

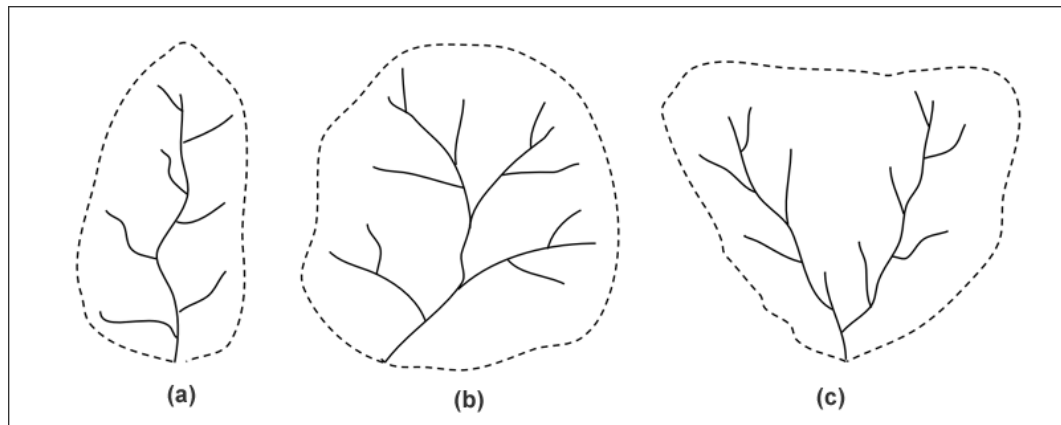
2. LANDASAN TEORI

2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

DAS (Daerah Aliran Sungai) adalah daerah daratan dan sungai yang memiliki fungsi untuk menampung dan mengalirkan air secara alami. DAS juga memiliki definisi; daerah dengan punggung daratan sebagai batasnya lalu membentuk cekungan dengan sungai sebagai jalan untuk mengantarkan air ke muara. Karakteristik suatu DAS menjadi faktor yang mempengaruhi perhitungan hidrologi khususnya dalam perhitungan debit sungai. Adapun karakteristik DAS di antaranya sebagai berikut.

2.1.1 Bentuk DAS

Bentuk DAS berpengaruh terhadap debit pada suatu aliran sungai. Bentuk DAS dapat bervariasi tergantung pada topografi wilayah di sekitarnya. DAS yang lebar memiliki ciri debit aliran puncak lebih besar daripada DAS yang memanjang. Berikut merupakan bentuk DAS ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bentuk Daerah Aliran Sungai

1. DAS Bentuk Bulu Burung

DAS dengan bentuk bulu burung memiliki anak-anak sungai yang mengalir ke sungai utama dari sisi kanan dan kiri. Aliran ini tidak bertemu di satu tempat, tetapi mengalir secara terpisah ke sungai utama, sehingga cenderung tidak mengakibatkan debit yang besar.

2. DAS Bentuk Radial

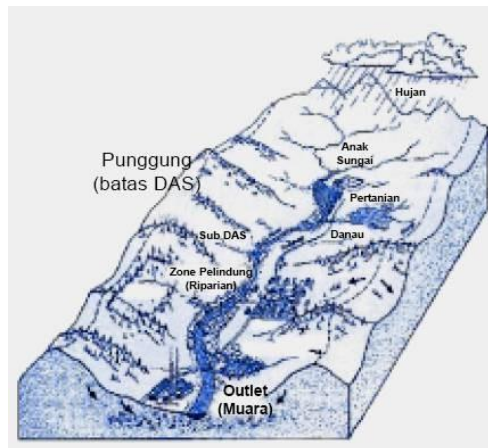
Dalam bentuk DAS radial, aliran anak sungai tersebar ke segala arah dan bertemu di titik tertentu. Saat hujan deras, aliran dari berbagai arah dapat berkumpul di satu tempat, menyebabkan banjir dengan cepat.

3. DAS Bentuk Paralel

Bentuk DAS paralel mempunyai karakteristik yakni dua jalur sungai utama yang kemudian bertemu, sehingga berpotensi menghasilkan debit yang tinggi di hilir.

2.1.2 Luas DAS

Luas DAS adalah ukuran wilayah yang dibatasi oleh topografi (punggung daratan). Luas DAS berbeda-beda di setiap lokasi. DAS dengan luas yang kecil menghasilkan debit puncak DAS yang besar sebab waktu yang ditempuh air untuk menuju *outlet* semakin singkat. Sebaliknya, DAS yang luas memungkinkan terjadinya kehilangan dan penurunan air karena waktu menuju *outlet* lebih lama. Berikut merupakan ilustrasi luas DAS ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Luas DAS

2.1.3 Topografi DAS

Topografi DAS merupakan kondisi bentuk permukaan bumi seperti bukit, pegunungan, dan cekungan-cekungan yang membatasi sungai. Topografi dinyatakan dalam bentuk kemiringan lereng. Pada DAS dengan kemiringan yang curam menghasilkan debit yang tinggi sebab waktu air untuk mencapai *outlet* semakin cepat.

2.1.4 Geologi dan Jenis Tanah

Geologi DAS berkaitan dengan struktur, komposisi, dan proses geologi yang terjadi di sekitar DAS. Pengaruh geologi pada DAS berkaitan dengan besarnya laju infiltrasi atau tingkat penyerapan air ke dalam tanah. DAS yang memiliki sifat tanah rapat, nilai infiltrasinya rendah, sehingga aliran permukaan (*runoff*) meningkat saat hujan. Sebaliknya, DAS yang memiliki sifat tanah dan batuan yang permeabel (memungkinkan penyerapan air), nilai infiltrasinya tinggi.

2.1.5 Kerapatan Jaringan

Kerapatan jaringan sungai merupakan sebuah nilai yang menunjukkan hubungan antara banyaknya sungai dengan luas DAS, salah satu pengaruhnya adalah terhadap debit yang dihasilkan. DAS dengan banyak anak sungai menunjukkan kerapatan jaringan yang tinggi. Akibatnya, debit lebih besar dibandingkan dengan DAS dengan kerapatan jaringan yang lebih kecil dan waktu yang diperlukan untuk mencapai periode debit maksimum lebih cepat. Adapun persamaan untuk menghitung kerapatan jaringan sungai salah satunya yakni dengan persamaan sebagai berikut.

Rumus Neuman (Pranoto, 2016):

$$N = \sum L / F \quad (2.1)$$

Keterangan:

N : Kerapatan sungai

$\sum L$: Total panjang sungai induk dan anak - anak sungai

F : Luas daerah aliran sungai

2.2 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi selalu berkaitan erat dengan pengelolaan air. Sederhananya analisis hidrologi yakni proses pengolahan data yang berkaitan dengan hidrologi. Dalam penelitian ini data yang diperhitungkan yakni uji konsistensi data dari data yang digunakan yakni data hujan dan debit, serta mengolah data hujan untuk

mendapatkan curah hujan wilayah sebagai *input* dalam proses simulasi hujan menjadi debit menggunakan HEC-HMS.

