



TESIS - RC18-5401

**PEMODELAN NUMERIK *WATER BALANCE* DAS
CIMANUK SEBELUM DAN SETELAH PENGOPERASIAN
WADUK JATIGEDE**

**RAMADANI MASITOH WIDAYATI
NRP. 03111850050001**

Dosen Pembimbing :
Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020**

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RAMADANI MASITOH WDAYATI

NRP : 03111850050001

Tanggal Ujian : Juni 2020

Periode Wisuda : September 2020

Disetujui Oleh :

Pembimbing :

1. Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc

NIP : 19721202 199802 1 001

Penguji :

1. Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc

NIP : 19540113 198010 1 001

2. Mahendra Andiek Maulana, S.T., M.T., Ph.D

NIP : 19840409 200912 1 005

3. Dr. A.A. Ng. Satria Damar Negara, S.T., M.T

NPP : 198820191 1075



Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc

NIP : 19721202 199802 1 001

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

Tesis yang berjudul: “**Pemodelan Numerik *Water Balance* DAS Cimanuk Sebelum dan Setelah Pengoperasian Waduk Jatigede**” ini adalah karya penelitian saya sendiri dan tidak terdapat karya /tulisan untuk memperoleh gelar akademik maupun karya ilmiah/tulisan yang pernah dipublikasikan oleh orang lain, kecuali dijadikan kutipan dari bagian karya ilmiah/tulisan orang lain dengan menyebutkan sumbernya, baik dalam naskah disertasi maupun daftar pustaka.

Apabila ternyata ditemukan dan terbukti terdapat unsur-unsur plagiasi di dalam naskah **tesis** ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan akademik ITS dan/atau perundang-undangan yang berlaku.

Surabaya, 23 Juli 2020



Ramadani Masitoh Widayati

NRP: 03111850050001

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PEMODELAN NUMERIK *WATER BALANCE* DAS CIMANUK SEBELUM DAN SETELAH PENGOPERASIAN WADUK JATIGEDE

Nama Mahasiswa : Ramadani Masitoh Widayati
NRP : 03111850050001
Dosen Konsultasi : Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

DAS Cimanuk merupakan salah satu daerah yang memiliki lahan kritis cukup luas. Lahan kritis mengakibatkan DAS Cimanuk menjadi langganan banjir dan kekeringan. Banjir yang terjadi tidak hanya di hilir tetapi juga terjadi di daerah hulu DAS Cimanuk. Penanganan ketersediaan air DAS Cimanuk dilakukan dengan pengaturan air dari Sungai Cimanuk dengan dibangunnya waduk Jatigede. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menilai sumber daya air permukaan yang tersedia di DAS Cimanuk menggunakan simulasi *water balance* oleh sistem pemodelan hidrologi HEC-HMS berdasarkan kondisi sebelum dan setelah pengoperasian waduk Jatigede.

Proses hidrologi DAS merupakan hubungan antara masukan berupa hujan, proses, dan keluaran berupa aliran. Proses alihragam hujan menjadi aliran sangat kompleks, dalam menyederhanakannya diperlukan pendekatan model hujan-aliran. *Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) merupakan salah satu model untuk mensimulasikan hujan menjadi aliran. Pemodelan memperkirakan limpasan permukaan dan mensimulasikan proses hidrologi karena penggunaan lahan, jenis tanah, karakteristik DAS, dan meteorologi di DAS. Debit hasil prediksi yang telah di validasi selanjutnya disimulasikan terhadap pengoperasian waduk Jatigede. Pengoperasian waduk Jatigede dilakukan dengan empat skenario alokasi pemanfaatan air waduk Jatigede. Selanjutnya dilakukan penilaian ketersediaan air permukaan DAS Cimanuk dengan melakukan analisa *water balance* pada kondisi sebelum dan setelah pengoperasian waduk Jatigede.

Hasil penelitian menunjukkan kalibrasi terhadap model menghasilkan nilai NSE 0,64. Sedangkan hasil validasi terbaik pada tahun 2018 dengan NSE 0,575. Hasil simulasi pengoperasian waduk Jatigede dapat mereduksi debit banjir dan memenuhi kebutuhan air untuk air baku 3,5 m³/dt, PLTA 59,63 m³/dt dan sebagian daerah irigasi. Perhitungan kebutuhan air irigasi berdasarkan debit kebutuhan air maksimum untuk tanaman padi pada periode tanam Juni I hingga Juli II. Berdasarkan skenario I dapat mengairi sawah dengan kebutuhan air seluas 55.384,62 ha atau 61,54%; skenario II 52.692,31 ha atau 58,55%; skenario III 9.538,46 ha atau 10,6%; dan skenario IV 6.846,15 ha atau 7,61%. Dilihat dari penilaian *water balance*, ketersediaan air permukaan sebelum ada waduk hampir terjadi *water balance* karena debit air yang mengalir di sungai Cimanuk tidak ada pemanfaatan, sehingga inflow sama dengan outflow. Sedangkan setelah pengoperasian waduk Jatigede terjadi selisih antara inflow dan outflow sungai Cimanuk, hal ini dikarenakan adanya pemanfaatan air di waduk. Saat terjadi surplus air, air yang berlebih ini akan tersimpan dalam waduk dan dapat dimanfaatkan

untuk kebutuhan saat inflow belum mencukupi kebutuhan. Sedangkan saat terjadi defisit air, kebutuhan lebih besar daripada inflow sehingga debit outflow untuk memenuhi kebutuhan mendapat tambahan dari penyimpanan air di waduk.

Kata Kunci : *Water Balance*, Surplus dan Defisit Air, Waduk Jatigede, DAS Cimanuk

NUMERICAL MODELING OF CIMANUK WATERSHED WATER BALANCE BEFORE AND AFTER OPERATION OF JATIGEDE DAM

Student : Ramadani Masitoh Widayati
Student ID : 03111850050001
Supervisors : Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Cimanuk watershed is one of the areas that has quite extensive critical land. Critical land causes Cimanuk watershed to become flood and drought. Floods that occur not only in the downstream but also occur in the upstream area of Cimanuk watershed. The management of Cimanuk watershed water availability is done by regulating water from Cimanuk river with construction of Jatigede reservoir. The purpose of this study was to assess available surface water resources in the Cimanuk watershed using a water balance simulation by HEC-HMS hydrological modeling system based on conditions before and after operation of Jatigede dam.

The watershed hydrological is the relationship between inputs in the form of rainfall, processes, and output in the form of streamflow. The process of converting rainfall into runoff is very complex, simplifying the rainfall-runoff model approach is needed. Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) is one model to simulate rainfall into runoff. Modeling estimates surface runoff and simulates hydrological processes due to land use, soil type, watershed characteristics, and meteorology in watersheds. Prediction discharge that has been validated is then simulated on the operation of Jatigede dam. The operation of Jatigede reservoir is carried out with four scenarios for the allocation of water utilization of Jatigede reservoir. Then, assess the availability of surface water in the Cimanuk watershed by analyzing the water balance in the conditions before and after the operation of Jatigede reservoir.

The results showed that the calibration of the model produced an NSE value of 0,64. While the best validation results in 2018 with NSE 0,575. The results of the simulation of Jatigede reservoir operation can reduce peak discharge and meet water needs for raw water 3,5 m³/s, hydropower 59,63 m³/s and some irrigation areas. Calculation of irrigation water needs is based on the maximum discharge requirement for rice plants in June I to July II planting period. Based on scenario I, it can irrigation rice fields with a water demand as wide as 55.384,62 ha or 61,54 %; scenario II 52.692,31 ha or 58,55 %; scenario III 9.538,46 ha or 10,6%; and scenario IV 6.846,15 ha or 7,61 %. Seen from the water balance assessment, the availability of surface water before the reservoir is almost done because there is no water balance flowing water in the Cimanuk river, so that inflow is the same as outflow. Meanwhile, after the operation of the Jatigede reservoir, the difference between inflow and outflow of Cimanuk river occurs, this indicates the use of water in the reservoir. When there is a surplus of water, this excess water will be stored in a reservoir and can be used for water needs when water inflow is not

sufficient. Whereas when there is a water deficit, the outflow discharge obtain additional from the storage of water in the reservoir.

