

**PREDIKSI LIMPASAN PERMUKAAN MAKSIMUM PADA  
WILAYAH HULU DAS WALANAE**

**RENI ZULFIANI**

**G041181005**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN  
DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN**

**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2023**

# **PREDIKSI LIMPASAN PERMUKAAN MAKSIMUM PADA WILAYAH HULU DAS WALANAE**

**Reni Zulfiani  
G041181005**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Teknologi Pertanian

Pada  
Departemen Teknologi Pertanian  
Fakultas Pertanian  
Universitas Hasanuddin  
Makassar

**DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PREDIKSI LIMPASAN PERMUKAAN MAKSIMUM PADA**  
**WILAYAH HULU DAS WALANAE**

**Disusun dan diajukan oleh**

**Reni Zulfiani**

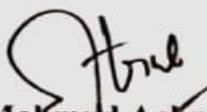
**G041 18 1005**

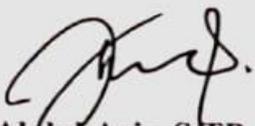
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pada tanggal 15 Juni 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping

  
Dr. Ir. Mahmud Achmad, M.P.  
NIP. 19700603 199403 1 003

  
Dr. Abdul Azis, S.TP., M.Si.  
NIP. 19821209 201212 1 004

Ketua Program Studi  
Teknik Pertanian

  
  
Diyah Yumeina, S.TP., M.Agr., Ph.D.  
NIP. 19810129 200912 2 003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Reni Zulfiani  
NIM : G041 18 1005  
Program Studi : Teknik Pertanian  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi dengan judul Prediksi Limpasan Permukaan Maksimum pada Wilayah Hulu DAS Walanae Kabupaten Soppeng adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari skripsi karya saya ini membuktikan bahwa sebagian atau keseluruhannya adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 15 Juni 2023

Yang Menyatakan



Reni Zulfiani

## ABSTRAK

RENI ZULFIANI (G041181005). Prediksi Limpasan Permukaan Maksimum pada Wilayah Hulu DAS Walanae. Pembimbing: MAHMUD ACHMAD dan ABDUL AZIS

Tingginya intensitas hujan dapat menyebabkan fluktuasi debit aliran sungai sehingga kemampuan sungai dalam menyimpan air semakin menurun yang diakibatkan karena terjadinya limpasan permukaan pada daerah sekitar sungai. Limpasan permukaan ialah bagian dari hujan yang tidak bisa diserap oleh tanah atau tanah tidak dapat melakukan infiltrasi dikarenakan telah berada dalam kondisi jenuh dan pada akhirnya air tersebut mengalir kesungai atau laut. Model HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center's – Hydrologic Modeling System*) digunakan untuk menganalisis debit limpasan atau debit banjir dalam mengestimasi besaran debit limpasan pada suatu DAS. Pemodelan HEC-HMS menggunakan komponen *basin model* untuk *input* nilai *Curve Number* dan *initial abstraction*, *meteorologic model* untuk menghubungkan *basin model* dengan data hujan, *control specification* sebagai interval waktu simulasi, dan *time series data* untuk memasukkan data hujan dan data debit terukur. Pengujian model menggunakan metode NSE (*Validasi Nash Sutcliffe*). Penelitian ini mendapatkan nilai NSE 0,426 pada tahun 2020 dan 0,484 pada tahun 2021 yang menunjukkan bahwa model HEC-HMS dapat dipakai untuk memprediksi hidrograf. Adapun prediksi hidrograf yang dihasilkan pada simulasi HEC-HMS yang menggunakan kala ulang 2, 5, 10 dan 20 tahun yaitu 1069,3 m<sup>3</sup>/s, 1882,6 m<sup>3</sup>/s, 2496,1 m<sup>3</sup>/s dan 3110,2 m<sup>3</sup>/s pada masing-masing kala ulang.

**Kata Kunci:** HEC-HMS, NSE, Limpasan Permukaan.

## **ABSTRACT**

RENI ZULFIANI (G041181005). *Predicting the Maximum Surface Runoff on Upstream Walanae Catchment Area. Supervisors: MAHMUD ACHMAD and ABDUL AZIS.*

*The high intensity of rain can cause fluctuations in river flow discharge so that the ability of the river to hold water is decreasing due to surface runoff in the area around the river. Surface runoff is rainwater that cannot be retained by the soil or the soil cannot infiltrate because it is already in a saturated condition and eventually the water flows into rivers or the sea. One way to calculate the amount of runoff discharge in a watershed is by using a hydrological model. The HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's – Hydrologic Modeling System) model is one of the hydrological models used for analysis of runoff discharge or flood discharge. HEC-HMS modeling uses the components of the basin model to input Curve Number values and initial abstraction, meteorological models to link the basin model with rainfall data, control specifications as simulation time intervals, and time series data to enter rainfall data and measured discharge data. Model testing uses the NSE method (Validation Nash Sutcliffe). This study obtained an NSE value of 0.426 in 2020 and 0.484 in 2021 which shows that the HEC-HMS model can be used to predict hydrographs. The hydrograph predictions generated in the HEC-HMS simulation using return periods of 2, 5, 10 and 20 years are 1069.3 m<sup>3</sup>/s, 1882.6 m<sup>3</sup>/s, 2496.1 m<sup>3</sup>/s and 3110.2 m<sup>3</sup>/s at each repetition.*

**Keywords:** HEC-HMS, NSE, Surface Runoff.

## PERSANTUNAN

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan nikmat-Nya saya dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa dengan selesainya penulisan skripsi ini tidak lepas dari doa dan dukungan serta semangat oleh berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ayahanda **Haeruddin** dan Ibunda **Sanatang**, atas setiap doa yang senantiasa dipanjatkan, nasehat, motivasi serta dukungan berupa materi dari awal perkuliahan sampai akhir ini dan pengorbanan keringat yang diberikan kepada penulis mulai dari kecil hingga penulis sampai ketahap ini.
2. **Dr. Ir. Mahmud Achmad., M.P** dan **Dr. Abdul Azis, S.TP., M.Si** selaku dosen pembimbing yang meluangkan waktu memberikan bimbingan, saran, kritikan, petunjuk, dan segala arahan yang telah diberikan dari tahap penyusunan proposal, pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi selesai.
3. Ibu **Diyah Yumeina, S.TP., M.Agr., Ph.D** selaku dosen pembimbing akademik dan **Dosen-dosen Departemen Teknologi Pertanian, Program Studi Teknik Pertanian** yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan serta pengalaman selama proses perkuliahan.
4. Kepada teman-teman terdekat penulis **Nurhamsia, Asreni, Eva Reska, Jumarni, Andi Naugira Aguka, Febry Sautama Tingara, Muhammad Talib, Hesron Kidding Pallangan, Muhammad Ikhsan Ali, Muhammad Rizqun Bivandi Budiman, Muhammad Yusuf Tahir, Moch. Syahrul Prasetiawan, Sahrul Shabir dan kerabat SPEKTRUM18** yang telah banyak membantu selama penelitian ini berlangsung dan selalu kebersamai dari awal perkuliahan sampai akhir.

Makassar, 15 Juni 2023

Reni Zulfiani

## RIWAYAT HIDUP



**Reni Zulfiani** lahir di Bone pada tanggal 15 Maret 2000, anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan bapak Haeruddin dan Ibu Sanatang. Jenjang pendidikan formal yang pernah dilalui adalah:

1. Memulai pendidikan di SD/INP 5/81 Tompong Patu, pada tahun 2006 sampai tahun 2012.
2. Melanjutkan pendidikan di jenjang menengah pertama di SMP Negeri 3 Kahu pada tahun 2012 sampai tahun 2015.
3. Melanjutkan pendidikan di jenjang menengah atas di SMA Negeri 11 Bone, pada tahun 2015 sampai tahun 2018.
4. Melanjutkan pendidikan di Universitas Hasanuddin Makassar, Fakultas Pertanian, Departemen Teknologi Pertanian, Program Studi Keteknikan Pertanian pada tahun 2018 sampai tahun 2023.