2.2.1 Uji Konsistensi Data

Uji konsistensi data adalah proses pengujian untuk mengetahui apakah data yang digunakan dalam suatu penelitian atau analisis bersifat stabil, benar, dan tidak mengalami perubahan signifikan yang dapat mempengaruhi hasil analisis. Uji konsistensi terdapat berbagai cara di antaranya menggunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Metode RAPS diperuntukkan sebagai pengujian ketidakpanggaan data pada stasiun tersebut dengan mengetahui perubahan nilai rata-rata (*mean*).

Metode RAPS dikembangkan untuk mendeteksi perubahan atau deviasi pada data deret waktu (*time series*). RAPS sangat berguna untuk menguji konsistensi data dari satu stasiun pengamatan (*stand alone station*), berbeda dengan metode kurva massa ganda yang memerlukan data pembandingan dari beberapa stasiun.

Dalam metode RAPS, konsistensi data hujan ditunjukkan dengan nilai kumulatif kesalahan data terhadap nilai rata-rata dengan persamaan berikut:

$$Sk^* = \sum_{i=1}^k (Xi - \bar{X}) + Sk^* \text{Sebelumnya} \quad (2.2)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{n} \quad (2.3)$$

Dengan $k = 1, 2, \dots, n$; pada saat $k = 0$, maka $Sk^* = 0$ Jika persamaan (2.2) dibagi dengan deviasi standar (Dy) maka diperoleh (RAPS) atau dirumuskan sebagai berikut:

$$Sk^{**} = \frac{Sk^*}{Dy} \quad (2.4)$$

$$Dy^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (Xi - \bar{X})^2}{n} \quad (2.5)$$

Keterangan:

Sk^* = nilai kumulatif defleksi terhadap nilai rata-rata

Sk^{**} = RAPS

X_i = nilai data X ke-I

$\bar{X}$ = Nilai X rata-rata

n = jumlah data X

Dy = standar deviasi X

Setelah nilai Sk^{**} diperoleh untuk setiap k, selanjutnya mencari nilai Q dan R terhitung menggunakan rumus:

$$Q = |Sk^{**}| \text{ maks atau } R = Sk^{**} \text{ maks} - Sk^{**} \text{ min} \quad (2.6)$$

Perbandingan untuk jumlah data (n) dan derajat kepercayaan (α) adalah sebagai berikut:

Q terhitung dengan Q kritis

R terhitung dengan R kritis

Nilai Q kritis dan R kritis disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Q Kritis dan R Kritis

n	$Q = \sqrt{n}$			$R = \sqrt{n}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1,05	1,14	1,29	1,21	1,28	1,38
20	1,1	1,22	1,42	1,34	1,43	1,6
30	1,12	1,24	1,46	1,4	1,5	1,7
40	1,13	1,26	1,5	1,42	1,53	1,74
50	1,14	1,27	1,52	1,44	1,55	1,78
100	1,17	1,29	1,55	1,5	1,62	1,86
>100	1,22	1,36	1,53	1,62	1,75	2

(Sumber : Harto, 1993)

2.2.2 Curah Hujan Wilayah

Curah hujan merupakan tinggi air hujan yang jatuh di suatu wilayah dengan asumsi air tidak mengalami kehilangan maupun *runoff*. Satuan yang umumnya digunakan dalam pencatatan curah hujan yakni mm. Hujan kawasan dalam satuan mm merupakan curah hujan maksimum harian merupakan curah hujan di seluruh

daerah tersebut (Sari & Irawan, 2021). Metode yang digunakan untuk perhitungan curah hujan wilayah dalam penelitian adalah metode *Polygon Thiessen*.

Metode *Polygon Thiessen* menghitung bobot dari stasiun hujan yang mewakili luasan di areanya. Beberapa stasiun hujan terbentuk menjadi poligon berdasarkan titik di mana stasiun tersebut berada, kemudian luas suatu area terbagi relatif merata oleh poligon tersebut. Lebih jelasnya *Polygon Thiessen* diilustrasikan pada Gambar 2.3.

Perhitungan hujan rerata *Polygon Thiessen* ditulis dengan rumus sebagai berikut:

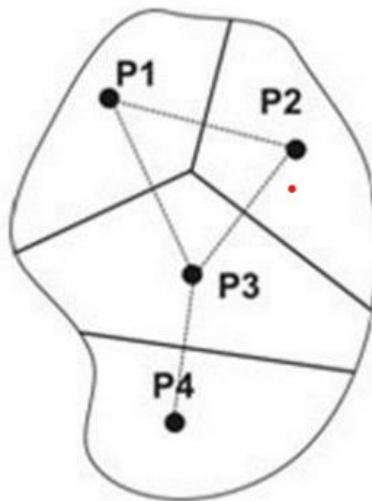
$$\bar{p} = \frac{A_1p_1 + A_2p_2 + \dots + A_n p_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.7)$$

Keterangan:

$\bar{p}$: Hujan rerata kawasan

p_i : Hujan di setiap stasiun

A_i : Luas daerah yang mewakili stasiun



Gambar 2.3 Metode *Polygon Thiessen*

2.3 HEC-HMS

HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*) adalah perangkat hidrologi yang dikembangkan oleh *U.S. Army Corps of Engineers* untuk memodelkan proses hujan-limpasan di daerah aliran sungai (DAS) atau

kawasan tangkapan hujan. Perangkat lunak ini digunakan untuk mengubah data curah hujan yang jatuh di suatu DAS menjadi debit aliran (*runoff*) yang keluar dari DAS tersebut. Kelebihan aplikasi ini adalah dengan data curah hujan harian dan debit air sudah dapat digunakan sebagai *input* dalam membangun model hidrologi (Mulyadi, et al., 2020). Dalam *software* HEC-HMS terdapat fasilitas kalibrasi maupun simulasi model distribusi dan kemampuan membaca data GIS (*Geographic Information System*) (Affandy & Anwar, 2019). Proses yang dilakukan menggunakan HEC-HMS pada penelitian ini yakni delineasi DAS, simulasi model debit, serta optimasi model.