Keywords: Water Balance, Surplus and Deficit Water, Jatigede Reservoir, Cimanuk Watershed.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmad serta hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “***PEMODELAN NUMERIK WATER BALANCE DAS CIMANUK SEBELUM DAN SETELAH PENGOPERASIAN WADUK JATIGEDE***”. Dalam penyusunan tesis ini, penulis mendapatkan banyak bantuan baik moril, materil, maupun dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga tercinta yang selalu memberi dukungan dan do’a yang tidak pernah putus;
2. Bapak Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M.Sc. selaku Dosen Wali yang telah memberikan arahan, saran, dan motivasi selama perkuliahan;
3. Bapak Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan serta bimbingan dalam proses penyusunan tesis ini;
4. Seluruh dosen pengajar bidang Manajemen dan Rekayasa Sumber Air yang telah memberikan ilmu serta bimbingannya selama masa perkuliahan penulis;
5. Teman-teman Magister Teknik Sipil khususnya Bidang Manajemen dan Rekayasa Sumber Air;
6. Busthomi Irsyadur Ridlo yang selalu memberikan semangat dalam proses pengerjaan tesis;
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran membangun sangat diharapkan untuk perbaikan dan pengembangan penelitian ini kedepannya. Semoga tesis penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua sebagai referensi, pengembangan penelitian, atau kebutuhan yang lainnya.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	i
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
NOTASI	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah Penelitian.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1. Siklus Hidrologi	7
2.2. Hujan	8
2.3. Rerata Hujan Wilayah	8
2.4. Limpasan Permukaan	11
2.5. Infiltrasi	12
2.6. Evapotranspirasi	14
2.7. Neraca Air.....	20
2.8. HEC-HMS	21
2.9. Kalibrasi dan Validasi Model.....	28
2.10. Uji Keandalan Model.....	29
2.11. Analisa Sensitivitas	30
2.12. Bendungan Jatigede.....	30

BAB 3 METODE PENELITIAN	35
3.1. Objek Penelitian.....	35
3.2. Tahap Persiapan dan Studi Literatur.....	36
3.3. Tahap Pengumpulan Data.....	36
3.4. Penyusunan Skenario Alokasi Air Waduk Jatigede.....	37
3.5. Pengolahan Data Sekunder	37
3.6. Pemodelan <i>Water Balance</i> Menggunakan <i>HEC-HMS</i>	38
3.6.1. Menyusun Parameter dan <i>Initial Condition</i>	39
3.6.2. <i>Control Specifications</i>	40
3.6.3. <i>Time-series Data</i>	40
3.6.4. <i>Paired data</i>	41
3.6.5. <i>Running Model</i>	41
3.6.6. Kalibrasi.....	41
3.6.7. Validasi	42
3.6.8. Analisa Sensitivitas.....	42
3.7. <i>Flowchart</i> Penelitian.....	43
3.8. <i>Flowchart</i> HEC-HMS	45
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1. Analisa Data Sekunder.....	47
4.1.1. Data Curah Hujan	47
4.1.2. Data Klimatologi.....	48
4.1.3. Data Spasial	49
4.1.4. Data Teknis dan Lengkung Kapasitas Waduk Jatigede.....	49
4.2. Penyusunan Model Hujan Aliran Menggunakan HEC-HMS.....	51
4.2.1. Penyusunan Basin Model.....	51
4.2.2. Parameter yang Digunakan pada Basin Model	53
4.2.2.1. <i>Canopy Method</i>	53
4.2.2.2. <i>Surface Method</i>	54
4.2.2.3. <i>Loss Method</i>	55
4.2.2.4. <i>Transform method</i>	56
4.2.2.5. <i>Baseflow Method</i>	57
4.2.2.6. <i>Reach Routing Method</i>	58

4.3. Kalibrasi Model	59
4.3.1. Kalibrasi	59
4.3.2. Analisa Sensitivitas	64
4.4. Validasi Model	69
4.5. Simulasi Model Sebelum dan Setelah Beroperasinya Waduk Jatigede	71
4.5.1. Sebelum Ada Waduk	72
4.5.2. Setelah Pengoperasian Waduk	72
4.6. Penilaian <i>Water Balance</i>	76
4.6.1. Sebelum Pengoperasian Waduk	76
4.6.2. Setelah Pengoperasian Waduk	76
BAB 5 PENUTUP	79
5.1. Kesimpulan	79
5.2. Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
BIODATA PENULIS	89

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Hidrologi	7
Gambar 2.2. Rerata Aljabar	9
Gambar 2.3. Poligon Thiessen	10
Gambar 2.4. Metode Isohyet	11
Gambar 2.5 Bendungan Jatigede.....	30
Gambar 2.6. Gambar Lengkung Kapasitas Waduk.....	32
Gambar 3.1. Peta DAS Cimanuk	35
Gambar 3.2. <i>Basin Model</i>	39
Gambar 3.3. <i>Meteorologic models</i>	39
Gambar 3.4. <i>Control specifications</i>	40
Gambar 3.5. <i>Time-series data</i>	40
Gambar 3.6. <i>Paired data</i>	41
Gambar 3.7 a. <i>Flowchart</i> Penelitian	43
Gambar 3.7 b. <i>Flowchart</i> Penelitian	44
Gambar 3.8. <i>Flowchart</i> HEC-HMS	45
Gambar 4.1 Polygon Thiessen	48
Gambar 4.2 Peta DAS	49
Gambar 4.3 Gambar Lengkung Kapasitas Waduk.....	50
Gambar 4.4 Gambar Rating Curve Waduk Jatigede.....	50
Gambar 4.5 Basin model sebelum ada Waduk Jatigede	52
Gambar 4.6 Basin Model setelah ada Waduk Jatigede	52
Gambar 4.7 Nilai Parameter <i>Canopy Method</i>	60
Gambar 4.8 Nilai Parameter <i>Surface Method</i>	60
Gambar 4.9 Nilai Parameter <i>Curve Number</i>	61
Gambar 4.10 Nilai Parameter <i>Impervious</i>	61
Gambar 4.11 Nilai Parameter <i>Initial Abstraction</i>	61
Gambar 4.12 Nilai Parameter <i>Lag Time</i>	62
Gambar 4.13 Nilai Parameter <i>Baseflow</i>	62

Gambar 4.14 Nilai Parameter <i>Kinematic Wave</i>	62
Gambar 4.15 Grafik hasil kalibrasi HEC-HMS	63
Gambar 4.16 Grafik hubungan antara data curah hujan, debit observasi dan debit model.....	63
Gambar 4.17 Grafik persentase perubahan NSE yang disimulasikan terhadap persentase variasi dari masing-masing parameter optimum	64
Gambar 4.18 Grafik persentase perubahan RMSE yang disimulasikan terhadap persentase variasi dari masing-masing parameter optimum	65
Gambar 4.19 Grafik persentase perubahan <i>peak discharge</i> yang disimulasikan terhadap persentase variasi dari masing- masing parameter optimum.....	66
Gambar 4.20 Grafik persentase perubahan volume yang disimulasikan terhadap persentase variasi dari masing-masing parameter optimum	67
Gambar 4.21 Grafik persentase perubahan volume yang disimulasikan terhadap persentase variasi dari masing-masing parameter optimum	68
Gambar 4.22 Grafik Debit model dan Debit Observasi	69
Gambar 4.23 Grafik hubungan antara data curah hujan, debit observasi dan debit model Tahun 2018.....	70
Gambar 4.24 Grafik Pengelompokan Data Debit.....	71
Gambar 4.25 Grafik Hubungan Inflow, Outflow, dan Storage Setelah Pengoperasian Waduk.....	73
Gambar 4.26 Grafik Pola Operasi Waduk Jatigede Pengendali Banjir	74
Gambar 4.27 Grafik Pola Operasi Waduk Jatigede untuk Pemenuhan Kebutuhan	74
Gambar 4.28 Grafik Pola Operasi Waduk Jatigede untuk Potensi air Irigasi.....	75

Gambar 4.29 Grafik Water Balance Setelah Pengoperasian Waduk Jatigede	77
Gambar 4.30 Grafik Water Balance Setelah Pengoperasian Waduk Jatigede Terhadap outflow Pemenuhan Kebutuhan	78

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tabel Nilai Koresi Bulanan (c)	15
Tabel 2.2. Nilai W terhadap Temperatur dan Ketinggian	15
Tabel 2.3. Tekanan Uap Jenuh (ea) Menurut Temperatur	16
Tabel 2.4 Nilai (Ra Radiasi) (mm/hari)	17
Tabel 2.5 Albedo untuk Radiasi Gelombang Pendek	18
Tabel 2.6. Nilai Koreksi Akibat Temperature	19
Tabel 2.7 Metode HEC-HMS	21
Tabel 2.8 Nilai CN untuk Daerah Perkotaan	24
Tabel 2.9 Nilai <i>Curve Number</i> untuk Daerah Pertanian 1	25
Tabel 2.10 Nilai <i>Curve Number</i> untuk Daerah Pertanian 2	27
Tabel 2.11 Pengelompokan Jenis Tanah Menurut Metode SCS	27
Tabel 2.12 Nilai Parameter untuk Kalibrasi Model <i>HEC-HMS</i>	28
Tabel 2.13 Kriteria Uji Keandalan NSE	29
Tabel 3.1. Skenario Alokasi Air Waduk Jatigede	37
Tabel 4.1. Bobot Thiessen	48
Tabel 4.2. Metode yang Digunakan	51
Tabel 4.3. Parameter yang Digunakan	53
Tabel 4.4. <i>Canopy Interception</i>	54
Tabel 4.5. <i>Surface Depressiion Storage</i>	55
Tabel 4.6. Nilai Parameter <i>Loss Method</i>	56
Tabel 4.7. Nilai Parameter <i>Transform Method</i>	57
Tabel 4.8. Nilai Dimensi Sungai dan Parameter <i>Kinematic Wave</i>	58
Table 4.9 Tabel Hasil Validasi	69
Table 4.10 Pengelompokan Data Debit	71
Table 4.11 Ketersediaan Air Irigasi Waduk Jatigede	76