Selama menempuh pendidikan di dunia perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi kampus yaitu sebagai pengurus di Himpunan Mahasiswa Teknologi Pertanian Universitas Hasanuddin (HIMATEPA UH) periode 2019/2020. Selain itu, aktif dalam kegiatan Laboratorium yang terhimpun dalam *Agriculture Study Club* (TSC). penulis juga pernah mengikuti Pendampingan Program Pengembangan Budidaya Kedelai (P3BK) di wilayah Kabupaten Bone yang diselenggarakan oleh Kementerian Ketahanan Pangan bekerja sama dengan Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
PERSANTUNAN .....	vii
RIWAYAT HIDUP .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan dan Kegunaan .....	2
2. TINJAUAN PUSTAKA .....	3
2.1 Kondisi Umum Daerah Studi .....	3
2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS).....	3
2.3 Penentuan Batas DAS.....	4
2.4 Siklus Hidrologi.....	5
2.4.1 Evaporasi .....	5
2.4.2 Transpirasi .....	5
2.4.3 Evapotranspirasi .....	6
2.4.1 Kondensasi.....	6
2.4.2 Adveksi .....	6
2.4.3 Presipitasi .....	6
2.4.1 <i>Runoff</i> .....	7
2.4.2 Infiltrasi .....	7
2.5 Hidrograf.....	8

2.5.1	Jenis Hidrograf.....	9
2.5.2	Komponen Hidrograf .....	9
2.5.3	Metode Analisis Hidrograf.....	10
2.6	Curah Hujan .....	11
2.6.1	Hujan Maksimum .....	11
2.6.2	Hujan Rencana .....	13
2.6.3	Intensitas Curah Hujan .....	18
2.7	Model Hidrologi .....	18
2.7.1	Model AGNPS .....	18
2.7.2	Model ANSWERS.....	19
2.7.3	Model HEC-RAS.....	19
2.7.4	Model HEC-HMS .....	19
2.8	Metode SCS-CN.....	22
2.9	Pemisahan Aliran Dasar.....	23
2.9.1	Metode Minimum Lokal .....	24
2.9.2	Metode Interval Tetap .....	24
2.9.3	Metode Interval Bergerak.....	25
2.10	Validasi Nash Sutcliffe (NSE) .....	25
3.	METODE PENELITIAN .....	26
3.1	Waktu dan Tempat.....	26
3.2	Alat dan Bahan.....	26
3.3	Prosedur Penelitian.....	26
3.3.1	Pengumpulan data.....	26
3.3.2	Penentuan Nilai Karakteristik DAS .....	26
3.3.3	Simulasi HEC-HMS.....	27
3.3.4	Curah Hujan Rencana.....	27
3.3.5	Resimulasi HEC-HMS.....	27
3.4	Diagram Alir Penelitian .....	28
4.	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	29
4.1	Deskripsi Wilayah Hulu DAS Walanae .....	29
4.2	Jenis Tanah DAS Walanae.....	30
4.3	Tutupan Lahan DAS Walanae.....	31

4.4	Curah Hujan .....	32
4.5	Simulasi HEC-HMS.....	34
4.5.1	Loss Method (Proses Kehilangan Air).....	35
4.5.2	Transform .....	36
4.6	Aliran Dasar ( <i>Baseflow</i> ).....	37
4.7	Limpasan Permukaan .....	38
4.8	Verifikasi.....	39
4.9	Validasi .....	40
4.10	Resimulasi HEC-HMS.....	42
5.	PENUTUP .....	44
	Kesimpulan .....	42

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Komponen Hidrograf.....	10
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian.....	28
Gambar 3. Peta DAS Walanae. ....	29
Gambar 4. Peta Jenis Tanah DAS Walanae.....	30
Gambar 5. Peta Tutupan Lahan DAS Walanae.....	31
Gambar 6. Peta Curah Hujan DAS Walanae.....	32
Gambar 7. Model Basin pada HEC-HMS 4.10 DAS Walanae.....	34
Gambar 8. Debit Aliran Terukur 2020.....	37
Gambar 9. Debit Aliran Terukur 2021.....	37
Gambar 10. Pemisahan Aliran Dasar Debit Terukur 2020.....	38
Gambar 11. Pemisahan Aliran Dasar Debit Terukur 2021.....	38
Gambar 12. Debit Limpasan Permukaan 2020. ....	39
Gambar 13. Debit Limpasan Permukaan 2021. ....	39
Gambar 14. Grafik Verifikasi Debit Terukur dengan Debit Simulasi 2020.....	40
Gambar 15. Grafik Verifikasi Debit Terukur dengan Debit Simulasi 2021.....	40
Gambar 16. Grafik Validasi Debit Terukur dengan Debit Simulasi 2020. ....	41
Gambar 17. Grafik Validasi Debit Terukur dengan Debit Simulasi 2021. ....	41
Gambar 18. Hidrograf Kala Ulang 2, 5, 10 dan 20 Tahun.....	42
Gambar 19. Perbandingan Debit Puncak Kala Ulang dengan Debit Puncak Terukur. ....	43

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Pedoman Umum Penggunaan Distribusi. ....	10
Tabel 2. Kelompok Hidrologi Tanah Berdasarkan Tekstur Tanah .....	23
Tabel 3. Nilai parameter Validasi HEC-HMS.....	25
Tabel 4. Data Jenis Tanah DAS Walanae.....	30
Tabel 5. Data Tutupan Lahan DAS Walanae. ....	31
Tabel 6. Curah Hujan Maksimum Rata-rata DAS Walanae.....	32
Tabel 7. Nilai CN, <i>Initial Abstraction</i> dan nilai <i>Impervious</i> .....	35
Tabel 8. Nilai <i>Lag Time</i> DAS Walanae. ....	36
Tabel 9. Debit Terukur DAS Walanae. ....	43

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Nilai <i>Curve Number</i> Komposit DAS Walanae.....	48
Lampiran 2. Tabel Nilai <i>Curve Number</i> .....	52
Lampiran 3. Perhitungan Curah Hujan Distribusi Normal.....	52
Lampiran 4. Perhitungan Curah Hujan Distribusi Log Normal.....	53
Lampiran 5. Perhitungan Curah Hujan Distribusi Gumbel.....	53
Lampiran 6. Perhitungan Curah Hujan Distribusi <i>Log Person Type III</i> .....	54
Lampiran 7. Pengujian Smirnov Kolmogorov.....	54
Lampiran 8. Intensitas Hujan.....	55
Lampiran 9. Parameter Kalibrasi.....	56
Lampiran 10. Kalibrasi Debit Simulasi dan Debit Observasi 2020.....	57
Lampiran 11. Validasi Debit Simulasi dan Debit Observasi 2021.....	61
Lampiran 12. Prediksi Debit Limpasan Permukaan Maksimum.....	65

# 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Sebagai negara yang beriklim tropis, Indonesia memiliki tingkat curah hujan yang cukup tinggi. Hal tersebut dapat berdampak baik karena air tersedia dalam jumlah yang sangat melimpah. Tingginya intensitas hujan dapat menyebabkan fluktuasi debit aliran sungai sehingga kemampuan sungai dalam menyimpan air semakin menurun yang diakibatkan karena terjadinya aliran permukaan di sekitaran sungai. Tingginya limpasan permukaan dapat mempengaruhi kondisi air sungai, pada umumnya daerah dengan aliran permukaan yang tinggi cenderung memiliki kualitas air sungai yang kurang baik. Selain itu, tingginya curah hujan dapat pula berdampak negatif karena mengakibatkan banjir. Banjir merupakan masalah utama masyarakat yang bertempat tinggal di wilayah kota dan sekitar sungai. Penyebab utama terjadinya banjir yaitu kepadatan penduduk yang membutuhkan ruang yang lebih luas, kurangnya kesadaran masyarakat dalam pengelolaan sumber daya air dan curah hujan yang tinggi.

Limpasan permukaan ialah bagian dari hujan yang tidak mampu diserap oleh tanah dan mengalir di permukaan dikarenakan telah berada dalam kondisi jenuh dan pada akhirnya air tersebut mengalir kesungai atau laut. Jenis tanah, topografi tutupan lahan dan vegetasi adalah beberapa faktor yang memengaruhi besarnya limpasan permukaan. Daerah yang bervegetasi lebat lebih mudah memperlambat aliran air hujan sehingga terjadi sedikit limpasan permukaan. Sedangkan di daerah tanpa vegetasi, kebanyakan air hujan yang jatuh akan mengalir sebagai limpasan permukaan (Faridah dan Vrita, 2020).

Salah satu metode untuk mengestimasi besaran debit limpasan di suatu DAS adalah melalui penggunaan model hidrologi. Model HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center's – Hydrologic Modeling System*) adalah salah satu model hidrologi yang digunakan untuk menganalisis debit limpasan atau debit banjir dalam suatu DAS. Perhitungan dan permodelanya penting untuk melakukan analisis guna mengetahui estimasi debit banjir yang mungkin terjadi selama periode waktu tertentu pada suatu DAS (Pariartha dkk, 2021).