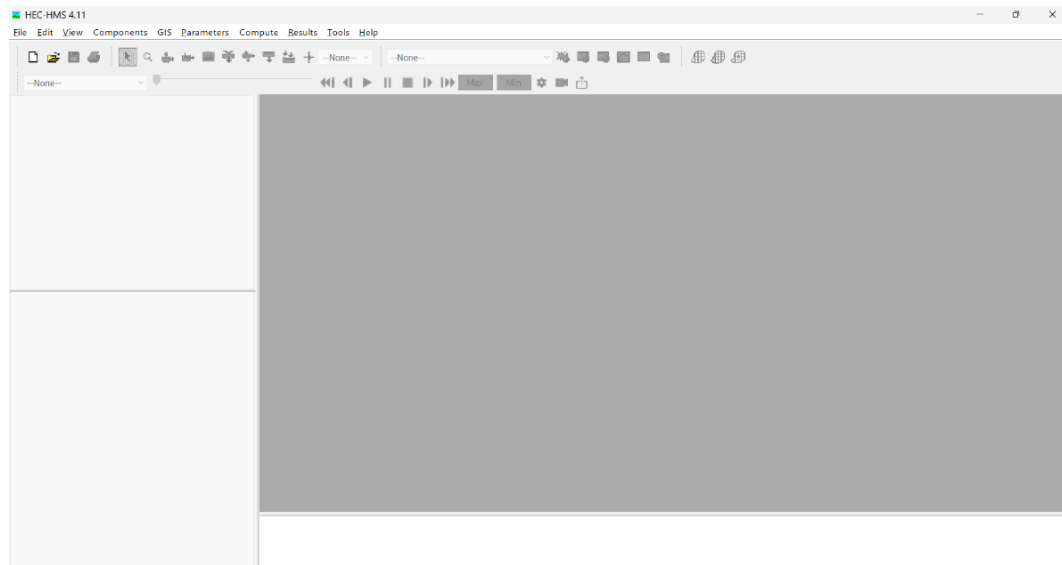
2.3.1 Delineasi DAS

Delineasi DAS merupakan proses identifikasi area yang berpengaruh terhadap aliran permukaan air dari curah hujan, di mana air yang jatuh pada setiap lokasi di dalam batas DAS akan mengalir ke satu titik *outlet*. HEC-HMS mampu melakukan delineasi DAS dengan membaca data GIS sebagai masukannya. Di samping itu, elemen-elemen hidrologi dari model DAS dapat secara otomatis terbentuk bersamaan dengan proses delineasi DAS sehingga model hidrologi yang detail dengan tingkat ketelitian yang tinggi dapat lebih mudah dicapai. (Amin, et al., 2020). Berikut merupakan langkah - langkah untuk melakukan delineasi DAS menggunakan perangkat HEC-HMS ditunjukkan pada Tabel 2.2 (Amin, et al., 2020).

Tabel 2.2 Delineasi DAS HEC-HMS

No	Fungsi	Deskripsi Fungsi
1	<i>coordinate system</i>	Penetapan sistem koordinat
2	<i>preprocess Sinks</i>	Analisis daerah pengisian dan cekungan
3	<i>preprocess drainage</i>	Analisis arah aliran
4	<i>identify streams</i>	Analisis akumulasi aliran dan jaringan sungai
5	<i>break point creation</i>	Penentuan titik-titik <i>outlet</i> dari aliran sungai
6	<i>delineate elements</i>	Delineasi DAS Pada HEC-HMS sekaligus delineasi elemen model hidrologi

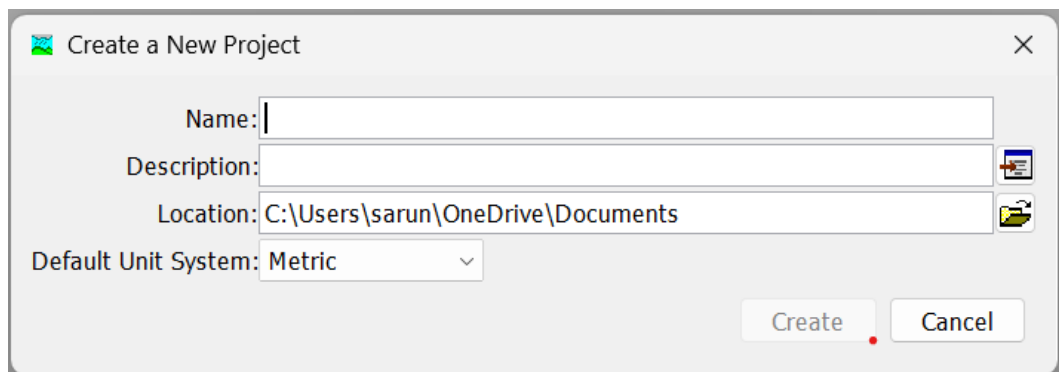
Adapun tahap-tahap delineasi DAS menggunakan perangkat HEC-HMS adalah sebagai berikut.



Gambar 2.4 Layar Utama HEC-HMS

1. Membuat *file* HEC-HMS

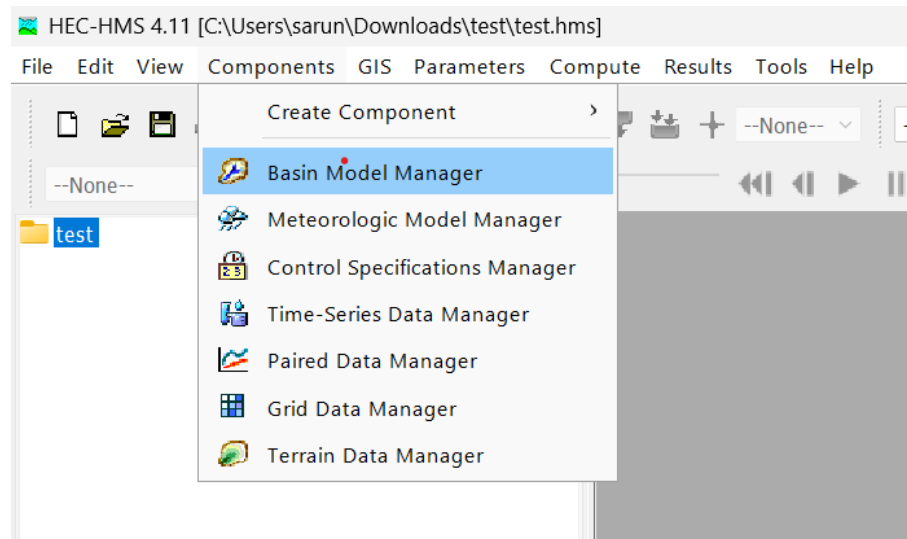
Pertama buka perangkat HEC-HMS (Gambar 2.4), kemudian klik menu *file* pada layar utama, kemudian klik *new project*, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 2.5, kemudian isikan nama dan klik *Create*.