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	83
Pola Tata Tanam	83
Lampiran 2	85
Peta Kemiringan Lereng	85
Lampiran 3	86
Peta Tata Guna Lahan	87

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

NOTASI

A_1, A_2, \dots, A_n	: Luas daerah yang mewakili stasiun hujan 1, 2, 3, ..., n (m^2)
$p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$: hujan di stasiun 1, 2, 3, ..., n (mm)
\bar{p}	: hujan rerata wilayah (mm)
$I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$: garis isohiet ke 1, 2, 3, ..., n, dan n+1
E_{to}	: Evapotranspirasi (mm)
c	: Faktor penyesuaian kondisi akibat cuaca siang dan malam
W	: Faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari
$f(u)$: Fungsi kecepatan angin dalam perbandingan
R_n	: Radiasi penyinaran matahari dalam perbandingan penguapan atau radiasi matahari bersih (mm/hari)
e_s	: Tekanan uap jenuh (mbar)
e_a	: Tekanan uap nyata (mbar)
t	: Suhu ($^{\circ}C$)
RH	: Kelembaban relative
R_s	: penyinaran radiasi matahari yang jatuh ke bumi setelah dikoreksi (mm/hari)
R_a	: penyinaran matahari teoritis yang tergantung pada garis lintang (mm/hari)
n/N	: <i>Ration sunshine</i> / intensitas penyinaran matahari (%)
n	: Lamanya penyinaran matahari (jam/hari)
N	: lamanya penyinaran matahari menurut astronomi dalam suatu hari
u	: Kecepatan angin (m/dt)
R_n	: penyinaran radiasi matahari (mm/hari)
R_{ns}	: penyinaran matahari yang diserap oleh bumi (mm/hari)
R_{n1}	: radiasi yang dipancarkan oleh bumi (mm/hari)
P	: presipitasi (mm)
ΔS	: perubahan volume tampungan untuk selang waktu Δt (m^3/s)
I_a	: kehilangan mula-mula (<i>initial abstraction</i>)

S	: kemampuan penyimpanan maksimum
CN	: <i>curve number</i>
A	: luas area tiap jenis tata guna lahan (m^2)
Tc	: waktu konsentrasi (jam)
L	: panjang sungai utama (ft)
L	: lebar efektif (m)
C	: koefisien limpasan
S	: retensi maksimum (inch), $S = \frac{1000}{CN} - 10$
y	: kemiringan lereng (%)
R	: <i>storage coefficient</i>
S	: Kemiringan sungai
EI	: Indek efisiensi
Qo	: Debit pengukuran (m^3/s)
Qs	: Debit simulasi (m^3/s)
Qa	: Debit rata-rata pengukuran (m^3/s)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman, pertumbuhan penduduk semakin meningkat. Peningkatan ini diiringi dengan semakin luasnya pembukaan lahan untuk pemukiman, industri, dan pengembangan infrastruktur. Alih fungsi lahan yang dilakukan tanpa adanya pengendalian akan mengakibatkan semakin berkurangnya daerah resapan air hingga mengakibatkan lahan kritis. Kondisi DAS yang kritis akan menimbulkan permasalahan baru seperti bencana banjir dan kekeringan. Selain itu, kurangnya bangunan penyimpan air seperti waduk, bendungan, dan embung mengakibatkan air melaju dengan cepat menjadi limpasan hingga mengakibatkan banjir saat musim hujan dan kekeringan saat musim kemarau.

Permasalahan banjir dan kekeringan yang sering terjadi di Indonesia telah menjadi problem pelik beberapa dekade terakhir. Kabupaten Indramayu dan Kabupaten Garut merupakan daerah yang menjadi langganan banjir di Indonesia. Kabupaten Indramayu berada di daerah pesisir utara menjadi hilir dari sungai Cimanuk, sedangkan Kabupaten Garut berada di sisi selatan menjadi hulu sungai Cimanuk. Sungai Cimanuk memiliki panjang 258 km, debit banjir $1.125 \text{ m}^3/\text{s}$, dan anak sungai sampai dengan orde 5 sebanyak 774 alur (Sukardi, Warsito dan Kisworo, 2013). Sungai Cimanuk merupakan sungai utama di DAS Cimanuk.

DAS Cimanuk berada dalam pengelolaan Balai Besar Wilayah Sungai Cimanuk-Cisanggarung. DAS Cimanuk merupakan satu kesatuan sungai yang melalui 5 kabupaten, yaitu Kabupaten Garut, Kabupaten Sumedang, Kabupaten Majalengka, Kabupaten Cirebon, dan Kabupaten Indramayu. Berdasarkan keterangan BPDAS Cimanuk-Citanduy pada tahun 2003, DAS Cimanuk memiliki lahan kritis mencapai 178.794 Ha pada lahan hutan dan nonhutan. Lahan kritis terbesar berada di Kabupaten Garut mencapai 90.045 hektar (Anonim, 2010). Lahan kritis ini menyebabkan semakin buruknya kondisi hidro-orologis daerah aliran sungai. Hal ini dapat dilihat dari fluktuasi debit yang sangat besar di Bendung

Rentang yaitu $Q_{maks} = 1.004 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $Q_{min} = 4 \text{ m}^3/\text{s}$ (Sukardi, Warsito dan Kisworo, 2013). Kerusakan pada lahan kritis mengakibatkan berbagai masalah seperti erosi, longsor, sedimentasi, banjir dan kekeringan. Penanganan ketersediaan air dan pengendali banjir di DAS Cimanuk dilakukan dengan pembangunan dan pengoperasian waduk Jatigede.

Waduk jatigede terletak di Kampung Jatigede Kulon Desa Cijeungjing Kecamatan Jatigede Kabupaten Sumedang. Waduk Jatigede memiliki daya tampung total (El. +260) sebesar $980 \times 10^6 \text{ m}^3$ dan luas permukaan waduk (El. +262) sebedar $41,22 \text{ km}^2$. Pembangunan Waduk Jatigede bertujuan untuk mengendalikan banjir, pasokan listrik, suplai air baku dan irigasi. Berdasarkan kondisi eksisting, bendungan Jatigede telah selesai di bangun, namun untuk pengisian wilayah genangan belum dapat terisi 100% sesuai dengan perencanaan. Hal ini dikarenakan pembangunan jalan akses menuju bendungan masih dalam pengerjaan sehingga sementara untuk menuju waduk menggunakan jalan yang berada di area genangan waduk. Setelah beroperasinya waduk jatigede diharapkan mampu mengatasi permasalahan banjir dan kekeringan di DAS Cimanuk.

Upaya konservasi sumberdaya air DAS Cimanuk telah dilakukan oleh beberapa peneliti terkait kondisi DAS Cimanuk. Beberapa penelitian yang telah dilakukan seperti penelitian mengenai kajian penentuan urutan prioritas penangan lahan kritis DAS Cimanuk Hulu menggunakan metode delphi dengan hasil adanya peningkatan kriteria penentuan prioritas lahan kritis (Santosa, 2003). Penelitian mengenai karakteristik geomorfologi DAS Cimanuk tersusun dari batuan yang mudah hancur, sehingga dapat meningkatkan laju erosi hingga menyebabkan pendangkalan waduk Jatigede (Sulaksana *et al.*, 2013). Penelitian mengenai analisa banjir Cimanuk Hulu yang disebabkan oleh penggunaan lahan di daerah terjal yang kurang tepat, intensitas hujan tinggi, dan kepadatan penduduk di daerah-daerah rawan banjir (Savitri dan Pramono, 2017). Penelitian yang dilakukan Pradwipa mengenai pemanfaatan sumber daya air permukaan waduk Jatigede dilakukan berdasarkan data historis debit sungai cimanuk berdasarkan pencatatan di hulu waduk Jatigede terhadap pemanfaatan waduk sebagai prioritas irigasi dan PLTA (Pradwipa, Jayadi dan Istiarto, 2015).