DAS Walanae berada pada wilayah kabupaten Soppeng, Sulawesi Selatan yang merupakan sungai besar dengan luas  $\pm 3.170 \text{ km}^2$  dengan lebar sungai  $\pm 70 \text{ m}$ . Sungai Walanae merupakan sungai yang masuk ke danau Tempe di Kabupaten Wajo dan sering kali terjadi banjir pada daerah tersebut sehingga mengakibatkan puluhan rumah dan ribuan hektare sawah terendam air. Oleh karena itu perlu dilakukan penataan pada kawasan daerah aliran sungai (Antaraneews 2021).

Berdasarkan uraian dari paragraf diatas maka perlu dilakukan analisis limpasan air permukaan pada DAS Walanae dengan menggunakan model HEC-HMS untuk menentukan debit puncak maksimum yang akan terjadi pada daerah aliran sungai tersebut.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Berapa besar nilai debit puncak maksimum pada DAS ?
2. Berapa nilai karakteristik DAS Walanae yang digunakan dalam model HEC-HMS ?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Pada penelitian ini dilakukan di DAS Walanae Kabupaten Soppeng.
2. Pada penelitian ini menggunakan data curah hujan 2012-2021
3. Pada penelitian ini penulis menggunakan model HEC-HMS dengan metode SCS CN

## **1.4 Tujuan dan Kegunaan**

Tujuan dari penelitian ini memverifikasi dan memvalidasi model HEC-HMS untuk menentukan besarnya debit puncak maksimum dan memprediksi hidrograf berdasarkan kala ulang 2, 5, 10 dan 20 tahun pada DAS Walanae.

Kegunaannya adalah sebagai acuan pihak terkait dalam menangani pengembangan dan pengelolaan sumber daya air pada Daerah Aliran Sungai.

## **2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Kondisi Umum Daerah Studi**

Kabupaten Soppeng memiliki luas wilayah daratan seluas 1.500 km<sup>2</sup> atau setara dengan 150.000 ha. Ibukota Kabupaten Soppeng, yaitu Kota Watansoppeng, terletak pada ketinggian 120 meter di atas permukaan laut. Kabupaten Soppeng memiliki puluhan sungai yang berpotensi mengairi lahan pertanian di sekitarnya. Secara geografis, Kabupaten Soppeng terletak di daerah yang terdapat cekungan sungai Sungai Walanae. Beberapa sungai di Kabupaten Soppeng meliputi sungai Langkemme yang bermata air di Gunung Lapacu dan bermuara di Sungai Walanae. Sungai ini melintasi beberapa dusun seperti Dusun Umpungeng, Langkemme, Cenranae dan Dusun Soga (RPIJM, 2017).

Badan Pengelola DAS Jeneberang Walanae mengelola 17 DAS, termasuk DAS Walanae sebagai salah satunya. DAS Walanae memiliki luas wilayah yang termasuk dalam kategori DAS prioritas I (satu), dengan ukuran wilayah yang mencapai 478.932,72 Ha. DAS Walanae berada secara geografis pada koordinat 3° 59' 03" - 5° 8' 45" LS dan 119° 47' 09" – 120° 47' 03" BT. Secara administratif, DAS Walanae berada di wilayah Kabupaten Maros, Bone, Soppeng, dan Wajo (Sambas, 2017).

### **2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)**

Pada umumnya, DAS ialah sebuah area daratan yang berfungsi sebagai tempat penerimaan, penyimpanan, dan pengaliran air hujan menuju laut atau danau melalui sungai utama yang ada. DAS meliputi sungai utama dan cabang-cabang sungai lain yang terbentuk ketika hujan turun. Secara sederhana, DAS dapat dijelaskan sebagai wilayah yang menampung air yang mengalir ke dalam sistem sungai yang memiliki dimensi yang lebih besar dan bermuara di estuari atau muara sungai (Sambas 2017).

Menurut Nuralim (2018), macam-macam DAS berdasarkan fungsinya ialah,

1. Bagian hulu DAS berfokus pada upaya perbaikan yang dilakukan untuk menjaga kelestarian lingkungan DAS agar tidak mengalami kerusakan dan hal ini dapat dilihat melalui beberapa indikator seperti tutupan lahan, kualitas air, kapasitas DAS untuk menampung air (aliran) dan jumlah hujan yang jatuh.

2. Bagian pertengahan DAS melibatkan pengelolaan penggunaan sumber air sungai untuk memberi keuntungan bagi keperluan ekonomi dan sosial, yang bisa diamati melalui beberapa indikator seperti jumlah air, mutu air, kapasitas aliran air, tinggi muka air tanah dan fasilitas infrastruktur penyediaan air seperti pengaturan sungai, pembangunan danau dan waduk.
3. Bagian hilir fokusannya yaitu penggunaan yang efektif dari sumber daya air sungai dengan tujuan memberikan manfaat bagi masyarakat dan perekonomian. Hal ini diukur melalui aspek jumlah air dan mutu air, kemampuan sistem pengaliran, tingkat curah hujan, serta penerapan dalam sektor pertanian, penyediaan air bersih dan pengelolaan air sungai.

### 2.3 Penentuan Batas DAS

Proses pengolahan DEM dapat digunakan untuk menentukan batas DAS melalui penggunaan perangkat lunak GIS yang dirancang khusus untuk mengolah data DEM. Berikut adalah penjelasan mengenai prinsip mengolah DEM untuk membentuk jaringan sungai hingga terbentuknya batas DAS (Indarto 2017).

DEM adalah model digital yang digunakan untuk menggambarkan representasi visual atau model fisik yang berupa kontur dan relief permukaan bumi dengan tinggi, lebar, dan kedalaman. Penerapan dan penggunaan DEM telah dilakukan secara luas di berbagai bidang, seperti penelitian, pendidikan dan komersial (Indarto 2017). Untuk menciptakan jaringan sungai dan batas DAS berdasarkan data DEM, langkah-langkah berikut perlu diikuti sebagai input utama dalam membentuk arah aliran air:

1. Untuk meminimalkan atau mengembalikan keadaan cekungan ke kondisi normal pada DEM, digunakan *sink*. Apabila cekungan telah diminimalkan, akan diperoleh DEM yang telah dikoreksi. Jika masih terdapat cekungan yang perlu dikoreksi, proses *sink* akan diulangi
2. Setelah mendapatkan DEM yang sudah dikoreksi, selanjutnya adalah mengidentifikasi arah aliran dengan menghitung akumulasi aliran. Selanjutnya, orde sungai dapat diurutkan menggunakan metode penomoran *Strahler*. Dengan menggunakan metode *stream to feature*, ruas-ruas jaringan sungai dapat dihubungkan menjadi satu kesatuan.

3. Kemudian menghitung panjang aliran pada setiap ruas menggunakan *flow length*. Proses *snap pour point* juga dilakukan untuk mengidentifikasi titik-titik pengumpulan air yang terkait.
4. Terakhir, DAS dapat ditentukan. Batas ini menunjukkan wilayah yang berkontribusi terhadap aliran air dalam suatu sistem sungai.

## 2.4 Siklus Hidrologi

Tersedianya air di permukaan bumi dapat dipertahankan melalui hujan, yang merupakan hasil dari mekanisme alam yang terjadi secara alami, berkelanjutan dan berulang. Dalam konteks pengaturan distribusi air pada daratan, proses alam ini disebut sebagai siklus hidrologi. Secara dasarnya, sejumlah air di muka bumi ini jumlahnya tidak berubah dan mengalir menelusuri suatu lintasan yang disebut sebagai siklus hidrologi. Siklus hidrologi ialah serangkaian sistem terkait yang melibatkan perpindahan air yang berasal dari laut naik ke atmosfer (udara), kemudian mengalir ke wilayah daratan dan berakhir di lautan (Sudirman 2019).

Air hujan yang turun ke bumi memiliki dua jalur pergerakan, yaitu langsung mengalir dan tidak langsung melalui tanaman. Proses ini menyusun suatu siklus pergerakan air yang dimulai di tempat yang tertinggi, seperti pegunungan, menuju tempat terendah, baik itu di atas tanah maupun di lapisan tanah dan akhirnya mencapai laut (Sudirman 2019).

Menurut Sudirman (2019), siklus hidrologi terdiri dari beberapa proses yaitu,

### 2.4.1 Evaporasi

Siklus hidrologi berawal dari proses penghilangan air yang terdapat di muka bumi melalui penguapan. Air yang terdapat di tubuh air seperti danau, sungai, laut, sawah, bendungan atau waduk mengalami perubahan menjadi uap dikarenakan pengaruh dari sinar matahari. Demikian pula, air yang berada di atas tanah juga mengalami proses penguapan yang sama yang dikenal sebagai evaporasi.