Gambar 2.5 File Project HEC-HMS

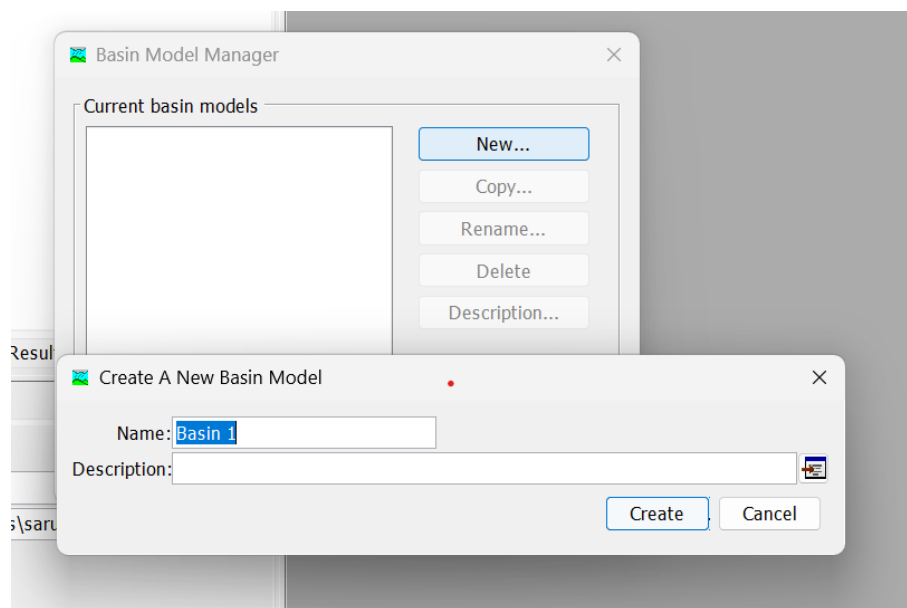
2. Membuat *basin models*

Setelah membuat *project*, langkah selanjutnya membuat *basin models*. Untuk membuat *basin models* yaitu klik *components* pada bagian menu bar (di bagian atas), kemudian klik *basin model manager* seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Basin Model Manager*

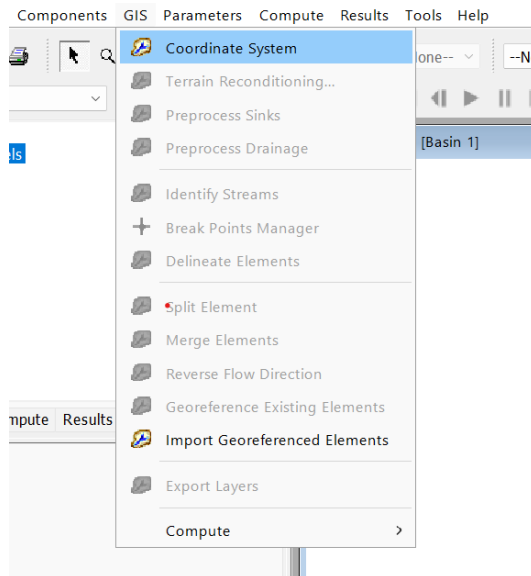
Selanjutnya, klik *new* dan isikan nama basin, kemudian klik *create*. Berikut merupakan gambar pembantu (Gambar 2.7).



Gambar 2.7 *Create Basin Model*

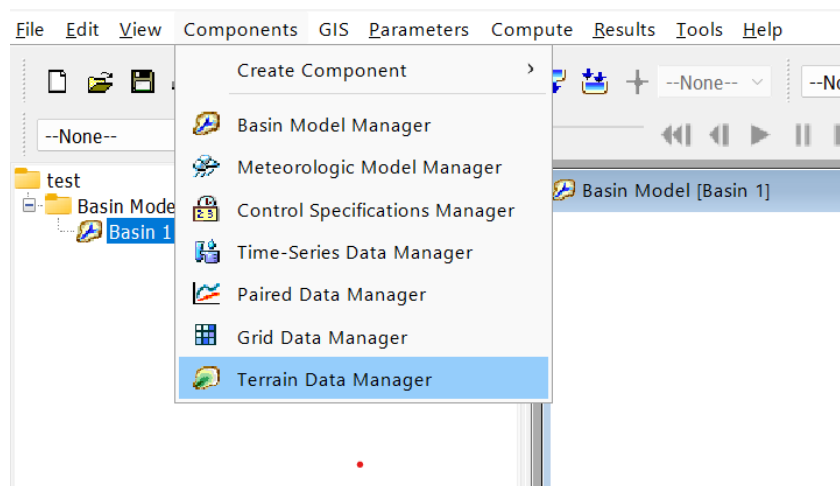
3. *Input DEM (Digital Elevation Model)*

Langkah selanjutnya yakni *Input DEM* yang telah diperoleh. Salah satu cara untuk mendapatkan data DEM yakni melalui Web DEMNAS. Untuk *Input DEM*, klik GIS pada menu bar, lalu klik *coordinate system*, kemudian klik *browse*, lalu cari *file* DEM yang akan diinputkan. Berikut merupakan gambar pembantu (Gambar 2.8).

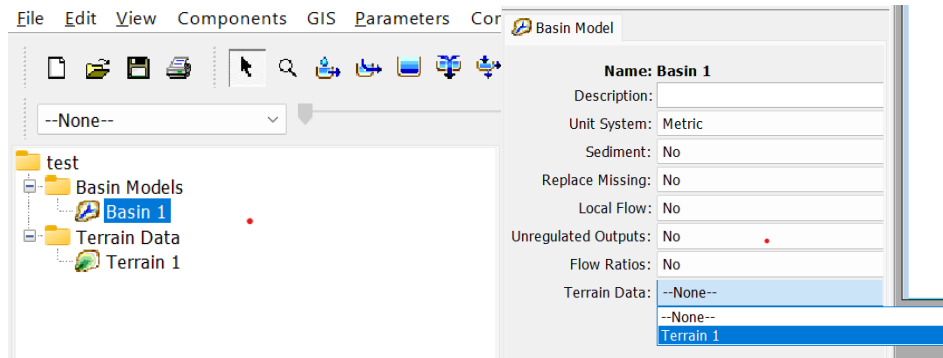
Gambar 2.8 *Coordinate System*

4. *Terraain Data Manager*

Setelah *Input DEM*, kemudian buat *Terrain Data Manager*. Untuk membuatnya, klik *components* pada menu bar, kemudian klik *terrain data manager*, lalu klik *new* dan *create*, isikan nama lalu klik *next*. Kemudian *browse* data DEM yang digunakan. Berikut merupakan gambar pembantu (Gambar 2.9).

Gambar 2.9 *Terrain Data Manager*

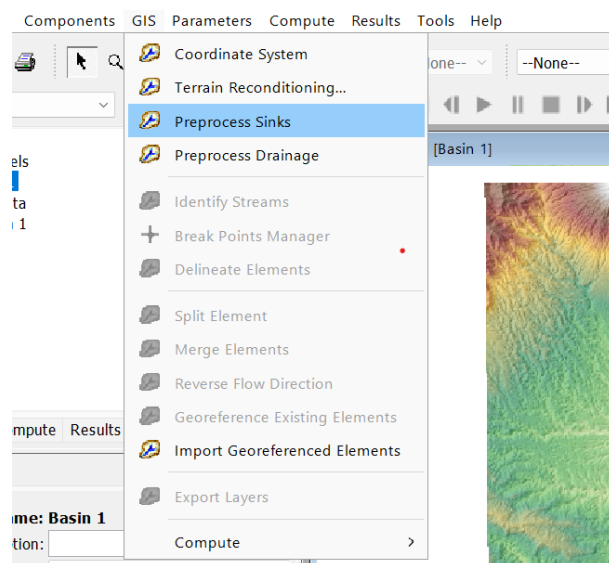
Setelah membuat *terrain data manager*, kemudian kaitkan *terrain* yang telah dibuat ke *basin model* yang telah dibuat. Caranya yaitu klik *basin model* yang telah dibuat kemudian pada menu *basin*, klik *terrain data*, kemudian pilih *terrain* yang telah dibuat. Berikut merupakan gambar pembantu (Gambar 2.10).