Penelitian terkait *water balance* telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Penelitian di Sub-DAS Cisampora DAS Cimanuk dan Kabupaten Majalengka memodelkan *water balance* menggunakan Tank model. (Nurroh dan Arifjaya, 2010). Selain itu juga terdapat penelitian di DAS Bales Utopia terhadap penilaian *water balance* menggunakan model hujan aliran HEC-HMS hingga mendapatkan keadaan dimana air mengalami surplus dan defisit (Tefera, 2017).

Proses hidrologi DAS merupakan hubungan antara masukan/*inflow* berupa hujan, proses, dan keluaran berupa aliran. Proses alih ragam hujan menjadi aliran sungai merupakan proses alamiah yang sangat kompleks. Dalam menyederhanakan proses yang kompleks tersebut diperlukan pendekatan model hidrologi seperti model hujan-aliran. Pemodelan dapat menyederhanakan sistem dengan tetap mempertahankan karakteristik DAS. *Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) merupakan salah satu model hujan aliran yang dikembangkan oleh *U.S Army Corps of Engineering*.

HEC-HMS digunakan untuk analisa hidrologi dengan mensimulasikan proses curah hujan menjadi limpasan suatu DAS. HEC-HMS memiliki parameter-parameter yang menggambarkan karakteristik DAS seperti *curve number*, *impervious*, *initial abstraction*, *Lagtime*, *canopy*, *baseflow*, *surface*, dan *mannning*. HEC-HMS di desain untuk dapat diaplikasikan dalam area geografi yang luas untuk menyelesaikan masalah seperti, suplai air daerah pengaliran sungai, hidrologi banjir dan limpasana air. Konsep dasar model HEC-HMS berupa input *precipitation*, kemudian proses dalam DAS (infiltrasi, evapotranspirasi dan pengaturan air melalui bangunan air seperti waduk), dan keluaran berupa *streamflow*.

Berdasarkan permasalahan kondisi DAS Cimanuk di atas maka perlu dilakukan pemodelan hujan-aliran untuk mensimulasikan ketersediaan air permukaan DAS Cimanuk sebelum pengoperasian waduk Jatigede. Ketersediaan air permukaan hasil prediksi selanjutnya disimulasikan terhadap pengoperasian waduk Jatigede berdasarkan skenario alokasi air pada waduk Jatigede. Dari hasil simulasi sebelum dan setelah pengoperasian waduk Jatigede dilakukan penilaian terhadap *water balance*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana keandalan model hujan aliran HEC-HMS DAS Cimanuk Hulu sebagai daerah aliran sungai waduk Jatigede?
2. Bagaimana sensitivitas parameter penyusun DAS Cimanuk Hulu?
3. Bagaimana ketersediaan air DAS Cimanuk Hulu sebelum dan setelah pengoperasian Waduk Jatigede berdasarkan skenario pembagian alokasi air Waduk Jatigede?
4. Bagaimana perbandingan *water balance* DAS Cimanuk baik sebelum maupun setelah beroperasinya Waduk Jatigede?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisa keandalan model hujan aliran HEC-HMS DAS Cimanuk Hulu sebagai daerah aliran sungai waduk Jatigede.
2. Menganalisa parameter yang sensitif dalam mempresentasikan kondisi hidrologi DAS Cimanuk Hulu.
3. Menganalisa kondisi ketersediaan air DAS Cimanuk Hulu sebelum dan setelah beroperasinya Waduk Jatigede berdasarkan skenario pembagian alokasi air Waduk Jatigede.
4. Menganalisa perbandingan *water balance* DAS Cimanuk baik sebelum maupun setelah beroperasinya Waduk Jatigede.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut :

Dapat digunakan oleh Instansi terkait dalam pengambilan keputusan atau menentukan kebijakan pengelolaan DAS Cimanuk.

1.5 Batasan Masalah Penelitian

Adapun batasan permasalahan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Simulasi dilakukan mulai dari hulu DAS Cimanuk hingga Waduk Jatigede.
2. Simulasi dengan adanya waduk Jatigede tanpa memperhitungkan kehilangan atau pengurangan volume tampungan seperti sedimentasi, rembesan dan evaporasi.
3. Simulasi pengoperasian waduk Jatigede berdasarkan debit hasil prediksi model hujan aliran.

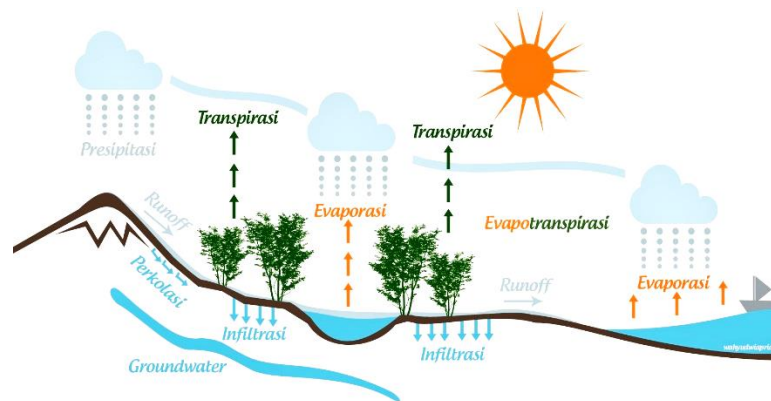
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan siklus air yang terjadi secara terus menerus dari atmosfer ke bumi (berupa hujan, embun, salju, dan hujan es) dan kembali lagi ke atmosfer melalui proses evapotranspirasi hingga terkondensasi. Siklus hidrologi adalah gerakan air laut ke udara, yang kemudian jatuh ke permukaan tanah lagi sebagai hujan atau bentuk presipitasi lain, dan akhirnya mengalir ke laut kembali (Soemartono, 1986). Siklus hidrologi menurut Soemarto dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi

(<http://dinaniswatul699.blogspot.com/2019/02/pembentukan-awan-dan-hujan-siklus.html>)

Kunci dari siklus hidrologi yaitu adanya panas matahari yang menyebabkan adanya penguapan (evaporasi) air di permukaan bumi. Siklus hidrologi dimulai dengan penguapan air dari laut dan permukaan bumi. Uap ini dibawah oleh angin kemudian akibat perbedaan suhu dari panas menjadi dingin uap akan terkumpul membentuk awan. Kumpulan awan yang jenuh ini nantinya akan jatuh menjadi titik-titik air. Air yang sampai dipermukaan bumi nantinya ada yang

menjadi air tanah, digunakan sebagai kebutuhan makhluk hidup dan sebagian menjadi limpasan yang nantinya kembali lagi dalam siklus hidrologi.

2.2. Hujan

Hujan adalah proses kondensasi uap air di atmosfer menjadi butir air yang jatuh ke permukaan bumi. Hujan biasanya terjadi karena pendinginan suhu udara atau penambahan uap air ke udara. Hal tersebut kemungkinan dapat terjadi secara bersamaan. Turunnya hujan biasanya tidak lepas dari kelembaban udara yang memacu jumlah titik-titik air yang terdapat pada udara.

Sedangkan presipitasi merupakan turunnya air dari atmosfer ke permukaan bumi yang bisa berupa hujan, hujan salju, kabut, embun, dan hujan es (Triatmodjo, 2010). Di daerah tropis seperti Indonesia air yang turun dari atmosfer sebagian besar berupa hujan, sehingga seringkali hujan yang dianggap sebagai presipitasi. Hujan berasal dari uap air di atmosfer, sehingga bentuk dan jumlahnya dipengaruhi faktor klimatologi seperti angin, temperatur, dan tekanan atmosfer. Uap air tersebut akan naik ke atmosfer hingga mendingin terjadi kondensasi menjadi butir-butir air dan kristal-kristal es yang akhirnya jatuh sebagai hujan. Tidak semua air hujan sampai ke permukaan bumi karena sebagian menguap ketika jatuh melalui udara kering. Hujan jenis ini disebut sebagai virga.

Menurut Linsley (1996), ada dua jenis hujan berdasarkan ukuran butirannya, yaitu :

- 1) Hujan grimis (*drizzle*), merupakan hujan yang terdiri dari tetes-tetes air yang tipis, biasanya dengan diameter antara 0,1 dan 0,5 mm (0,04 dan 0,02 inci) dengan kecepatan jatuh yang lambat sehingga kelihatan seolah-olah melayang.
- 2) Hujan (*rain*) merupakan hujan yang terdiri dari tetes-tetes air yang mempunyai diameter lebih besar dari 0,5 mm (0,02 inci).