### 2.4.2 Transpirasi

Proses penguapan air di muka bumi tidak terbatas pada air di tubuh air dan tanah saja, tetapi berlaku juga bagi benda hidup seperti hewan dan tanaman. Penguapan air yang berlangsung dalam tubuh makhluk hidup ini dikenal sebagai transpirasi.

Seperti halnya evaporasi, transpirasi mengubah air dalam bentuk cair di dalam organisme hidup menjadi uap air dan mengangkatnya ke atmosfer. Meskipun demikian, jumlah penguapan air melalui proses transpirasi jauh lebih rendah dibandingkan dengan jumlah air yang menguap melalui evaporasi.

#### 2.4.3 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi merupakan keseluruhan proses penguapan air yang berlangsung di muka bumi, termasuk di badan air, tanah dan dalam makhluk hidup. Evapotranspirasi merupakan hasil perpaduan antara evaporasi dan proses transpirasi.

#### 2.4.4 Kondensasi

Setelah terbentuk melalui proses evaporasi, transpirasi, dan evapotranspirasi, uap air akan naik ke atmosfer. Pada ketinggian tersebut, uap air mengalami kondensasi dan berubah menjadi partikel-partikel air yang kecil. Partikel air ini kemudian saling bergabung dan mendekat hingga membentuk awan. Dengan bertambahnya jumlah partikel air yang terbentuk, awan tersebut bertambah tebal dan memiliki warna yang gelap.

#### 2.4.5 Adveksi

Setelah terbentuk melalui kondensasi, awan kemudian mengalami proses adveksi, yaitu awan berpindah dari satu lokasi ke lokasi lain secara horizontal, yang disebabkan oleh tekanan udara yang berbeda. Melalui adveksi, awan dapat tersebar dan bergerak dari laut menuju daratan. Penting untuk dicatat bahwasanya tahap adveksi termasuk kedalam siklus hidrologi panjang.

#### 2.4.6 Presipitasi

Awan yang melakukan perpindahan melalui adveksi akan menghasilkan presipitasi selanjutnya. Presipitasi ialah fenomena di mana awan mengeluarkan air dalam bentuk cairan karena suhu udara tinggi. Dalam hal ini, hujan terbentuk saat tetesan air turun dan mencapai permukaan tanah. Namun, jika suhu udara di sekitar awan berada pada tingkat yang sangat rendah, di bawah 0°C, presipitasi dapat

berupa hujan es. Awan yang mengandung jumlah air yang signifikan akan cenderung mengendap ke permukaan bumi berbentuk kristal es yang halus.

#### 2.4.7 Runoff

Setelah terjadi presipitasi dan air hujan yang turun ke bumi, terjadi juga *runoff*. *Runoff* atau yang juga dikenal sebagai limpasan, adalah pergerakan air dari ketinggian ke rendah di permukaan bumi suatu proses alami yang terjadi melalui berbagai saluran yang akhirnya mencapai lautan. Dalam tahap ini, air yang sudah mengalami siklus hidrologi akan kembali ke bagian hidrosfer, mengikuti aliran gravitasi dan berpindah dari lokasi tertinggi ke lokasi terendah.

Menurut, Staddal (2016), limpasan permukaan berkaitan dengan faktor cuaca dan sifat-sifat khusus dari suatu DAS. Faktor cuaca meliputi intensitas hujan, lamanya hujan, dan pola penyebaran hujan. Sementara itu, karakteristik DAS melibatkan ukuran dan bentuk DAS, topografi, serta penggunaan lahan.

##### 2.4.7.1 Intensitas hujan

Dampak intensitas hujan terhadap *runoff* bergantung pada kapabilitas infiltrasi. Jika intensitas hujan melebihi kapabilitas infiltrasi, dengan demikian limpasan permukaan akan meningkat sejalan dengan peningkatan intensitas hujan.

##### 2.4.7.2 Lamanya hujan

Setiap DAS memiliki periode waktu hujan kritis yang telah ditetapkan sebagai ukuran referensi. Apabila durasi curah hujan lebih pendek daripada durasi hujan kritis, maka durasi limpasan akan tetap konstan dan tidak bergantung pada intensitas hujan. Namun, apabila durasi curah hujan lebih panjang, maka durasi limpasan permukaan juga akan mengalami peningkatan.

##### 2.4.7.3 Penyebaran hujan

Apabila kondisi topografi, jenis tanah, dan lainnya seragam di semua daerah aliran dan misalnya kuantitas curah hujan serupa, dalam hal ini curah hujan yang terdistribusi secara seragam akan menghasilkan debit puncak yang minimal.

##### 2.4.7.4 Luas DAS dan Bentuk DAS

Laju limpasan permukaan akan meningkat seiring meningkatnya luasan DAS. Namun, jika kita menggambarkan atau menyatakan aliran permukaan dalam bentuk laju dan volume per satuan luas, maka nilai tersebut akan mengalami penurunan

sejalan dengan peningkatan luasan DAS. Dalam hal tersebut terkait dengan periode waktu yang diperlukan bagi air untuk aliran mengalir dari titik yang terjauh ke titik yang dikendalikan, yang dikenal sebagai waktu konsentrasi, serta distribusi atau intensitas curah hujan.

DAS yang memiliki bentuk panjang dan kecil biasanya mengakibatkan limpasan permukaan yang relatif rendah dibandingkan DAS yang memiliki bentuk bulat atau lingkaran. Hal ini disebabkan oleh periode waktu akumulasi yang lebih panjang dalam DAS yang memanjang, oleh karenanya air membutuhkan lebih banyak waktu untuk mencapai titik kontrol, berbeda dengan DAS yang memiliki bentuk melebar. Dikarenakan adanya waktu yang lebih panjang, terjadi peningkatan konsentrasi air di titik kontrol dengan kecepatan dan volume aliran permukaan yang lebih rendah.

#### 2.4.7.5 Tata guna lahan

Dampak penggunaan lahan terhadap limpasan permukaan dinyatakan dengan menggunakan koefisien aliran permukaan (C). Koefisien ini menggambarkan perbandingan antara volume aliran permukaan dengan curah hujan. Rentang koefisienya (C) adalah 0 hingga 1, di mana semakin kecil nilai koefisien, semakin baik kondisi DAS tersebut. Sebaliknya, semakin besar nilai koefisien, semakin buruk kondisi DAS tersebut.

#### 2.4.8 Infiltrasi

Tidak selamanya air hujan yang jatuh akan mengalir di daratan sebagai *runoff*. Sejumlah kecil air tersebut akan memasuki pori-pori tanah melalui proses yang disebut infiltrasi. Infiltrasi ialah pergerakan air ke lapisan tanah melalui rembesan, di mana air menembus lapisan tanah dan terkumpul sebagai air tanah. Air yang mengalami proses infiltrasi akan mengalir secara perlahan menuju lautan.

### 2.5 Hidrograf

Menurut Hasanuddin (2014) komponen penyusun hidrograf dibagi menjadi 3 yaitu,

1. Aliran diatas tanah (*overload flow*), ialah air yang mengalir masuk ke saluran dengan melalui permukaan tanah

2. Aliran bawa permukaan (*interflow/subsurface storm flow*), merujuk pada air yang masuk ke dalam tanah dan mengalir secara lateral melalui lapisan tanah menuju sungai yang kecepatannya rendah dibandingkan kecepatan aliran permukaan.
3. Aliran air tanah (*groundwater flow*) yang dikenal dengan istilah aliran dasar.  
Istilah hidrograf merujuk pada sebuah grafik atau kurva yang menampilkan fluktuasi turun dan naiknya suatu aliran pada suatu lokasi tertentu di sungai sebagai fungsi waktu (Indarto 2017).

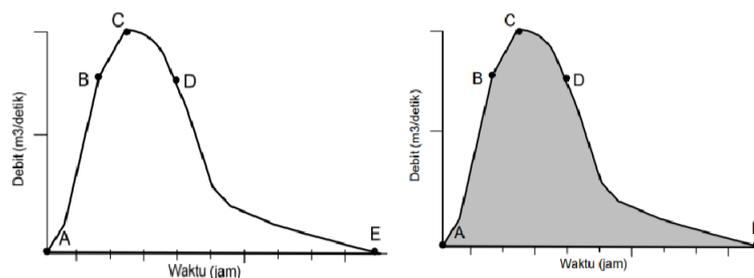
### 2.5.1 Jenis Hidrograf

Menurut Indarto (2017), klasifikasi hidrograf menurut SCS terdapat 3 macam yaitu,

1. Hidrograf alami adalah grafik yang dibentuk berdasarkan data yang direkam dari suatu stasiun pengukuran yang mencakup tinggi muka air (TMA), kecepatan dan debit aliran. Hidrograf ini mencerminkan karakteristik unik dari DAS pada bagian hulu stasiun pengukuran dan berupa hasil respons DAS terhadap hujan yang terbentuk. Dengan kata lain, hidrograf alami dapat disebut sebagai "sidik jari" atau tanda khas dari DAS tersebut.
2. Hidrograf satuan, baik yang alami maupun yang sintesis, menggambarkan aliran permukaan dalam satuan misalnya (inci/mm) yang distribusinya menyeluruh pada DAS dalam waktu tertentu. Hidrograf satuan ini menggambarkan jumlah air yang mengalir dari satu satuan aliran permukaan (*runoff*) yang terjadi di DAS tersebut. Luas di bawah kurva hidrograf satuan tersebut mencerminkan volume total aliran permukaan yang dihasilkan oleh satu satuan aliran permukaan.
3. Hidrograf Satuan Tak Berdimensi (*dimensionless unit hydrograph*) terbentuk melalui penggabungan hidrograf satuan alami yang berbeda-beda. Pada hidrograf ini, skala sumbu ordinat menggambarkan perbedaan debit dengan debit puncak (*peak discharge*), sedangkan skala sumbu absis menggambarkan perbedaan waktu dengan waktu puncak (*time to peak*).