Gambar 2.10 *Basin Model to Terrain*

Setelahnya, kemudian DEM terbaca dan akan muncul tampilan DEM.

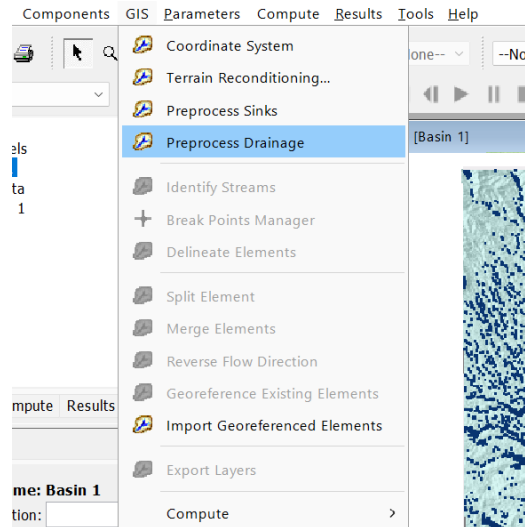
5. *Preprocess Sink*

Setelah DEM ter-input, langkah selanjutnya yakni *preprocess sink* yang merupakan proses untuk menganalisis daerah pengisian dan cekungan. Caranya yakni klik GIS pada menu bar, lalu klik *preprocess sink*. Berikut merupakan gambar pembantu (Gambar 2.11).

Gambar 2.11 *Preprocess Sink*

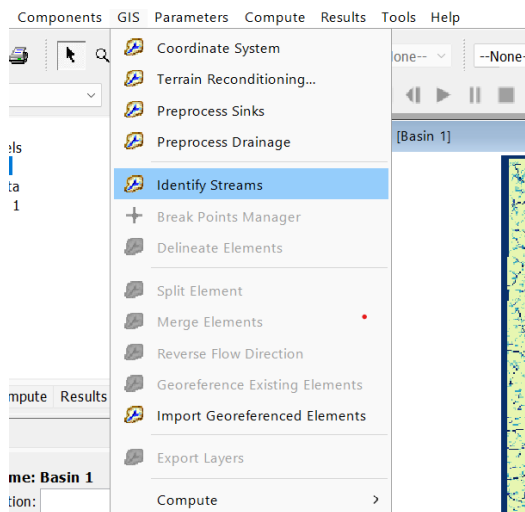
6. *Preprocess Drainage*

Setelahnya, langkah selanjutnya yakni *preprocess drainage*, merupakan perintah untuk menganalisis arah aliran. Caranya yakni klik GIS pada menu bar, lalu klik *preprocess drainage*. Berikut merupakan gambar pembantu (Gambar 2.12).

Gambar 2.12 *Preprocess Drainage*

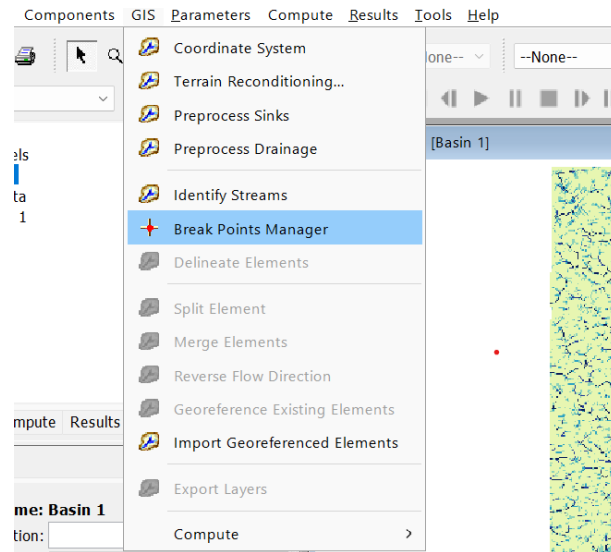
7. *Identify Stream*

Setelahnya, langkah berikutnya yakni *identify stream*, merupakan perintah untuk menganalisis akumulasi aliran dan jaringan sungai. Caranya yakni klik GIS pada menu bar lalu klik *identify stream*. Berikut merupakan gambar pembantu (Gambar 2.13).

Gambar 2.13 *Identify Stream*

8. *Break Points Manager*

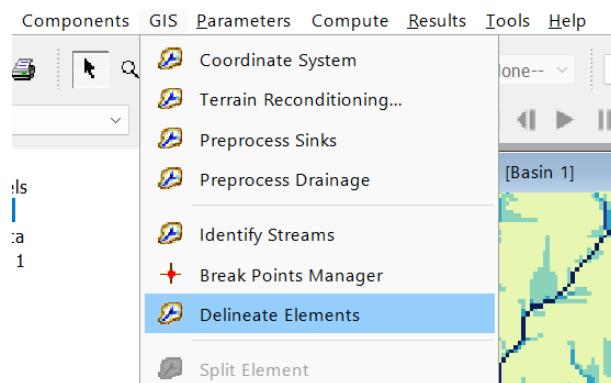
Setelahnya, langkah berikutnya yakni *break points*, merupakan perintah untuk menandai titik *outlet* dari *project* yang dibuat. Caranya yakni klik GIS, kemudian klik *break points manager*, lalu tandai lokasi yang menjadi titik *outlet* dari *project* yang dibuat. Berikut merupakan gambar pembantu (Gambar 2.14).



Gambar 2.14 Break Points Manager

9. Delineate Elements

Setelahnya, langkah berikutnya yakni *delineate elements*, merupakan perintah untuk membuat delineasi elemen elemen hidrologi yang dibutuhkan dalam *project*. Caranya yakni klik GIS, kemudian *delineate elements*. Berikut merupakan gambar pembantu (Gambar 2.15).



Gambar 2.15 Delineate Elements

Setelahnya, maka perintah diproses dan akan menghasilkan delineasi DAS lengkap dengan delineasi elemen hidrologi.

2.3.2 Simulasi Model Debit

Satuan untuk mendekati nilai-nilai proses hidrologi yang terjadi di lapangan dapat disebut dengan pemodelan hujan (Pariartha, et al., 2021). Simulasi model debit merupakan metode untuk mengubah *input* curah hujan menjadi *output* debit aliran dengan mempertimbangkan berbagai faktor yakni penggunaan lahan, jenis

tanah, dan lainnya. Adapun komponen dalam model HEC-HMS untuk simulasi model debit adalah sebagai berikut.

2.3.2.1 *Basin Model*

Secara arti *basin* merupakan cekungan. Dalam HEC HMS *basin model* menggambarkan sistem DAS atau cekungan yang di dalamnya berisi elemen-elemen hidrologi yang mempengaruhi besarnya debit simulasi. Elemen tersebut merepresentasikan gambaran fisik dari DAS.