2.3. Rerata Hujan Wilayah

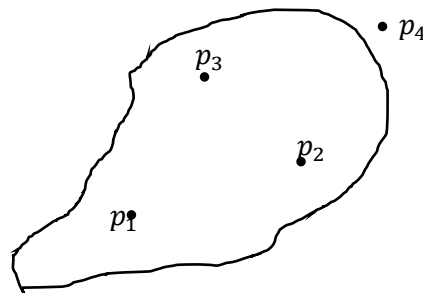
Stasiun penakar hujan hanya memberikan kedalaman hujan di titik tempat stasiun berada. Sehingga hujan pada suatu wilayah harus diperkirakan dari titik pengukuran tersebut. Apabila pada suatu daerah terdapat beberapa stasiun hujan

maka hujan yang tercatat pada masing-masing stasiun tidak sama. Dalam analisa hidrologi sering diperlukan hujan rerata wilayah tersebut, terdapat tiga metode dalam menentukan rerata hujan wilayah diantaranya :

1. Metode rerata aritmatik (aljabar)

Metode ini merupakan yang paling sederhana untuk menghitung rerata hujan wilayah. Stasiun hujan yang digunakan adalah yang berada pada DAS lokasi penelitian, namun dapat juga menggunakan stasiun terdekat yang masih berpengaruh dapat diperhitungkan. Metode rerata aljabar dapat menghasilkan nilai yang baik apabila :

- a. Stasiun hujan tersebar merata di DAS,
- b. Distribusi hujan relatif merata pada seluruh wilayah DAS.



Gambar 2.2. Rerata Aljabar

$$\bar{p} = \frac{p_1+p_2+p_3+\dots+p_n}{n} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan :

\bar{p} : hujan rerata wilayah

$p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$: hujan di stasiun 1, 2, 3, ..., n

n : jumlah stasiun hujan

2. Metode Thiessen

Metode Thiessen memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun hujan yang mewakili luasan di sekitarnya. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Pembentukan poligon Thiessen sebagai berikut :

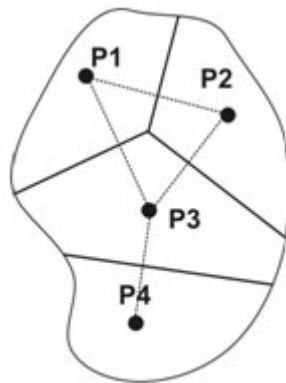
- a. Stasiun hujan diplot pada peta DAS.

- b. Stasiun-stasiun tersebut saling dihubungkan hingga membentuk segitiga.
- c. Masing-masing sisi segitiga diberi garis berat.
- d. Garis-garis berat tersebut membentuk poligon yang mengelilingi tiap stasiun. Tiap stasiun mewakili luasan yang dibentuk oleh poligon. Untuk stasiun di luar DAS , garis batas DAS membentuk batas tertutup dari poligon.

$$\bar{p} = \frac{A_1p_1 + A_2p_2 + A_3p_3 + \dots + A_n p_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan :

- \bar{p} : hujan rerata wilayah
- $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$: hujan di stasiun 1, 2, 3, ..., n
- $A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$: luas daerah yang mewakili stasiun hujan 1, 2, 3, ..., n



Gambar 2.3. Poligon Thiessen
[\(https://spatialygeo.wordpress.com/tag/poligon-thiessen/\)](https://spatialygeo.wordpress.com/tag/poligon-thiessen/)

3. Metode Isohiet

Isohiet adalah garis yang menghubungkan titik-titik yang memiliki kedalaman hujan yang sama. Pada metode ini, hujan pada suatu daerah di antara dua garis isohiet dianggap merata dan sama dengan nilai rerata dari kedua garis isohiet tersebut. Pembagian garis isohiet dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

- a. Lokasi stasiun hujan digambarkan pada peta DAS.

- b. Dari nilai kedalaman hujan di stasiun ujan yang berdampingan dibuat interpolasi dengan pertambahan nilai yang ditetapkan.
- c. Titik-titik interpolasi yang mempunyai kedalaman hujan sama dihubungkan hingga membentuk kurva.
- d. Diukur luas daerah antara dua isohiet yang berurutan dan kemudian dikalikan dengan nilai rerata dari kedua garis isohiet.

$$\bar{p} = \frac{A_1 \frac{I_1+I_2}{2} + A_2 \frac{I_2+I_3}{2} + A_3 \frac{I_3+I_4}{2} + \dots + A_n \frac{I_n+I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.3)$$

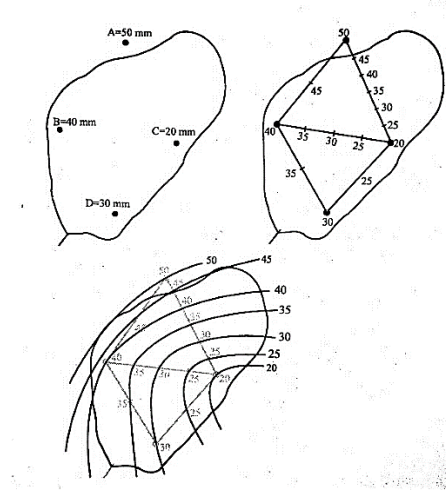
dengan :

\bar{p} : hujan rerata wilayah

$I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$: garis isohiet ke 1, 2, 3, ..., n, dan n+1

$A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$: luas daerah yang mewakili stasiun hujan 1, 2, 3, ..., n.

Metode isohiet merupakan cara paling teliti untuk menghitung rerata hujan wilayah, tetapi cara ini memerlukan pekerjaan dan ketelitian yang lebih banyak daripada 2 metode sebelumnya. Gambar 2.4. merupakan contoh peta isohiet.



Gambar 2.4. Metode Isohyet (Triatmodjo, 2010)

2.4. Limpasan Permukaan

Limpasan Permukaan atau aliran permukaan merupakan bagian dari curah hujan yang mengalir diatas permukaan tanah menuju kesungai, danau dan lautan

(Asdak,1995). Variabilitas limpasan sangat tergantung dari variabilitas komponen aliran dasar (*baseflow/groundwater flow*).

Faktor-faktor yang mempengaruhi limpasan permukaan dibagi menjadi dua kelompok, yaitu elemen meteorologi dan elemen sifat fisik daerah pengaliran. Elemen meteorologi meliputi intensitas hujan, durasi hujan, dan distribusi hujan dalam daerah pengaliran, sedangkan elemen sifat fisik daerah pengaliran meliputi tata guna lahan (*land use*), jenis tanah, dan kondisi topografi daerah pengaliran (*catchment*).

Komponen limpasan permukaan :

1. Presipitasi langsung, merupakan hujan yang langsung masuk ke dalam saluran memiliki presentase yang kecil dari seluruh volume air yang mengalir. Walaupun daerah luas, tapi akan ter evaporasi pula sehingga sulit untuk diperkirakan besarnya. Oleh karena itu, biasanya diabaikan dalam perhitungan.
2. Limpasan permukaan (*surface flow*), merupakan air yang mengalir di atas permukaan tanah baik sebagai aliran tipis di permukaan tanah atau sebagai aliran di saluran.
3. Aliran antara (*interflow*), merupakan sebagian air hujan yang terinfiltrasi ke dalam tanah yang akan menyebar dan mengalir secara lateral. Kontribusi aliran antara terhadap total limpasan permukaan tergantung dari karakteristik tanah daerah tangkapan. Proses aliran antara ini lebih lambat dari aliran permukaan dengan tingkat kelambatan antara beberapa jam sampai hari.
4. Aliran air tanah (*baseflow*), merupakan sebagian dari air hujan yang terpekolasi ke dalam menembus lapisan tanah yang mengalir ke elevasi lebih rendah dan pada akhirnya akan menuju ke sungai.

2.5. Infiltrasi

Infiltrasi merupakan proses meresapnya air ke dalam tanah melalui pori-pori tanah. Menurut (Triatmodjo, 2010), Infiltrasi merupakan aliran air ke dalam tanah melalui permukaan tanah. Aliran air dalam tanah bergerak secara lateral dan vertikal. Air mengalir secara lateral sebagai aliran antara (*interflow*) menuju mata air, danau, dan sungai, sedangkan aliran secara vertikal disebut perkolasi menuju air tanah. Gerakan air melalui pori-pori tanah dipengaruhi gaya gravitasi dan gaya

kapiler. Gaya gravitasi menyebabkan air mengalir menuju posisi yang lebih rendah, sedangkan gaya kapiler menyebabkan air mengalir ke segala arah dari daerah basah ke daerah yang lebih kering. Tanah kering memiliki gaya kapiler lebih besar daripada tanah basah. Gaya kapiler akan bekerja lebih keras pada tanah dengan butiran halus seperti lempung daripada tanah dengan butiran kasar seperti pasir, sehingga gaya kapiler pada kondisi tanah demikian cenderung rendah.