### 2.5.2 Komponen Hidrograf

Menurut Indarto (2017), Hidrograf adalah tanggapan dari suatu peristiwa hujan didalam DAS. Hidrograf dapat dibagi menjadi beberapa titik,



Gambar 1. Komponen Hidrograf. Sumber: Indarto (2017).

Huruf A dikenal titik awal kenaikan (*starting point*), Huruf B sebagai titik puncak kenaikan (*rising peak point*), Huruf C menandakan titik puncak (*peak point*), Huruf D menandakan titik balik penurunan (*recession turning point*), dan Huruf E menandakan berakhirnya penurunan (*end point of recession*). Luas area di bawah kurva antara huruf A, B, C, D, E, dan sumbu X merepresentasikan volume pada limpasan permukaan (Indarto 2017).

### 2.5.3 Metode Analisis Hidrograf

Terdapat beberapa metode dalam analisis hidrograf diantaranya yaitu,

#### 2.5.3.1 Hidrograf Satuan Sintetis Snyder

Hidrograf satuan sintesis Snyder adalah metode perhitungan hidrograf yang mempertimbangkan karakteristik dari suatu DAS dalam bentuk *lag*. Snyder mendeskripsikan *lag time* sebagai waktu yang diperlukan dari sejumlah curah hujan untuk mencapai debit puncak dari suatu wilayah yang dikaji. *Lag time* merupakan karakteristik utama DAS yang digunakan untuk menentukan hidrograf satuan sintesis. Nilai dari *lag time* didapat dari data curah hujan dan aliran sungai atau melalui observasi lapang untuk beberapa curah hujan. Metode ini digunakan untuk mengetahui karakteristik hidrograf satuan misalnya *lag time*, durasi hidrograf satuan dan debit puncak aliran (Lena 2017).

#### 2.5.3.2 Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu

Hidrograf satuan sintetis Nakayasu pengembangannya berdasarkan pada data pengamatan hidrograf satuan alami dari berbagai DAS di Jepang. Dikarenakan karakteristik topografi berbukit-bukit dan sungai yang relatif pendek dengan kemiringan yang besar di Jepang, hasil perhitungan *time lag* menjadi lebih kecil dan puncaknya cenderung tajam. Dalam perhitungan debit, terdapat perbedaan

dalam persamaan yang digunakan antara sisi naik dan sisi turun hidrograf. Dengan menggunakan nilai  $\alpha$  yang dapat disesuaikan melalui metode percobaan, debit puncak dan volume hidrograf yang diperoleh dapat mengikuti bentuk hidrograf yang diamati. (Nurhasanah 2015).

### 2.5.3.3 Hidrograf Satuan Sintesis SCS (*Soil Conservation Service*)

Apabila diketahui waktu puncak dan waktu awal, maka dapat dihitung debit puncak hidrograf satuan sintesis yang disebabkan oleh curah hujan tinggi sebesar 1 mm dalam periode hujan 4 jam sebagai berikut,

$$Q_p = \frac{C_p \cdot A}{T_p} \quad (1)$$

dimana,

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

$A$  = luas DAS ( $km$ )

$C_p$  = koefisien debit puncak

$T_p$  = waktu puncak ( $jam$ )

## 2.6 Curah Hujan

### 2.6.1 Hujan Maksimum

Curah hujan adalah jumlah air hujan yang terakumulasi pada permukaan datar yang tidak menguap, meresap atau mengalir. Satuan yang umum digunakan untuk mengukur curah hujan adalah milimeter (mm). Intensitas hujan merujuk pada kuantitas curah hujan yang terjadi pada suatu periode waktu tertentu, yang umumnya diukur dalam satuan mm/jam, mm/hari, mm/tahun, dan sejenisnya. Curah hujan tersebut dapat dikategorikan sebagai curah hujan per jam, per hari, per tahun dan sebagainya. Dalam analisisnya, data yang umum dipakai mencakup nilai maksimum, minimum, dan rata-rata curah hujan. Cara-cara analisis curah hujan dibebberapa pos stasiun hujan yaitu dengan menggunakan metode Aritmatika, poligon Thiessen dan metode Isohyet (Ajr dan Dwirani 2019).

#### 2.6.1.1 Metode Aritmatika

Pengukuran menggunakan metode Aritmatika dilakukan dengan menggunakan data dari beberapa stasiun pengukuran secara simultan, kemudian data tersebut dijumlahkan dan dibagi dengan total stasiun yang terlibat. Stasiun yang dipakai pada perhitungan umumnya terletak di dalam DAS, akan tetapi juga dapat mencakup stasiun yang berada di luar DAS namun tidak berjauhan dengan wilayah

tersebut. Metode Aritmatika atau rata-rata Aljabar merupakan metode yang sederhana dalam menghitung rata-rata curah hujan (Ferdian 2016).

Menurut Ferdian (2016), metode aritmatika hasilnya akurat jika,

1. Stasiun hujan tersebar merata di DAS
2. Distribusi hujan relatif merata pada DAS

Bentuk persamaanya yaitu,

$$P = \frac{p_1+p_2+p_3\dots+pn}{n} \quad (2)$$

dimana,

P = Hujan rata-rata  
 $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$  = Hujan di stasiun 1, 2, 3, ..., n  
 n = Jumlah Stasiun

#### 2.6.1.2 Metode Polygon Thiessen

Metode ini mempertimbangkan nilai penting pada setiap titik pengukuran yang merepresentasikan luas wilayah di sekelilingnya. Ketika mengamati suatu area DAS, diasumsikan bahwa curah hujan di area tersebut sama dengan curah hujan yang terjadi di stasiun pengukuran terdekat. Dengan demikian, curah hujan yang tercatat di stasiun tersebut dianggap mewakili seluruh luas area tersebut. Metode ini dipergunakan ketika penyebaran stasiun pengukuran hujan di daerah yang sedang ditinjau tidak merata. Untuk menghitung rata-rata curah hujan, perlu mempertimbangkan area yang terpengaruh oleh setiap stasiun pengamatan. Metode ini hasilnya lebih akurat dibanding metode aritmatika, tetapi penentuan titik-titik pengamatan akan mempengaruhi tingkat ketelitian yang diperoleh (Ferdian 2016). Adapun persamaan yang digunakan yaitu,

$$P = \frac{A_1p_1+A_2p_2+\dots+Anp_n}{A_1+A_2+\dots+An} \quad (3)$$

dimana,

P = Hujan rata-rata  
 $p_1, p_2, \dots, p_n$  = Hujan pada stasiun 1, 2, ..., n  
 $A_1, A_2, \dots, A_n$  = Luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n

#### 2.6.1.3 Metode Isohyet

Metode Isohyet berfungsi menentukan kedalaman curah hujan yang sama di suatu daerah dengan menyatukan titik-titik yang memiliki kedalaman hujan yang sama dengan garis Isohyet. Dalam metode ini, diasumsikan bahwa curah hujan di antara dua garis Isohyet tersebut sama rata dan memiliki nilai rata-rata dari

kedalaman hujan pada kedua garis Isohyet tersebut. Metode ini sangat cocok dipergunakan di daerah yang bergunung dan berbukit curam, dan pada peta fotografi, garis Isohyet direpresentasikan dengan menggunakan titik-titik pengamatan yang telah diukur. Metode ini adalah pendekatan yang rasional dan dapat memberikan hasil yang akurat jika garis Isohyet dapat dibuat dengan akurasi yang lebih tinggi (Silvia 2016). Persamaan yang digunakan yaitu,

$$P = \frac{A1 \frac{I1+I2}{2} + A2 \frac{I2+I3}{2} \dots + An \frac{In+In+1}{2}}{A1+A2+\dots+An} \quad (4)$$

dimana,

P = hujan rata-rata

I1, I2, ..., In = garis Isohyet 1, 2, ..., n

A1, A2, ..., An = luas daerah yang dibatasi garis Isohyet ke 1 dan 2, 2 dan 3, ... n dan n+1

Metode Isohyet adalah pendekatan yang sangat akurat dalam menentukan rerata kedalaman hujan pada suatu wilayah, namun metode ini memerlukan upaya dan fokus yang lebih intensif dibandingkan dengan yang lainnya.