Proses penyusunan *basin model* dilakukan melalui tahap delineasi pada *tools delineated elements*. Adapun elemen yang dihasilkan dari *basin model* ini di antaranya *Sub basin*, *Reach*, *Junction*, dan *Sink*. Berikut merupakan deskripsi elemen hidrologi dari *basin model* ditunjukkan pada Tabel 2.3 (Islami, 2021).

Tabel 2.3 Elemen Hidrologi HEC-HMS

No	Elemen Hidrologi	Deskripsi
1	<i>Sub Basin</i>	Elemen yang mewakili kondisi fisik DAS. Elemen ini hanya memiliki satu <i>outflow</i> dari meteorologi dengan memperhitungkan <i>loss</i> , curah hujan efektif.
2	<i>Junction</i>	Elemen ini digunakan untuk merepresentasikan sebuah pertemuan sungai atau aliran.
3	<i>Reach</i>	Tempat proses <i>Routing</i> terjadi. <i>Outflow</i> dihitung menggunakan salah satu metode yang tersedia dalam model saluran terbuka (<i>open channel flow model</i>)
4	<i>Sink</i>	<i>Sink</i> digunakan untuk merepresentasikan titik terendah dari suatu area drainase atau outlet dari suatu basin model. <i>Sink</i> dapat memiliki lebih dari satu <i>inflow</i> , tetapi tidak ada <i>outflow</i> .
5	<i>Reservoir</i>	Elemen ini dapat digunakan pada model <i>Reservoir</i> , danau dan kolam. <i>Reservoir</i> memiliki satu atau lebih <i>inflow</i> dan satu <i>outflow</i> terhitung.

Di dalam *basin model* ini memperhitungkan 4 metode untuk melakukan simulasi model debit yang relevan digunakan di daerah tropis dengan 2 musim, yakni *Loss* (kehilangan), *Transform* (transformasi), *Baseflow* (aliran dasar), dan *Routing*, di mana masing-masingnya merupakan parameter dari elemen - elemen hidrologi pada HEC-HMS. Berikut penjelasan dari masing - masing metode.

1. *Loss*

Loss (kehilangan) merupakan parameter dari elemen *sub basin*, memiliki fungsi untuk menghitung hujan yang hilang karena infiltrasi, intersepsi, evaporasi, dan limpasan, serta mencari curah hujan yang efektif. Hujan efektif atau hujan lebih adalah hujan yang menyebabkan *runoff*. Terdapat beberapa metode dalam HEC-HMS untuk menghitung *Loss*. Pada perhitungan *Loss* ini dipilih Metode *Soil Conservation Service Curve Number* (SCS CN), di mana SCS CN merupakan metode yang dikembangkan oleh *US Soil Conservation Service*. Konsep dari metode ini yakni menghitung rata-rata kehilangan air hujan yang terjadi selama hujan berlangsung melalui proses infiltrasi dengan memperhatikan jenis tanah serta tutupan lahan. Terdapat 3 parameter yang diinputkan ke dalam HEC-HMS untuk metode ini, yakni *Curve Number* (CN), *%Impervious*, dan *Initial Abstraction* (Ia).

a. *Curve Number* (CN)

Curve Number (CN) merupakan parameter yang digunakan dalam hidrologi untuk memperkirakan *runoff* dari curah hujan. Menurut Abushandi dan Merkel (2013), Penentuan bilangan kurva CN pada model HEC-HMS yaitu dengan analisis *overlay* antara peta penggunaan lahan dan peta kelompok hidrologi tanah. Dalam penelitian ini tahap tersebut dibantu oleh perangkat ArcGIS. Hasil *overlay* tersebut disesuaikan dengan tabel penentuan nilai CN. Menurut Arsyad (2009), CN adalah Bilangan Kurva yang nilainya berkisar 0 – 100 (Islami, 2021). Semakin tinggi nilai CN mengartikan bahwa air tidak terinfiltrasi dengan baik.

Metode SCS mengembangkan sistem klasifikasi tanah menjadi empat kelompok hidrologi tanah / *Hydrologic Soil Group* (HSG). Nilai HSG mengklasifikasikan tanah berdasarkan laju infiltrasi air (Khallilah, et al.,

2024). HSG dapat diidentifikasi dengan analisis berdasarkan sifat fisik tanah, seperti tekstur dan nilai permeabilitas lapisan permukaan rata - rata.

Berikut merupakan HSG berdasarkan sifat - sifat tanah ditunjukkan pada Tabel 2.4 (Richard H McCuen (1982) dalam (Islami, 2021)).

Tabel 2.4 *Hydrologic Soil Group*

No	<i>Hydrologic Soil Group</i>	Sifat Sifat Tanah
1	A	Pasir dalam, <i>loss</i> dalam, debu yang beragregat
2	B	<i>Loss</i> dangkal, lempung berpasir
3	C	Lempung berliat, lempung berpasir dangkal, tanah berkadar bahan organik rendah dan tanah berkadar liat tinggi.
4	D	Tanah - tanah yang mengembang secara nyata jika basah, liat berat, plastis dan tanah - tanah tertentu

Sementara klasifikasi nilai CN berdasarkan kelompok hidrologi tanah dan penggunaan lahan tertera pada Tabel 2.5 (Adidarma dan Tim, 2017) dalam (Ramadan, et al., 2018).

Tabel 2.5 Nilai CN Berdasarkan Tutupan Lahan dan HSG

No	Tutupan Lahan	<i>Hydrologic Soil Group</i>			
		A	B	C	D
1	Air Tawar	98	98	98	98
2	Hutan	57	73	82	86
3	Kebun	57	73	82	86
4	Padang Rumput\Tanah Kosong	72	82	87	89
5	Pemukiman	61	75	83	87
6	Rawa	98	98	98	98
7	Sawah Irigasi	62	71	78	81

No	Tutupan Lahan	<i>Hydrologic Soil Group</i>			
		A	B	C	D
8	Sawah Tadah Hujan	72	81	88	91
9	Semak Belukar	48	67	77	83
10	Tanah Ladang	66	77	85	89

b. *%Impervious*

%Impervious yakni parameter yang menunjukkan besar area kedap air dari DAS. Area kedap air adalah area di mana air hujan tidak dapat diserap oleh tanah dan hanya mengalir sebagai limpasan. Luas daerah *impervious* menjadi faktor yang memengaruhi banyaknya limpasan DAS. *%Impervious* area berdasarkan tipe penggunaan lahan untuk model hidrologi terlihat pada Tabel 2.6 (USACE, 2013 dalam (Islami, 2021)).

