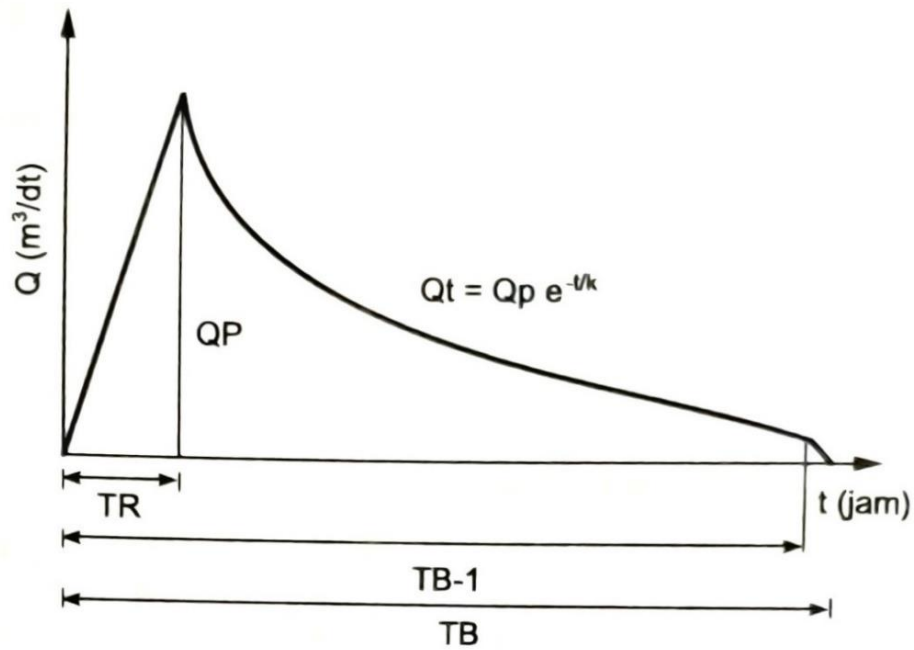
C = Koefisien aliran ($0 \leq C \leq 1$)

I = Intensitas curah hujan (mm/jam).

2.6.2. Hidrograf Satuan Sintetik

2.6.2.1 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*). Hidrograf Satuan Sintetik Gama I disajikan pada Gambar 2.9 (Triatmodjo, 2008).



Gambar 2.9 Hidrograf Satuan Sintetik Gama-I

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)

$$\phi = 10.4903 - 3.859 \times 10^{-6} + 1.6985 \times 10^{-13} \left(\frac{A}{SN} \right)^4 \quad (2.38)$$

Dengan:

A = luas DAS (km^2)

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.

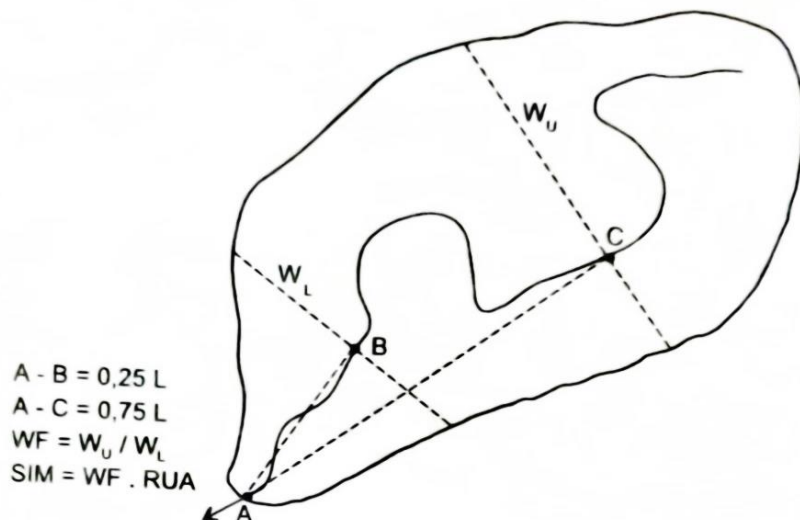
SIM = faktor simetri, hasil kali antara WF dengan RUA.