## 2.6.2 Hujan Rencana

Peristiwa-peristiwa ekstrem seperti banjir dan kekeringan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sistem hidrologi. Frekuensi kejadian-kejadian ekstrem memiliki hubungan terbalik dengan besaran kejadian tersebut, yang berarti semakin besar suatu peristiwa ekstrem, semakin jarang terjadi. Tujuan analisis frekuensi adalah untuk mengkaji peristiwa ekstrem berdasarkan distribusi probabilitas yang digunakan untuk menggambarkan frekuensi kejadian. Analisis frekuensi melibatkan penggunaan data statistik dari kejadian hujan sebelumnya untuk mengestimasi kemungkinan besarnya hujan dimasa mendatang. Asumsi yang digunakan adalah dalam hal sifat statistik kejadian hujan, dapat diasumsikan bahwa angka dari kejadian hujan yang akan datang memiliki kemiripan dengan angka kejadian hujan sebelumnya (Umrah 2021).

### 2.6.2.1 Parameter Statistik

Untuk mengestimasi potensi terjadinya curah hujan maksimum dalam satu hari secara berulang dalam suatu wilayah, hasil perhitungan curah hujan maksimum harian rata-rata dengan beberapa metode perlu dilakukan. Tahapan yang dilakukan

melibatkan pengukuran dispersi dan menguji kecocokan sebaran menggunakan logaritma. Beberapa metode yang digunakan,

#### 1. Standar Deviasi

Persamaan yang digunakan dalam menghitung standar deviasi yaitu,

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X - X_1)^2}{n-1}} \quad (5)$$

dimana,

Sd = standar deviasi

$X_1$  = nilai curah hujan (mm)

$X$  = nilai rata-rata curah hujan

$n$  = jumlah data

#### 2. Koefisien Skewness (Cs)

Persamaanya yaitu,

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (X - X_1)^3}{(n-1)(n-2)(sd^3)} \quad (6)$$

dimana,

Cs = Koefisien *skewness*

Sd = standar deviasi

$X_1$  = nilai curah hujan (mm)

$X$  = nilai rata-rata curah hujan

$n$  = jumlah data

#### 3. Koefisien kurtosis (Ck)

Ck dapat dihitung dengan persamaan,

$$Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_1 - X)^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(sd)^4} \quad (7)$$

dimana,

Ck = koefisien kurtosis

Sd = standar deviasi

$X_1$  = nilai curah hujan (mm)

$X$  = nilai rata-rata curah hujan

$n$  = jumlah data

#### 4. Koefisien Variasi (Cv)

Cv dapat dihitung dengan persamaan,

$$Cv = \frac{sd}{x} \quad (8)$$

dimana,

Cv = koefisien variasi

Sd = standar deviasi

$x$  = nilai rata-rata curah hujan

### 2.6.2.2 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi ialah hasil dari serangkaian analisa hidrologi yang mempertimbangkan jumlah hujan yang terbentuk dalam suatu waktu yang telah ditetapkan sebelumnya. Tabel 1 merupakan pedoman umum yang digunakan dalam penerapan distribusi. Tahapan dalam analisis distribusi frekuensi, terdapat beberapa metode yang umum digunakan, diantaranya metode distribusi log-normal, normal, Gumbel dan metode distribusi *log-Pearson type III*.

Tabel 1. Pedoman Umum Penggunaan Distribusi.

No	Jenis Sebaran	Syarat
1	Normal	$C_s = 0, C_k = 3$
2	Log Normal	$C_s = 1, 104; C_k = 5,24$
3	Gumbel	$C_s \leq 1,4; C_k \approx 5,4002$
4	<i>Log Pearson Type III</i>	$C_s$ positif atau negatif, dan tidak memenuhi semua syarat diatas

Sumber : Umrah (2021).

#### 1. Distribusi Normal

Persamaan dalam metode distribusi normal yaitu,

$$X_{Tr} = X + K_{Tr} \times S_x \quad (9)$$

dimana,

$X_{Tr}$  = curah hujan rencana untuk kala ulang

$K_{Tr}$  = Variabel reduksi Gauss

$X$  = rata-rata curah hujan

$S_x$  = standar deviasi

Dengan,:

$$X = \frac{\sum_1^n X_i}{n} \quad (10)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(X_i - X)^2}{n-1}} \quad (11)$$

#### 2. Distribusi Log Normal

Persamaan yang digunakan yaitu,

$$\text{Log}X_{Tr} = \text{log}X + K_{Tr} \times S_{\text{log}X} \quad (12)$$

dimana,

$\text{log}X_{Tr}$  = curah hujan rencana untuk kala ulang

$\text{log}X$  = rata-rata curah hujan

$S_{\text{log}X}$  = standar deviasi

$K_{Tr}$  = variabel reduksi Gauss

dengan,

$$\log X = \frac{\sum_1^n \log(X_i)}{n} \quad (13)$$

$$S_{\log X} = \sqrt{\frac{\sum (\log X_i - \log X)^2}{n-1}} \quad (14)$$

### 3. Distribusi Gumbel

Persamaan yang digunakan yaitu,

$$X_{Tr} = X + K \times S_x \quad (15)$$

dimana,

$X_{Tr}$  = curah hujan rencana untuk kala ulang

$X$  = rata-rata curah hujan

$S_x$  = standar deviasi

$K$  = faktor frekuensi

dengan,

$$X = \frac{\sum_1^n X_i}{n} \quad (16)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X)^2}{n-1}} \quad (17)$$

Sedangkan untuk menghitung faktor frekuensi Gumbel maka,

$$K = \frac{y_t - y_n}{S_n} \quad (18)$$

dimana,

$y_t$  = reduksi sebagai fungsi dari probabilitas

$y_n$  dan  $S_n$  = besaran yang merupakan fungsi dari jumlah pengamatan

### 4. Distribusi Log Pearson Type III

Persamaan yang digunakan yaitu,

$$\text{Log } X_{Tr} = \text{Log } X + K_{Tr} \times (S_{\log X}) \quad (19)$$

dimana,

$\log X_{Tr}$  = curah hujan rencana untuk kala ulang

$\text{Log } X$  = rata-rata curah hujan

$S_{\log X}$  = standar deviasi

$K_{Tr}$  = koefisien frekuensi, berdasarkan nilai  $C_s$  setiap kala ulang

dengan,

$$\log X = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \quad (20)$$

$$S_{\log X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log X)^2}{n-1}} \quad (21)$$

### 2.6.2.3 Uji Kesesuaian

Uji kesesuaian distribusi dapat digunakan dua cara yaitu,

#### 1. Uji *Chi Kuadrat*

Uji *Chi Kuadrat*, yang juga dikenal sebagai uji data vertikal, adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana frekuensi pengamatan cocok dengan yang diharapkan. Pengujian ini berguna dalam mengidentifikasi adanya perbedaan vertikal yang signifikan yang dihitung menggunakan rumus Shanin,

$$(x^2)_{hit} = \sum_{i=1}^k \frac{(EF-FO)^2}{EF}, EF = \frac{n}{k} \quad (22)$$

dimana,

$X^2_{hit}$  = uji statistik

OF = nilai yang diamati (*observed frequency*)

EF = nilai yang diharapkan (*expected frequency*)

Uji *Chi Kuadrat* merupakan uji simpangan vertical, cara pengujiannya adalah:

- Menentukan jumlah kelas (K)
- $K = 1 + 3,22 \log n$ , dimana n merupakan banyaknya data
- Menentukan nilai *Chi Kuadrat* terhitung  $(X^2)_{cr}$
- Besarnya nilai  $(X^2)_{cr}$  dapat diperoleh atas taraf signifikan ( $\alpha$ ) dan derajat bebasnya (DK). Memasukkan harga K dan sebaran *Chi Kuadrat* sehingga diperoleh nilai DK.
- $DK = K - (P - 1)$
- Lalu nilai  $(X^2)_{cr}$  dibandingkan dengan nilai *Chi Kuadrat* kritis  $(X^2)_{cr}$
- Jika nilai  $(X^2)_{cr} > (X^2)_{hit}$  maka sebaran vertikalnya dapat diterima

#### 2. Uji Smirnov Kolmogorov

Uji *Smirnov-Kolmogorov*, yang juga dikenal sebagai uji data horizontal, digunakan untuk menguji adanya perbedaan mendatar yang signifikan antara dua sampel data. Dalam pengujian ini, digunakan persamaan berikut untuk menghitung statistik uji,

$$\Delta_{maks} = |P_E(x) - P_t(x)| \quad (23)$$

dimana,

$\Delta_{maks}$  = selisih data probabilitas teoritis dan empiris

$P_t(x)$  = data x secara teoritis

$P_E(x)$  = data x secara empiris

Dengan mengacu pada pengolahan data, maka dibandingkan antara distribusi secara teoritis dan distribusi empiris yang disebut sebagai  $\Delta$ maksimum. Nilai  $\Delta$ maksimum kemudian dilakukan perbandingan dengan nilai  $\Delta$ cr yang dihasilkan dari tabel dengan tingkat signifikansi tertentu, misalnya  $\alpha = 5\%$ . Jika nilai  $\Delta$ cr lebih besar dari  $\Delta$ maksimum, maka hipotesis dapat diterima.