Tabel 2.6 Faktor *Impervious* Area Berdasarkan Tipe Penggunaan Lahan

No	Penggunaan Lahan	Persen <i>Impervious</i>
1	Pohon	0
2	Rumput	5
3	Pemukiman sedikit penduduk	20
4	Pemukiman banyak penduduk	30
5	Komersial	85
6	Air	100

c. *Initial Abstraction (Ia)*

Parameter *Ia* menunjukkan kehilangan air awal dari curah hujan sebelum menjadi *runoff*. Ini mencakup proses seperti infiltrasi, intersepsi oleh vegetasi, dan evaporasi. Nilai *Ia* adalah fungsi dari penggunaan lahan dan kondisi hidrologi, serta kandungan air tanah sebelumnya (*S/retensi*) (Islami, 2021). Menurut Chow (1988), korelasi nilai *Ia* dengan *S* adalah sebagai berikut (Hidayat, et al., 2021):

$$I_a = 0,2 S \quad (2.8)$$

Keterangan:

I_a : *Initial abstraction*

S : Retensi

Adapun untuk mencari S adalah dengan perhitungan menggunakan persamaan berikut (Islami, 2021).

$$S = \frac{25400 - 254 CN}{CN} \quad (2.9)$$

Keterangan:

S : Retensi

CN : *Curva number*

2. Transform

Model transformasi hujan menjadi aliran yang merupakan konsep dari hidrograf satuan sintetis, juga disebut HSS, didasarkan pada teori hidrograf satuan (grafik hubungan antara limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan yang merata selama periode tertentu di seluruh DAS). Model ini terbentuk menggunakan karakteristik DAS sebagai parameter untuk menghasilkan hidrograf.

Metode *Transform* merupakan parameter dari elemen *sub basin*, menggambarkan metode hidrograf satuan yang digunakan dalam melakukan simulasi debit. Pada penelitian ini digunakan metode *SCS Unit Hydrograf*. Secara konsep metode SCS-CN merupakan metode empiris yang mengaitkan karakteristik DAS seperti jenis tanah, tutupan vegetasi, dan penggunaan lahan dengan bilangan kurva yang menunjukkan potensi limpasan air untuk curah hujan tertentu. Pemilihan metode ini relevan dengan titik permasalahan yang dibawa yakni terkait perubahan penggunaan lahan. Adapun parameter yang digunakan untuk *Input* pada perangkat HEC-HMS yakni *Lag Time*; interval waktu dari kejadian hujan sampai debit puncak.

Lag Time dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut (Natakusumah, et al., 2011).

$$T_c = \frac{(L^{0,8} \times (S+1)^{0,7})}{(1140 \times Y^{0,5})} \quad (2.10)$$

$$\text{Lag} = 0,6 T_c \quad (2.11)$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (2.12)$$

Keterangan:

T_c : Waktu konsentrasi (menit)

L : Panjang sungai pada *sub basin* (ft)

S : Potensi retensi maksimum

Y : Kemiringan rata – rata *sub basin* (%)

Lag : *Lag time* (jam)

3. *Baseflow*

Baseflow atau aliran dasar yakni aliran air di sungai pada saat tidak terjadi *runoff*. Aliran dasar terjadi akibat limpasan yang berasal dari kejadian hujan sebelumnya yang tersimpan di DAS. Salah satu metode dalam *Baseflow* yaitu metode *Recession*. Metode ini berfokus pada penurunan aliran dasar setelah hujan berhenti, menggambarkan penurunan aliran di sungai. Parameter yang dibutuhkan yaitu debit awal (*initial discharge*), konstanta resesi (*recession constant*) dan *ratio to peak*. Debit awal (*initial discharge*) merupakan debit yang ada berdasarkan hubungan antara kerapatan jaringan dan luas DAS. Konstanta resesi (*recession constant*) adalah rasio antara aliran yang terjadi secara konstan, memiliki rentang nilai antara 0 sampai 1, di mana nilai yang lebih rendah menunjukkan penurunan yang lebih cepat. *Ratio to peak* adalah rasio antara aliran limpasan dan aliran dasar (Islami, 2021).

Adapun persamaan eksponensial yang bersumber dari USACE (2002) untuk menghitung *baseflow* adalah sebagai berikut.

$$Q_t = Q_0 k^t \quad (2.13)$$

Keterangan:

Q_t : Debit pada periode waktu

Q_0 : Debit awal

k : Konstanta resesi

t : Periode waktu

Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung *initial discharge* (Alahudin, et al., 2024).

$$Q_b = 0,4714A^{0,64}D^{0,943} \quad (2.14)$$

Q_b : Debit awal (m^3/det)

A : Luas DAS (km^2)

D : Kerapatan Jaringan Sungai

4. Metode *Routing*

Routing yakni proses yang digunakan untuk menghitung dan memprediksi perubahan aliran air di sepanjang saluran sungai setelah curah hujan terjadi. Proses ini digunakan untuk memahami bagaimana aliran air bergerak dan berubah seiring waktu, dan untuk menganalisis bagaimana curah hujan memengaruhi debit sungai. Salah satu metode *Routing* yang dapat digunakan adalah metode *Lag*. *Lag* adalah cara sederhana yang digunakan untuk menghitung aliran keluar saluran berdasarkan *inflow* yang diterima dengan mempertimbangkan waktu tunda. *Lag* dihitung dengan persamaan Kirpich (1940) sebagai berikut (Islami, 2021):

$$T_c = 0,01947 \left(\frac{L^{0,77}}{S^{0,835}} \right) \quad (2.15)$$

$$T_p = 0,6T_c \quad (2.16)$$

Keterangan:

- T_c : Waktu konsentrasi (menit)
- L : Panjang lintasan maksimum (km)
- S : Kemiringan sungai (m/m)
- T_p : Waktu puncak (jam)

2.3.2.2 Meteorologic Model Manager

Meteorologic model manager merupakan komponen pada HEC-HMS yang berisi data hujan dan data meteorologi lainnya yang dibutuhkan oleh setiap *Sub basin*. Komponen ini salah satunya membantu dalam mengonversi data curah hujan menjadi limpasan yang dapat dianalisis lebih lanjut.

2.3.2.3 Control Specifications Manager

Control Specifications Manager merupakan komponen untuk mengatur periode waktu menjalankan simulasi. Di dalamnya terdapat *time period* yang menunjukkan informasi model saat memulai dan mengakhiri waktu simulasi serta *time step* yang menunjukkan informasi *time interval* yang digunakan.

2.3.2.4 Time Series Data Manager

Time series data manager merupakan komponen yang berisi kumpulan data yang mencakup pengukuran variabel hidrologi yang dicatat dalam interval waktu tertentu. Dalam komponen inilah *input* hujan dimasukkan sesuai dengan interval waktu yang digunakan berdasarkan data yang tersedia.

2.3.2.5 Paired data Manager

Paired data manager merupakan komponen yang sering digunakan untuk menyimpan data tentang hidrograf satuan, atau unit hidrograf yang menunjukkan bagaimana DAS menanggapi curah hujan yang diterima dalam bentuk debit.

2.3.3 Validasi

Validasi adalah proses pemeriksaan atau evaluasi untuk memastikan bahwa suatu data, model, atau hasil pengukuran telah sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan, sehingga data atau hasil tersebut dapat dianggap akurat, valid, dan

mewakili kondisi sebenarnya. Validasi penting dilakukan karena berfungsi untuk menentukan seberapa besar ketidakpastian model dalam memprediksi proses hidrologi dan memastikan bahwa data atau model yang digunakan benar-benar akurat dan mewakili kondisi nyata di lapangan.