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

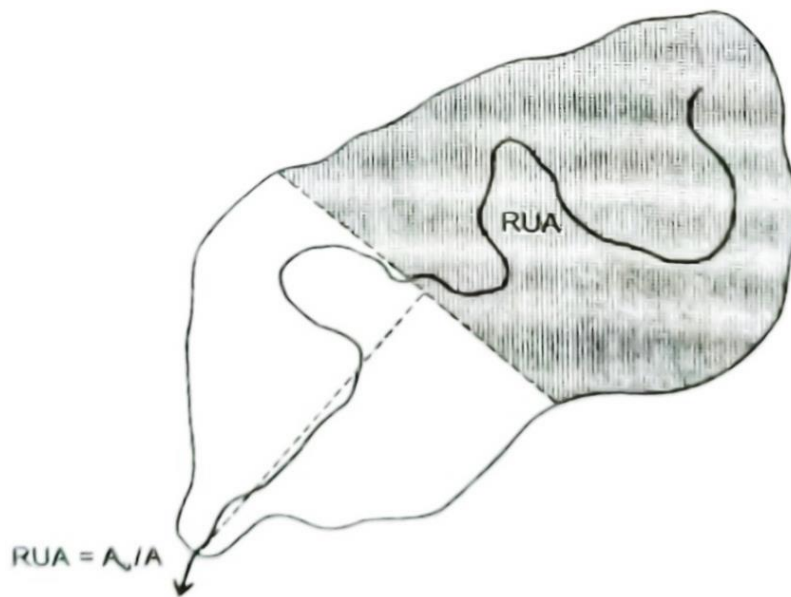
D = kerapatan jaringan kuras, jumlah panjang sungai semua tingkat dibagi luas DAS.

Φ = indeks infiltrasi (mm/jam)

Gambaran sketsa penetapan WF dan RUA pada suatu DAS disajikan pada Gambar 2.10 dan Gambar 2.11 (Triatmodjo, 2008)



Gambar 2.10 Sketsa Penetapan WF



Gambar 2.11 Penetapan RUA

2.7 Sistem Informasi Geografis (SIG)

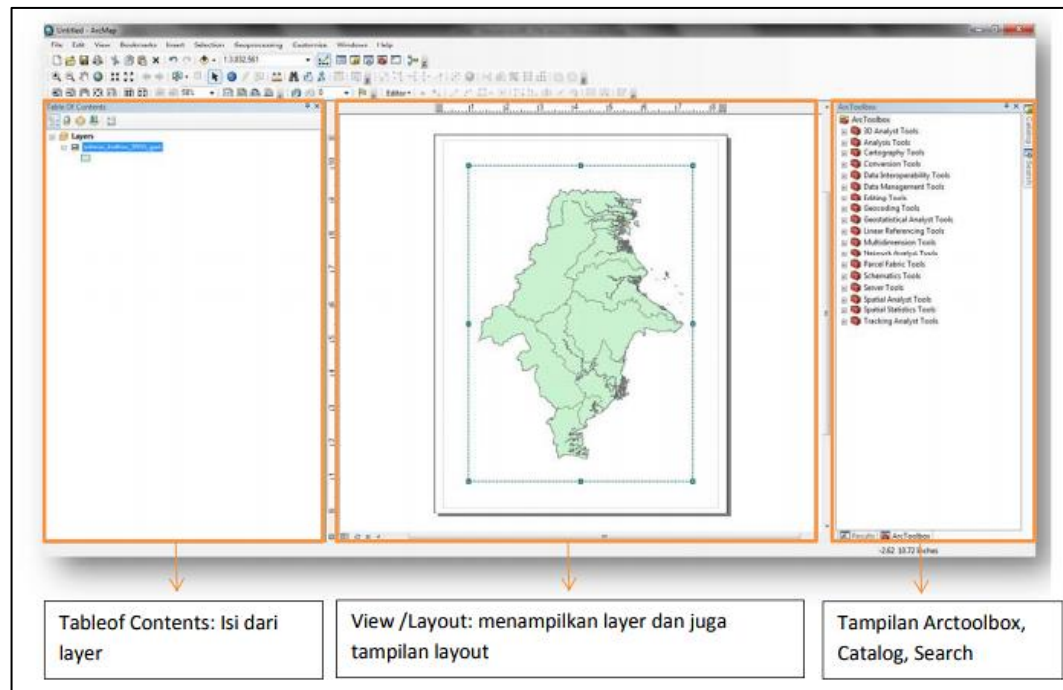
Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah basis data yang biasanya mempunyai komponen spasial dalam pengolahan dan penyimpanannya. Karena itu SIG mempunyai kemampuan untuk menyimpan dan menghasilkan produk-produk peta dan sejenisnya. SIG juga menawarkan potensi untuk menjalankan analisis berganda ataupun mengevaluasi suatu skenario sebagaimana simulasi model.