Dalam infiltrasi terdapat dua istilah yaitu kapasitas infiltrasi dan laju infiltrasi. Kapasitas infiltrasi adalah laju infiltrasi maksimum untuk suatu jenis tanah tertentu, sedangkan laju infiltrasi adalah kecepatan infiltrasi yang nilainya tergantung kondisi tanah dan intensitas hujan. Apabila tanah dalam kondisi kering terjadi infiltrasi dengan kapasitas infiltrasi tinggi karena gaya gravitasi dan gaya kapiler bekerja sama menarik air. Ketika tanah basah laju infiltrasi menurun sehingga kapasitas infiltrasi kecil.

Menurut (Triatmodjo, 2010) faktor yang mempengaruhi infiltrasi diantaranya:

1. Kedalaman genangan dan tebal lapisan jenuh

Pada awal hujan dimana tebal tanah jenuh lebih kecil dari tinggi genangan, tinggi tekanan lebih besar daripada tahanan terhadap aliran sehingga laju infiltrasi besar. Sedangkan saat tanah jenuh lebih tebal daripada tinggi genangan menyebabkan tahanan terhadap aliran air besar sehingga laju infiltrasi berkurang.

2. Kedalaman tanah

Jumlah air tanah mempengaruhi kapasitas infiltrasi. Air pada tanah kering menyebabkan permukaan tanah basah tetapi tanah bagian bawah masih kering, sehingga terjadi perbedaan gaya kapiler dari permukaan tanah dan tanah di bawahnya. Dengan demikian gaya kapiler bekerja dengan gaya berat melalui proses infiltrasi dengan cepat. Setelah tanah basah laju infiltrasi berkurang dan koloid tanah akan mengembang dan menutupi pori-pori tanah sehingga mengurangi kapasitas infiltrasi.

3. Pemampatan oleh hujan

Saat terjadi hujan, butiran hujan yang jatuh ke permukaan tanah memberikan tekanan pada permukaan tanah sehingga butiran tanah mengalami pemadatan.

Pemadatan tersebut mengurangi pori-pori tanah yang berbutir halus seperti lempung, sehingga mengurangi kapasitas infiltrasi.

4. Penyumbatan oleh butir halus

Ketika tanah sangat kering, permukaannya sering terdapat butiran halus. Ketika hujan dan terjadi infiltrasi, butiran halus tersebut terbawa ke dalam tanah dan mengisi pori-pori tanah sehingga mengurangi kapasitas infiltrasi.

5. Tanaman penutup

Tanaman yang menutupi permukaan tanah seperti rumput dapat menaikkan kapasitas infiltrasi tanah tersebut. Dengan adanya tanaman penutup, air hujan tidak dapat memampatkan tanah, selain itu akan terbentuk lapisan humus. Saat terjadi hujan lapisan humus mengembang sehingga kapasitas infiltrasi menjadi lebih besar

6. Topografi

Pada lahan dengan kemiringan besar, aliran permukaan menjadi besar sehingga air kekurangan waktu untuk mengalami infiltrasi. Sebaliknya pada daerah dengan kemiringan landai maupun datar laju infiltrasi lebih besar daripada laju limpasan air.

7. Intensitas hujan

Jika intensitas hujan lebih kecil dari kapasitas infiltrasi, maka laju infiltrasi aktual sama dengan intensitas hujan.

2.6. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi merupakan suatu peristiwa perubahan air menjadi uap air di permukaan bumi yang berasal dari penguapan permukaan tanah dan tumbuhan. Laju evapotranspirasi dipengaruhi oleh lamanya penyinaran matahari, kecepatan angin, kelembaban udara, dan temperatur. Menurut Triatmodjo (2010) evapotranspirasi adalah evaporasi dari permukaan lahan yang ditumbuhi tanaman. Banyak metode yang dipergunakan untuk mengetahui besarnya evapotranspirasi seperti metode neraca air, metode imbalan energi, metode transfer massa, gabungan metode transfer energi dan massa (Penman), Penman modifikasi, dll.

Perhitungan evapotranspirasi menggunakan metode Penman modifikasi dapat dilakukan menggunakan rumus berikut :

$$Etp = c \times \{W \times Rn + (1 - W) \times f(u) \times (es - ea)\} \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan :

- Etp* : Evapotranspirasi (mm)
- c* : Faktor penyesuaian kondisi akibat cuaca siang dan malam
- W* : Faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari
- f(u)* : Fungsi kecepatan angin dalam perbandingan
- Rn* : Radiasi penyinaran matahari dalam perbandingan penguapan atau radiasi matahari bersih (mm/hari)
- es* : Tekanan uap jenuh (mbar)
- ea* : Tekanan uap nyata (mbar)

Variabel-variabel yang digunakan untuk perhitungan evapotranspirasi menggunakan metode Panman sebagai berikut:

- 1) Faktor penyesuaian/pengganti kondisi akibat cuaca siang dan malam (*c*)
 Karena iklim tidak selalu tetap maka Panman memberikan nilai koreksi (*c*) seperti pada Tabel 2.1. berikut:

Tabel 2.1. Tabel Nilai Koreksi Bulanan (*c*)

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
<i>c</i>	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1

Sumber : Hadisusanto dalam Oktawirawan (2015)

- 2) Faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari (*W*)
 Untuk mencari nilai *W* didapat dari hubungan antara temperatur dengan ketinggian seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Nilai *W* terhadap Temperatur dan Ketinggian

Temperatur (<i>T</i>)°C		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Ketinggian	0	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69
(<i>z</i>) m	500	0,44	0,48	0,51	0,54	0,57	0,6	0,62	0,65	0,67	0,7
	1000	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71
	2000	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73

Temperatur (T)°C		22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Ketinggian (z) m	0	0,71	0,73	0,75	0,77	0,78	0,8	0,82	0,83	0,84	0,85
	500	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86
	1000	0,73	0,75	0,77	0,79	0,8	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87
	2000	0,75	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88

Sumber : Hadisusanto dalam Oktawirawan (2015)

3) Tekanan uap jenuh (e_a)

Nilai tekanan uap jenuh dipengaruhi oleh temperatur, berikut Tabel 2.3. nilai tekanan uap jenuh terhadap temperatur.

Tabel 2.3. Tekanan Uap Jenuh (e_a) Menurut Temperatur

T (°C)	E_a (mbar)	T (°C)	E_a (mbar)	T (°C)	E_a (mbar)
0	6,1	14	16,1	28	37,8
1	6,6	15	17	29	40,1
2	7,1	16	18,2	30	42,4
3	7,6	17	19,4	31	44,9
4	8,1	18	20,6	32	47,6
5	8,7	19	22	33	60,3
6	9,8	20	23,4	34	53,2
7	10	21	24,9	35	56,2
8	10,7	22	26,4	36	59,4
9	11,5	23	28,1	37	62,8
10	12,3	24	29,8	38	66,3
11	13,1	25	31,7	39	69,9
12	14	26	33,6		
13	15	27	35,7		

Sumber : Kebutuhan Air Tanam, Departemen Pertanian, dalam Oktawirawan (2015)

4) Tekanan uap aktual (e_d)

Menghitung tekanan uap aktual (e_d) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut

$$ed = ea \times \left(\frac{RH}{100}\right) \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

ed : tekanan uap aktual (mbar)

ea : tekanan uap jenuh (mbar)

RH : kelembaban udara (%)

5) *Rn* (*Net Radiasi Equivalen Evaporasi*)

Persamaan *Rn* sebagai berikut :

$$Rn = Rns - Rn1 \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

Rn : penyinaran radiasi matahari (mm/hari)

Rns : penyinaran matahari yang diserap oleh bumi (mm/hari)

Rn1 : radiasi yang dipancarkan oleh bumi (mm/hari)

a) Penyinaran matahari yang diserap oleh bumi (*Rns*)

Nilai penyinaran matahari teoritis yang tergantung pada garis lintang (*Ra*)

dapat dilihat pada Tabel 2.4. berikut:

Tabel 2.4 Nilai (*Ra* Radiasi) (mm/hari)

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
Lintang Utara												
10	13,2	14,2	15,3	15,7	15,5	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	12,9
8	13,6	14,5	15,3	15,6	15,3	15,0	15,1	15,4	15,3	14,8	13,9	13,3
6	13,9	14,8	15,4	15,4	15,1	14,7	14,9	15,2	15,3	15,0	14,2	13,7
4	14,3	15,0	15,5	15,5	14,9	14,4	14,6	15,1	15,3	15,1	14,5	14,1
2	14,7	15,3	15,6	15,3	14,6	14,2	14,3	14,9	15,3	15,3	14,8	14,4
0	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,4	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
Lintang Selatan												
0	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
2	15,3	15,7	15,7	15,1	14,1	13,5	13,7	14,5	15,2	15,5	15,3	15,1
4	15,5	15,8	15,6	14,9	13,8	13,2	13,4	14,3	15,1	15,6	15,5	15,4
6	15,8	16,0	15,6	14,7	13,4	12,8	13,1	14,0	15,0	15,7	15,8	15,7
8	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16,0	16,0
10	16,4	16,3	15,5	14,2	12,8	12,0	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2