### 2.6.3 Intensitas Curah Hujan

Menurut (Umrah 2021), Intensitas curah hujan mengacu pada besarnya curah hujan yang terbentuk dalam periode waktu tertentu ketika air hujan berkonsentrasi. Untuk menentukan intensitas curah hujan, dapat digunakan data curah hujan dari tahun sebelumnya. Terdapat beberapa persamaan yang dipakai dalam mengestimasi intensitas curah hujan, salah satunya yaitu rumus Mononobe yang dinyatakan dalam,

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left[ \frac{24}{t} \right]^{2/3} \quad (24)$$

dimana,

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

T = lamanya curah hujan (jam)

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

## 2.7 Model Hidrologi

Menurut Muhammad (2022), pertama kali, model hidrologi dibuat dengan sederhana agar kemudahan aplikasi dan kecocokan untuk perencanaan konstruksi yang sederhana. Umumnya, model-model tersebut berupa rumus-rumus praktis yang secara langsung menghubungkan curah hujan dengan debit aliran. Namun, dengan adanya kemajuan teknologi, model-model ini mengalami perkembangan menjadi model yang jauh lebih kompleks. Model-model tersebut mampu memuat data tentang debit puncak atau hidrograf aliran yang memberikan informasi mengenai volume aliran dari waktu ke waktu. Berikut adalah model hidrologi di Indonesia:

### 2.7.1 Model AGNPS

AGNPS (*Agricultural Non Point Source*) merupakan suatu model hidrologi yang menggunakan variabel terdistribusi untuk memodelkan hubungan antara

hujan, *runoff*, sedimen dan dugaan hasil hara. Komponen utama model AGNPS meliputi hidrologi, erosi tanah, transformasi sedimen dan transformasi hara.

### 2.7.2 Model ANSWERS

Prinsip utama dari model ANSWERS (*Areal Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation*) didasarkan pada anggapan bahwa setiap lokasi di DAS memiliki keterkaitan antara laju aliran air dan variabel hidrologi yang relevan, seperti intensitas curah hujan, infiltrasi, kondisi topografi dan jenis tanah.

### 2.7.3 Model HEC-RAS

HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Centre-River Analysis System*) merupakan sebuah *software* yang dirancang sebagai alat untuk memprediksi debit banjir pada sungai. Perangkat lunak ini didesain dengan menggunakan konsep model *lump* untuk melakukan analisis sungai. Perangkat lunak tersebut memiliki kemampuan untuk dengan cepat memprediksi waktu, besarnya debit puncak serta volume limpasan pada sungai tertentu. Model ini membutuhkan beberapa data masukan yang meliputi data debit, data curah hujan, luasan DAS serta beberapa parameter tambahan yang memfasilitasi regionalisasi.

### 2.7.4 Model HEC-HMS

Model HEC-HMS merupakan versi pengembangan HEC-1 *under windows* untuk simulasi limpasan permukaan disuatu DAS. Dalam model ini, DAS ditampilkan sebagai suatu sistem yang saling berhubungan dengan komponen hidrologi. Beberapa komponen digabungkan untuk mensimulasikan proses cekungan dan masing-masing komponen mewakili faktor-faktor untuk mengubah curah hujan menjadi limpasan. *Software* HEC-HMS menyediakan fitur untuk melakukan verifikasi dan validasi pada model distribusi, model kontinuitas aliran dan juga memiliki kelebihan untuk membaca data geografis (Affandy, 2011).

#### 2.7.4.1 Komponen Model HEC-HMS

Menurut Ayu (2021), komponen dari model HEC-HMS yaitu,

1. *Basin model*, digunakan dalam memasukkan nilai karakteristik DAS
2. *Meteorological model*, digunakan untuk menghubungkan *subbasin* dengan *time series data*

3. *Time series data*, digunakan sebagai *input* data curah hujan dan data debit sungai.

#### 2.7.4.2 Parameter Model HEC-HMS

Adapun parameter model yang terdapat didalam HEC-HMS yaitu,

##### 1. *Loss Method*

*Curve Number* adalah metode yang dimanfaatkan dengan mudah mengestimasi kecepatan aliran permukaan. Model ini sering dipakai dalam analisa hidrologi. Metode *curve number* adalah suatu pendekatan yang dimanfaatkan dalam memperkirakan aliran permukaan dengan mempertimbangkan hubungan antara curah hujan, tutupan lahan dan jenis hidrologi tanah.

##### 2. *Transform* (Transformasi Hidrograf Satuan)

Waktu konsentrasi ( $T_c$ ) adalah waktu puncak air hujan pada suatu DAS untuk mencapai *outlet*. Berikut adalah rumus digunakan untuk menghitung waktu puncak,

$$T_c = 0,57 \times A^{0,41} \quad (25)$$

dimana,

$T_c$  = waktu puncak (jam)

$A$  = luas daerah aliran air (km<sup>2</sup>)

Sementara itu, dalam menghitung waktu tunda (*lag time*) dapat digunakan rumus berikut,

$$T_{lag} = 0,6 \times T_c \quad (26)$$

dimana,

$T_{lag}$  = waktu tunda (menit)

$T_c$  = waktu puncak (jam)

##### 3. *Base Flow*

Dalam suatu hidrograf terdapat lebih dari satu komponen aliran yaitu aliran permukaan dan aliran dasar (*base flow*). Umumnya, aliran permukaan terjadi saat air hujan mengalir langsung di atas tanah tanpa meresap ke dalamnya. Sebaliknya, *Base flow* merupakan aliran air yang berasal dari air hujan sebelumnya yang terserap ke dalam tanah dan tertahan di dalamnya sebelum secara perlahan mengalir ke sungai atau saluran lainnya.

#### 2.7.4.3 Elemen Hidrologi HEC-HMS

Menurut Agus (2016), HEC-HMS menyediakan tujuh elemen hidrologi yang mewakili bagian dari respons total DAS terhadap presipitasi diantaranya yaitu,

### 1. *Subbasin*

Data tersebut mencakup informasi tentang subdaerah aliran sungai, termasuk data kehilangan, model transformasi (hidrograf satuan) dan *baseflow*. Data ini digunakan untuk mengkonversi curah hujan menjadi aliran

### 2. *Reaches*

Menggabungkan elemen-elemen yang ada, seperti subdaerah aliran sungai dan simpul (*junction*), serta menyediakan data pelacakan aliran sungai. Ini digunakan untuk mengarahkan dan melacak aliran ke hilir.

### 3. *Reservoirs*

Berfungsi sebagai reservoir yang menampung dan mengeluarkan aliran sesuai dengan tingkat aliran yang telah ditetapkan (hubungan antara kapasitas tampungan dan debit)

### 4. *Sources*

Terdapat aliran keluar tetapi tidak ada aliran masuk. Digunakan untuk memodelkan aliran yang masuk ke dalam model basin.

### 5. *Junctions*

Merupakan titik yang menghubungkan antara elemen-elemen yang ada, seperti sub basin dan *reaches*, digunakan untuk menggabungkan aliran dari sub basin maupun *reaches*.

### 6. *Diversions*

Digunakan untuk memodelkan aliran keluar dari sungai utama berdasarkan kurva rating yang ada. Metode ini sering digunakan untuk memprediksi aliran yang meluap dari kolam retensi atau *overflow*.

### 7. *Sink*

Memiliki *inflow* tetapi tidak dengan *outflow*. Digunakan dalam mempresentasikan *outlet* dari *watershed*.