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 meng gambarkannya secara grafis bagi pengguna (Albrecht, 2007)

2.7.1 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*.



Gambar 2.12 Tampilan *ArcMap*

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.

2.7.2 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 ke suatu bentuk yang dapat digunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Data spasial yang digunakan yaitu

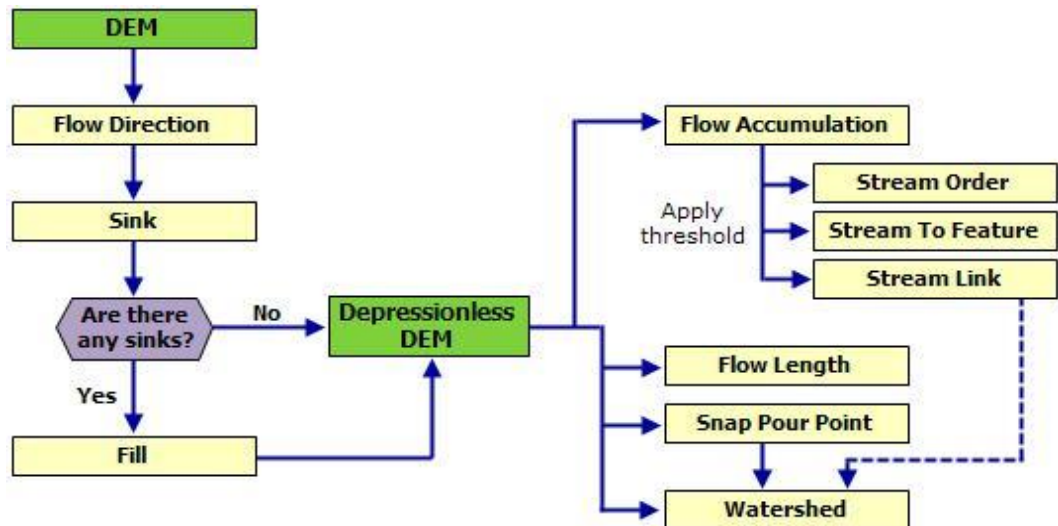
berupa peta *land cover* yang akan diolah untuk menghasilkan data yang dibutuhkan dalam melaksanakan penelitian ini.

2.7.3 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).