Sumber : Hadisusanto dalam Oktawirawan, 2015

Menghitung nilai R_{ns} dan R_s dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$R_{ns} = (1 - \alpha) \times R_s \dots\dots\dots (2.7)$$

$$R_s = \{a + b(n/N)\} \times R_a \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan :

R_s : penyinaran radiasi matahari yang jatuh ke bumi setelah dikoreksi (mm/hari)

R_a : penyinaran matahari teoritis yang tergantung pada garis lintang (mm/hari)

n/N : *Ration sunshine*/ intensitas penyinaran matahari (%)

n : Lamanya penyinaran matahari (jam/hari)

N : lamanya penyinaran matahari menurut astronomi dalam suatu hari

a : nilai konstanta (0,25 untuk daerah tropis dan 0,2 untuk daerah subtropis)

b : nilai konstanta (0,5 untuk daerah tropis dan 0,55 untuk daerah subtropis)

α : refleksi radiasi gelombang pendek (albedo) permukaan bumi, nilai albedo dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Albedo untuk Radiasi Gelombang Pendek

Lokasi	Albedo (α)
Permukaan Air	0,60 – 0,90
Pasir	0,20 – 0,30
Tanah	
- Warna Gelap	0,05 – 0,15
- Clay	0,20 – 0,35
Beton	0,17 – 0,27
Jalan Aspal	0,05 – 0,10
Rumput-rumputan	0,26 – 0,30
Hutan lebat	0,10 – 0,20

Sumber : Aplikasi Hidrologi (Hadisusanto, 2011)

b) Radiasi yang dipancarkan oleh bumi (Rn1)

Nilai koreksi akibat temperatur $f(T)$, dapat dilihat pada Tabel 2.6. berikut:

Tabel 2.6. Nilai Koreksi Akibat Temperature

T (°C)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
F (T)	11	11,4	11,7	12	12,4	12,7	13,1	13,5	13,8	14,2
T (°C)	20	22	24	26	28	30	32	34	36	
F (T)	14,6	15	15,4	15,9	16,3	16,7	17,2	17,7	18,1	

Sumber : Hadisusanto dalam Oktawirawan, 2015

Menghitung nilai radiasi yang dipancarkan oleh bumi (Rn1) menggunakan persamaan berikut :

$$Rn1 = f(T) \times f(ed) \times f(n/N) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$F(ed) = (0,34 - 0,044 \times ed^{0,5}) \dots\dots\dots (2.10)$$

$$F(n/N) = \{0,1 + 0,9(n/N)\} \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan :

$f(T)$: Koreksi akibat temperatur

$f(ea)$: koreksi akibat tekanan uap air

$f(n/N)$: koreksi rasio penyinaran matahari

ea : tekanan uap nyata (mbar)

ed : tekanan uap aktual (mbar)

6) Fungsi kecepatan angin $f(U)$

$$f(U) = 0,27 \times \left(1 + \frac{U}{100}\right) \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan :

$f(U)$: fungsi kecepatan angin

U : kecepatan angin pada ketinggian 2 meter, selama 24 jam (km/jam)

2.7. Neraca Air

Perkiraan secara kuantitatif dari siklus hidrologi dapat dinyatakan berdasarkan prinsip konservasi massa, yang dikenal dengan persamaan neraca air (*water balance*). Persamaan tersebut menggambarkan bahwa dalam suatu sistem hidrologi (DAS, waduk, danau, aliran permukaan) dapat dievaluasi air yang masuk dan keluar dari sistem tersebut dalam periode waktu tertentu. Neraca air digunakan untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan air pada daerah aliran sungai.

Penyusunan neraca air pada suatu tempat dimaksudkan untuk mengetahui jumlah netto dari air yang diperoleh sehingga dapat diupayakan pemanfaatannya sebaik-baiknya, (Gede dalam Hadryana, 2015). Menurut Mather dalam Hadryana (2015), istilah neraca air mempunyai beberapa arti yang berbeda tergantung pada skala ruang dan waktu.

1. Skala makro

Neraca air dapat digunakan dalam pengertian yang sama seperti siklus hidrologi, neraca global tahunan dari air di laut, atmosfer dan bumi pada semua fase.

2. Skala meso

Neraca air dari suatu wilayah atau suatu drainase basis utama.

3. Skala mikro

Neraca air yang diselidiki dari lapangan bervegetasi, tegakan hutan atau kejadian individu pohon.

Neraca air dapat dinyatakan dalam interval waktu singkat maupun durasi panjang. Secara umum persamaan neraca air dapat ditulis dalam bentuk (Chow, V.T 1964):

$$I - O = \Delta S \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan :

I : Inflow (m^3/s)

O : Outflow (m^3/s)

ΔS : perubahan volume tampungan untuk selang waktu Δt (m^3/s)

2.8. HEC-HMS

Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modelling System (HEC-HMS) merupakan *software* yang dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Center* milik *US Army Corps of Engineers*. *HEC-HMS* merupakan model numerik yang dapat menyimulasikan DAS, sungai, prediksi aliran, perhitungan limpasan permukaan serta penelusuran banjir pada suatu daerah aliran sungai, baik dalam kondisi eksisting maupun dalam keadaan terkontrol atau terencana. Selain itu *HEC-HMS* juga dapat digunakan untuk simulasi perhitungan aliran dasar (*baseflow*) dan evaluasi bangunan pengendali air (*reservoir*).

Program *HEC-HMS* memiliki beberapa simulasi model yang terpisah. Beberapa metode yang terdapat dalam *HEC-HMS* terdapat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Metode HEC-HMS

Model	Metode
<i>Precipitation</i>	<i>User-specified hyetograph</i>
	<i>Use-specified gage weighting</i>
	<i>Inverse distance-squared gage weighting</i>
	<i>Gridded precipitation</i>
	<i>Frequency storm</i>
	<i>Standard project storm</i>
	<i>SCS hypothetical storm</i>
<i>Evapotranspiration</i>	<i>Monthly Average</i>
	<i>Priestly-Taylor</i>
<i>Snowmelt</i>	<i>Temperature Index</i>
	<i>Gridded Temperature Index</i>
<i>Runoff-Volume Models</i>	<i>Initial and Constant rate</i>
	<i>SCS curve number (CN)</i>
	<i>Gridded SCS CN</i>
	<i>Green and ampt</i>
	<i>Exponential</i>

Model	Metode
	<i>Smith Parlange</i>
	<i>Deficit and constant rate</i>
	<i>Soil moisture accounting (SMA)</i>
<i>Direct runoff Models</i>	<i>User-specified unit hydrograph</i>
	<i>Clark's UH</i>
	<i>Snyder's UH</i>
	<i>SCS UH</i>
	<i>Modclark</i>
	<i>Kinematic wave</i>
	<i>User-specified s-graph</i>
<i>Baseflow Models</i>	<i>Constant monthly</i>
	<i>Exponential recession</i>
	<i>Linear reservoir</i>
	<i>Nonlinear Boussinesq</i>
<i>Channel Routing Models</i>	<i>Kinematic wave</i>
	<i>Lag</i>
	<i>Modified plus</i>
	<i>Muskingum</i>
	<i>Muskingum-Cunge Standard Section</i>
	<i>Straddle Stagger</i>

Sumber: (Anonim, 2015)

HEC-HMS tidak dapat digunakan untuk mengolah data spasial, oleh karena itu diperlukan bantuan program lain untuk melakukan pengolahan data spasial sebelum dimasukkan dalam *HEC-HMS*. Program tersebut seperti *GIS*, *3D Analyst* serta *Spatial Analyst*. *HEC-HMS* hanya dapat menggunakan input peta digital yang telah diolah sebelumnya oleh program tambahan tersebut.

HEC-HMS memiliki 5 komponen utama, yaitu:

- a. *Basin model*, yaitu elemen-elemen yang terdapat pada suatu sub DAS serta parameter-parameter dalam limpasan.

- b. *Meteorologic model*, yaitu berisi data sebaran stasiun hujan dan data evapotranspirasi.
- c. *Control specifications*, yaitu merupakan interval waktu simulasi untuk memulai atau mengakhiri dalam kalkulasi data.
- d. *Time series data* yaitu berisi masukan data seperti data hujan, data debit, data elevasi muka air, temperatur, radiasi matahari, tampungan air, kecepatan angin, tekanan udara, dll.
- e. *Paired data* yaitu berisi pasangan data seperti hidrograf satuan.