Curah hujan yang terjadi di suatu DAS akan mengalami beberapa proses seperti penyerapan ke dalam tanah, penahanan oleh vegetasi, penguapan dan kehilangan lain sebelum akhirnya menjadi limpasan. Dalam model volume limpasan, perhitungan dilakukan untuk menentukan curah hujan efektif dan total pengurangan curah hujan yang meliputi intersepsi, infiltrasi dan evapotranspirasi. Dalam pemilihan model perlu memperhatikan ketersediaan data yang dipakai (Agus 2016).

#### 2.7.4.4 Metode Perhitungan Limpasan dalam HEC-HMS

Menurut Affandy dan Anwar (2011), Dalam permodelan HEC-HMS, terdapat beberapa metode perhitungan limpasan yang tersedia untuk digunakan, yaitu:

1. *The initial and constant-rate loss model*
2. *The deficit and constant-rate loss model*
3. *The SCS curve number (CN) loss model (composite or gridded)*
4. *The Green and ampt loss model*

### 2.8 Metode SCS-CN

*Curve Number* adalah sebuah fungsi yang tergantung pada karakteristik DAS, seperti jenis tanah, vegetasi penutup, penggunaan lahan, tingkat kelembaban, dan metode pengolahan tanah. Metode SCS CN digunakan untuk memprediksi hujan berlebih (*precipitation excess*) yang langsung berkontribusi pada aliran permukaan sungai. SCS *Curve Number* memiliki beberapa parameter yang harus dimasukkan, termasuk nilai awal penyerapan air (*initial abstraction*), SCS *CN* itu sendiri, dan tingkat kedap air (*imperviousness*) (Yulianto 2018).

Metode perhitungan menggunakan SCS CN mempertimbangkan bahwa limpasan permukaan yang dihasilkan dipengaruhi oleh hujan kumulatif, penggunaan lahan, jenis tanah dan tingkat kelembaban. Menurut Affandy dan Anwar (2011). persamaanya adalah,

$$Q = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} \quad (27)$$

dimana,

- Q = Volume Limpasan Permukaan (mm)
- P = Hujan harian (mm)
- $I_a$  = Kehilangan awal (*initial abstraction*)
- S = Kemampuan penyimpanan maksimum (mm)

*Initial Abstraction* adalah jumlah air yang hilang sebelum hujan mulai turun. Ini termasuk jumlah air yang dapat terkumpul oleh permukaan, air yang diintersepsi oleh vegetasi, penguapan dan infiltrasi. Nilai *Initial Abstraction* bervariasi tergantung pada jenis lahan dan parameter tertentu yang berkaitan dengan tutupan tanah. Berdasarkan beberapa analisis yang dilakukan pada daerah aliran sungai, SCS (*Soil Conservation Service*) telah mengembangkan rumus empiris yang menghubungkan *Initial Abstraction* dengan parameter S (Yulianto 2018).

$$I_a = 0,2S \quad (28)$$

Untuk mempermudah perhitungan keadaan kelembapan mula-mula, penggunaan lahan dan kondisi tanah, US SCS (*United States Soil Conservation Service*) menetapkan nilai S yakni,

$$S = \left( \frac{25400 - 254 CN}{CN} \right) \quad (29)$$

CN : Nilai kurva kehilangan air beragam dari 0 sampai 100

Dengan memplotkan nilai curah hujan dan limpasan permukaan pada kurva SCS, kita dapat menentukan nilai CN. Metode SCS mengkategorikan jenis tanah ke dalam beberapa kategori berdasarkan jenis tanah dan penggunaan lahan. Pada tahap awal, pendekatan yang umum digunakan adalah 0,2 S sehingga diperoleh,

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad (30)$$

Menurut Pramadita, Suryadi, and Kendarto (2021), Nilai CN berbeda-beda dari 1 sampai 100 bergantung pada penggunaan lahan dan kelompok hidrologi tanah. Sehingga nilai CN dapat ditentukan sebagai nilai komposit. Persamaannya yaitu,

$$CN_{\text{kom}} = \frac{\sum A_i \times C_{Ni}}{\sum A_i} \quad (31)$$

dimana,

$CN_{\text{kom}}$  = CN komposit

$A_i$  = luas DAS (km)

$C_{Ni}$  = nilai CN

**Tabel 2. Kelompok Hidrologi Tanah Berdasarkan Tekstur Tanah**

HSG	Tekstur Tanah
A	Lempung, debu, lempung berdebu, lempung berpasir sangat halus
B	Pasir, pasir berlempung, lempung berpasir
C	Lempung berliat, lempung liat berdebu, lempung liat berpasir
D	Liat, liat berdebu, liat berpasir, liat

Sumber : Pramadita (2021).

## 2.9 Pemisahan Aliran Dasar

Sejak tahun 1904, telah dilakukan analisis terhadap unsur-unsur aliran dasar dalam hidrograf aliran sungai. Dari berbagai pilihan metode yang tersedia, metode filter digital dan metode grafis digital adalah metode yang relatif sederhana yang dapat digunakan. Metode filter digital beroperasi dengan mengolah data debit untuk

memisahkan aliran dasar dari hidrograf. Dalam proses pemisahan aliran dasar, digunakan Redistribusi Digital Filter (RDF) untuk memisahkan komponen aliran permukaan yang memiliki karakteristik yang tinggi dan menyisakan komponen aliran dasar (*baseflow*) yang memiliki karakteristik rendah (Wawan 2016).

Metode pemisahan secara grafis juga telah dirancang untuk memisahkan aliran dasar. Contoh pemisahan aliran secara grafis yaitu, metode interval tetap (*fixed interval method*), metode interval bergerak (*sliding interval method*) dan metode minimum lokal (*local minimum method*).

### 2.9.1 Metode Minimum Lokal

Metode minimum lokal bekerja dengan mengkaji debit harian untuk mengidentifikasi apakah itu adalah debit paling bawah atau bukan. Ini dilakukan dengan memakai interval waktu yang ditentukan oleh  $[0,5 (2*N-1)$  hari]. Nilai N diperoleh suatu persamaan,

$$N = A^{0,2} \quad (32)$$

dimana,

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

Kemudian, Debit paling rendah pada masing-masing interval dihubungkan secara linear untuk menentukan *baseflow*. Kemudian pada aliran permukaan (*runoff*) dapat diperoleh dengan mengurangi nilai dari debit aliran sungai dan aliran dasar dengan persamaan,

$$Q_{Ro} = Q_{tot} - Q_{bas} \quad (33)$$

dimana,

$Q_{Ro}$  = debit *runoff*

$Q_{tot}$  = debit total (debit sungai)

$Q_{bas}$  = debit aliran dasar (*baseflow*)

### 2.9.2 Metode Interval Tetap

Metode interval tetap memanfaatkan nilai terkecil pada setiap intervalnya sebagai dasar. Metode ini diilustrasikan melalui diagram batang yang ditarik ke atas hingga mencapai titik terendah dalam masing-masing interval yang ditentukan, dan langkah ini diulang untuk setiap interval selanjutnya.

### 2.9.3 Metode Interval Bergerak

Metode Interval Bergerak dijelaskan melalui diagram batang yang ditarik ke atas hingga mencapai titik temu dengan hidrograf. Debit diperoleh dengan menggunakan nilai tengah dalam setiap interval harian, kemudian diagram batang digeser ke hari selanjutnya dan proses ini diulang dengan cara terus menerus.

### 2.10 Validasi Nash Sutcliffe (NSE)

Model dikatakan berkualitas tinggi jika mempunyai tingkat keakuratan yang baik dan memenuhi persyaratan pemodelan yang ditetapkan. Evaluasi terhadap akurasi model dapat dilakukan dengan membandingkan nilai *error* diantara nilai simulasi model dengan data terukur. Pengujian model bertujuan untuk menentukan tingkat keakuratan suatu model dan menguji sejauh mana model tersebut dapat diandalkan (Yulianto 2018). Rumus yang digunakan untuk validasi adalah,

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X-Y)^2}{\sum_{i=1}^n (X-\bar{X})^2} \quad (34)$$

dimana,

NSE = koefisien *nash sutcliffe*

n = jumlah data debit

Y = nilai dari debit pemodelan (m<sup>3</sup>/s)

X = nilai dari debit observasi (m<sup>3</sup>/s)

$\bar{X}$  = rata-rata nilai debit observasi (m<sup>3</sup>/s).

Tabel 3. Nilai parameter Validasi HEC-HMS

Nilai NSE	Parameter
$NSE > 0,75$	Baik
$0,36 < NSE < 0,75$	Memuaskan
$NSE < 0,36$	Kurang memuaskan

Sumber: Zulaeha (2020).