Validasi model pada penelitian ini berdasarkan koefisien *Nash-Sutcliffe* (NSE) yang di mana NSE ini digunakan untuk mengukur seberapa baik hasil model dibandingkan dengan data terukur. Adapun persamaannya yakni sebagai berikut (Irawan, et al., 2024).

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{mod})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2} \right] \quad (2.17)$$

Keterangan:

Q_{mod} : Debit hasil pemodelan

Q_{obs} : Debit terukur

$\overline{Q_{obs}}$: Rata - rata debit terukur

NSE = 1 Indikasi bahwa model sangat baik dalam memprediksi debit terukur, artinya hasil simulasi sangat dekat dengan data terukur.

Adapun kriteria interpretasi NSE adalah sebagai berikut (Nuramalia & Lasminto, 2022):

Tabel 2.7 Kriteria Nilai NSE

No	NSE Value	Interpretation
1	$NSE > 0,75$	<i>Good</i>
2	$0,36 < NSE < 0,75$	<i>Qualified</i>
3	$NSE < 0,36$	<i>Not Qualified</i>

Selain menggunakan NSE, digunakan juga Nilai *Root Mean Square Errors* (RMSE), bertujuan untuk mempresentasikan rata-rata kuadrat simpangan (selisih) antara nilai keluaran model terhadap nilai pengukuran atau target. Nilai RMSE mensyaratkan mendekati 0. Berikut merupakan perhitungan RMSE (Affandy & Anwar, 2019).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{mod})^2}{n}} \quad (2.18)$$

Keterangan:

Q_{mod} : Debit hasil pemodelan

Q_{obs} : Debit terukur

n : Jumlah data

Terakhir yakni berdasarkan nilai %Bias yang diperoleh dari model terhadap data terukur. Bias sendiri merujuk pada sejauh mana hasil yang diperoleh dari suatu pengukuran atau estimasi menyimpang dari nilai sebenarnya atau nilai yang diharapkan. Berikut merupakan perhitungan %Bias.

$$\text{Percent Bias} = \frac{Q_{mod} - Q_{obs}}{Q_{obs}} \times 100\% \quad (2.19)$$

Keterangan:

Q_{mod} : Debit hasil pemodelan

Q_{obs} : Debit terukur

Pada %Bias, semakin mendekati 0% menunjukkan bahwa estimasi tidak memiliki bias, yaitu hasil pengukuran sama dengan nilai sebenarnya.

2.3.4 Optimasi

Untuk dapat menirukan perilaku aliran di dalam sistem DAS, model HEC-HMS memerlukan penyesuaian parameter model yang disebut dengan kalibrasi (Fadhilla & Lasminto, 2021). Dalam penelitian ini kalibrasi dilakukan melalui proses optimasi nilai parameter. Optimasi model memiliki fungsi agar mendapatkan hidrograf model sama atau menyerupai hidrograf terukur. Tingkat keberhasilan model hidrologi untuk DAS tergantung pada seberapa baik optimasi model serta keakuratan data yang *diinput* pada model tersebut. Optimasi pada HEC-HMS dapat dilakukan dengan menggunakan fitur *optimization trial manager*. Adapun parameter yang dilakukan optimasi antara lain nilai CN dan Ia. Adapun tahap-tahap

optimization trial manager menggunakan perangkat HEC-HMS adalah sebagai berikut.

1. Buat *optimization trial*

Pertama, posisi melanjutkan *file* HEC-HMS yang sedang digunakan untuk simulasi model debit, kemudian klik *compute* pada menu bar, lalu klik *optimization trial manager*, kemudian buat nama optimasi > hubungkan ke DAS *project* > pilih meteorologi (waktu simulasi) > selesai.

2. Menentukan metode optimasi dan pengaturannya

Terdapat 3 metode optimasi yakni *simplex*, *univariat*, dan *differential evolution* (DE). Dari ketiga metode tersebut digunakan metode DE; teknik pencarian solusi optimal untuk optimasi model hidrologi secara otomatis. DE bekerja dengan mengoptimalkan parameter-parameter model secara simultan untuk meminimalkan selisih antara hasil simulasi dan data terukur. DE dipilih karena kemampuannya melakukan pencarian solusi optimal yang *robust* dan efisien pada masalah optimasi parameter hidrologi yang kompleks dalam HEC-HMS, serta kemudahan pengaturan dan reproduksibilitas hasilnya. Untuk pengaturan pada metode DE di antaranya yang diatur adalah *max iterations*, *tolerance*, *min iterations*, *population size*, dan *seed value*. Digunakan angka *default* karena angka yang dipakai sudah standar dan sesuai dengan kebutuhan optimasi. Berikut merupakan gambar pembantu (Gambar 2.16).

Method:	Differential Evolution
*Max Iterations:	100
*Tolerance:	0.01
*Min Iterations:	1
*Population Size:	30
*Seed Value:	1749986062392

Gambar 2.16 Metode Optimasi dan Pengaturannya

3. Menentukan objektif optimasi

Dalam objektif optimasi terdapat 2 pilihan yaitu *minimization*; memperkecil nilai fungsi objektif, meminimalkan kesalahan (*error*) agar model mendekati data terukur dan *maximization*; memaksimalkan nilai fungsi objektif, berupa

ukuran kecocokan , di mana nilai yang lebih besar menunjukkan kecocokan yang lebih baik antara model dan data terukur. Dari kedua pilihan tersebut memiliki tujuan yang sama yakni agar model semakin mendekati data terukur. Dari 2 pilihan tersebut, masing - masing memiliki spesifik turunan yang bisa dipilih sesuai dengan kebutuhan, dalam hal ini dipilih metode *maximization* yakni *Normalized Nash Sutcliffe* (NSE) untuk memperoleh nilai NSE yang lebih baik. Berikut merupakan gambar pembantu (Gambar 2.17).

Goal:	Maximization
Location:	Sink-1
Time-Series:	Discharge
Statistic:	Normalized Nash Sutcliffe

Gambar 2.17 Objektif Optimasi

4. Menentukan parameter optimasi

Menentukan parameter optimasi yaitu dengan klik kanan nama dari optimasi kemudian klik *add* parameter, lalu pilih parameter yang akan dilakukan optimasi. Berikut merupakan gambar pembantu (Gambar 2.18)

Element:	Subbasin-1
Parameter:	SCS Curve Number - Curve Number
*Initial Value:	76.488
Locked:	No
*Minimum:	1.000
*Maximum:	99.0

Gambar 2.18 Parameter Optimasi

5. *Running* Optimasi

Tahap akhir yaitu *running* optimasi untuk menjalankan perintah, dengan cara klik *compute* yang ada pada menu bar, kemudian perintah akan dijalankan. Berikut merupakan gambar pembantu (Gambar 2.19).

Trial: coba 2019 maks

Gambar 2.19 *Running* Optimasi

Setelahnya, maka optimasi selesai dan hasil optimasi bisa diperoleh.