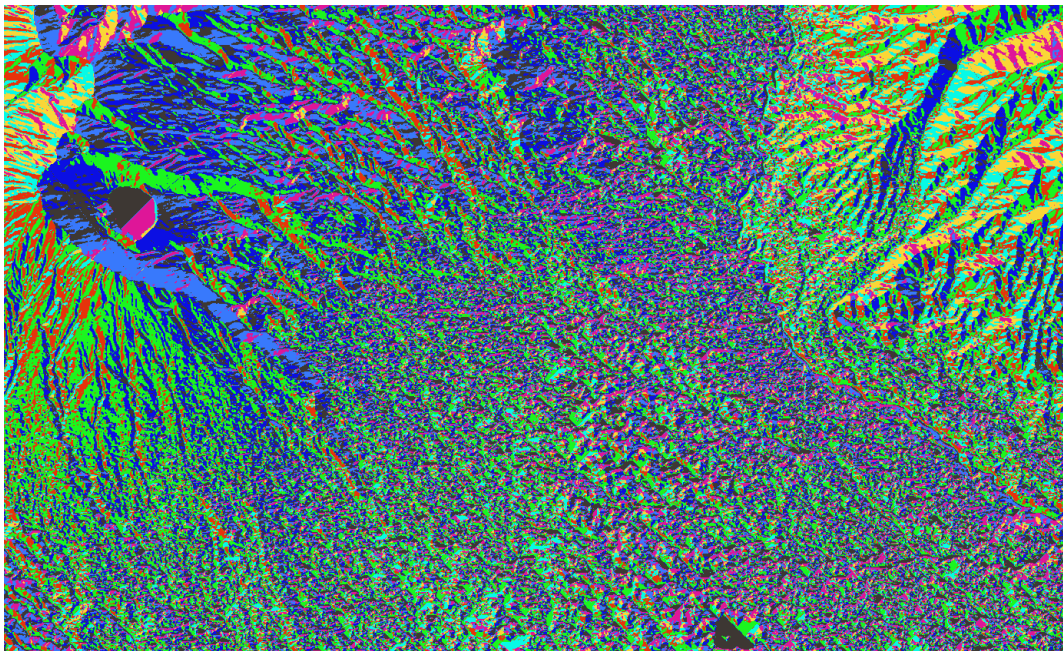
Nilai koefisien aliran permukaan (C) dipengaruhi oleh kelereng, jenis tanah dan penutupan lahan (Wahyuningrum, Nining; Pramono, 2007). Sehingga pada proses tumpangtindih (*overlay*) yang akan dilakukan adalah menggunakan rumus koefisien aliran permukaan ($C_{\text{tertimbang}}$) yang memperhitungkan 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. Delineasi 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 2.13.



Gambar 2.13 Proses delineasi batas DAS (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 et al., 2018).



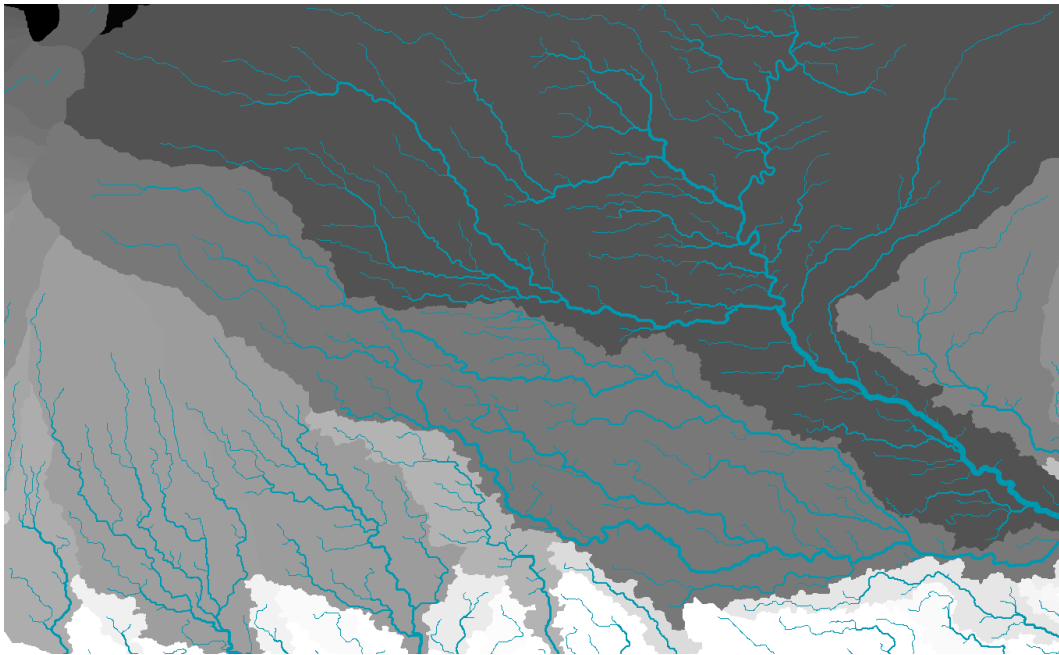
Gambar 2.14 Visualisasi *Output* Fungsi *Flow Direction*

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.

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*.

Watershed merupakan proses akhir dan akan menghasilkan batas *imaginer* yang berada pada suatu jaringan sungai (Purwono et al., 2018). Parameter ini merupakan hasil 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 2.15 Visualisasi Hasil Delinasi DAS