Parameter HEC-HMS yang digunakan dalam penelitian ini terdapat beberapa parameter yang mewakili karakteristik DAS. Berikut persamaan-persamaan untuk setiap parameter yang ada pada HEC-HMS.

- a. Persamaan untuk *parameter retensi (S)* sebagai berikut (Feldman, Ed, 2000):

$$Ia = 0,2 S \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan :

Ia : kehilangan mula-mula (*initial abstraction*)

S : kemampuan penyimpanan maksimum

$$S = \frac{25400-254CN}{CN} \dots\dots\dots (2.15)$$

dengan :

S : parameter retensi

CN : *curve number*

- b. Persamaan untuk *curve number (CN)* sebagai berikut (Feldman (Ed), 2000):

$$CN = \frac{A_i CN_i + A_{i+1} CN_{i+1} + \dots + A_n CN_n}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan :

A : luas area tiap jenis tata guna lahan (km^2)

CN : *curve number*

- c. Persamaan untuk *lag time (Tlag)* sebagai berikut (May, 2011):

$$Tc = \frac{L^{0,8}[S+1]^{0,7}}{1140y^{0,5}} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$Tlag = 0,6 Tc \dots\dots\dots (2.18)$$

dengan :

Tc : waktu konsentrasi (jam)

L : panjang sungai utama (ft)

CN : *curve number*

S : retensi maksimum (inch), $S = \frac{1000}{CN} - 10$

y : kemiringan lereng (%)

$Tlag$: perbedaan waktu antara pusat massa dari kelebihan curah hujan dan puncak dari unit hidrograf (jam)

Untuk nilai CN selengkapnya dapat dilihat pada tabel 2.8 – 2.11.

Tabel 2.8 Nilai CN untuk Daerah Perkotaan

Tutupan Tanah	<i>Impervious Area</i>	Nilai <i>Curve Number</i>			
		<i>Berdasarkan Groub Tanah</i>			
Tipe Tutupan Tanah dan Kondisi Hidrologi	(%)	A	B	C	D
Daerah perkotaan					
Ruang terbuka (lapangan berumput, taman, lapangan golf, tempat pemakaman, dll)					
- Kondisi buruk (tutupan rumput <50%)		68	79	86	89
- Kondisi sedang (tutupan rumput 50%-75%)		49	69	79	84
- Kondisi baik (tutupan rumput >75%)		39	61	74	80
Daerah kedap air (<i>impervious area</i>)					
Tempat parkir beraspal, jalan raya, dll		98	98	98	98
Jalan Raya					
- Beraspal : trotoar dan saluran air kotor		98	98	98	98
- Beraspal : selokan terbuka		83	89	92	93
- Kerikil		73	85	89	91
- Tanah berlumur		72	82	87	89
Daerah perkotaan berpadang pasir					
- Bentang alam gurun alami (hanya area yang tidak kedap air)		63	77	85	88
- Bentang alam gurun buatan		96	96	96	96

Tutupan Tanah	<i>Impervious Area</i>	Nilai <i>Curve Number</i> Berdasarkan <i>Group Tanah</i>			
		A	B	C	D
Tipe Tutupan Tanah dan Kondisi Hidrologi	(%)				
Kawasan Perkotaan					
- Bisnis dan komersil	85	89	92	94	95
- Industri	72	81	88	91	93
Kawasan pemukiman berdasarkan ukuran luasan					
- 1/8 acre atau kurang (<i>town house</i>)	65	77	85	90	92
- 1/4 acre	38	61	75	83	87
- 1/3 acre	30	57	72	81	86
- 1/2 acre	25	54	70	80	85
- 1 acre	20	51	68	79	84
- 2 acre	12	46	65	77	82
Pengembangan daerah perkotaan					
Wilayah baru (hanya daerah tidak kedap air, tidak ada vegetasi)		77	86	91	94

Sumber: (Feldman, 2000)

Tabel 2.9 Nilai *Curve Number* untuk Daerah Pertanian 1

Tutupan Tanah		Kondisi Hidrologi	Nilai <i>Curve Number</i> Berdasarkan <i>Group Tanah</i>			
Tipe Tutupan Tanah	Perlakuan		A	B	C	D
Lahan pertanian yang baru dibajak	- Lahan gundul	-	77	86	91	94
	- Terdapat sisa tanaman pertanian	Buruk	76	85	90	93
		Baik	74	83	88	90
Tanaman (berbaris)	- Baris lurus	Buruk	72	81	88	91
		Baik	67	78	85	89
	- Baris lurus dan terdapat sisa tanaman pertanian	Buruk	71	80	87	90
		Baik	64	75	82	85
	- Berkontur	Buruk	70	79	84	88
		Baik	65	75	82	86

Tipe Tutupan Tanah	Tutupan Tanah		Nilai <i>Curve Number</i>			
	Perlakuan	Kondisi Hidrologi	Berdasarkan Grub Tanah			
			A	B	C	D
Pertanian (padi, gandum, biji-bijian)	- Berkontur dan terdapat sisa tanaman pertanian	Buruk	69	78	83	87
		Baik	64	74	81	85
	- Berkontur dan terasering	Buruk	66	74	80	82
		Baik	62	71	78	81
	- Berkontur, terasering, dan terdapat sisa tanaman pertanian	Buruk	65	73	79	81
		Baik	61	70	77	80
	- Baris lurus	Buruk	65	76	84	88
		Baik	63	75	83	87
	- Baris lurus dan terdapat sisa tanaman pertanian	Buruk	63	75	83	86
		Baik	60	72	80	84
	- Berkontur	Buruk	61	73	82	85
		Baik	61	73	81	84
- Berkontur dan terdapat sisa tanaman pertanian	Buruk	62	73	81	84	
	Baik	60	72	80	83	
- Berkontur dan terasering	Buruk	63	72	79	82	
	Baik	59	70	78	81	
- Berkontur, terasering, dan terdapat sisa tanaman pertanian	Buruk	60	71	78	81	
	Baik	58	69	77	80	
Pertanian (kacang-kacangan) atau pergiliran padang rumput	- Baris lurus	Buruk	66	78	85	89
		Baik	58	72	81	85
- Berkontur	Buruk	64	75	83	85	
	Baik	55	69	78	83	
- Berkontur dan terasering	Buruk	63	73	80	83	
	Baik	51	67	76	80	

Sumber: (Feldman, 2000)

Tabel 2.10 Nilai *Curve Number* untuk Daerah Pertanian 2

Tutupan Tanah	Kondisi Hidrologi	Nilai <i>Curve Number</i> berdasarkan Grub Tanah			
		A	B	C	D
Padang rumput, dan rumput makanan ternak	Buruk	68	79	86	89
	Sedang	49	69	79	84
	Baik	39	61	74	80
Padang rumput (jerami)	-	30	58	71	78
	Buruk	48	67	77	83
Semak-semak	Sedang	35	56	70	77
	Baik	30	48	65	73
Hutan dengan kombinasi padang rumput (anggrek dan kebun teh)	Buruk	57	73	82	86
	Sedang	43	65	76	82
	Baik	32	58	72	79
Hutan	Buruk	45	66	77	83
	Sedang	36	60	73	79
	Baik	30	55	70	77
Rumah-rumah pertanian, jalan raya, lumbung	-	59	74	82	86

Sumber: (Feldman, 2000)

Tabel 2.11 Pengelompokan Jenis Tanah Menurut Metode SCS

<i>Soil Group</i>	<i>Description</i>	<i>Range of Loss Rates (in/hr)</i>
A	<i>Deep sand, deep loess, aggregated silts</i>	0.30-0.45
B	<i>Shallow loess, sandy loam Clay loams,</i>	0.15-0.30
C	<i>shallow sandy loam, soils low in organic content, and soils usually high in clay</i>	0.05-0.15
D	<i>Soils that swell significantly when wet, heavy plastic clays, and certain saline soils</i>	0.00-0.05

Sumber: (Feldman, 2000)

2.9. Kalibrasi dan Validasi Model

Kalibrasi adalah proses pemilihan kombinasi parameter (Indarto, Adriyani dan Novita, 2008). Dengan kata lain kalibrasi adalah suatu prosedur untuk menentukan nilai-nilai parameter yang dianggap dapat mewakili keadaan DAS di alam. Pada prinsipnya model mampu memberikan respon yang baik sesuai dengan harapan, namun sejauh mana model mampu mempresentasikan keadaan di alam. Output dari model diharapkan mendekati dengan data hasil observasi lapangan. Berdasarkan data masukan berupa parameter seperti nilai CN (*Curve Number*), resapan awal (*Initial abstraction*), *impervious*, *koef. Manning*, *lagtime*, nilai *baseflow*, *canopy*, dan *surface* sehingga akhirnya mendapatkan hasil yang paling mendekati dengan kondisi di lapangan.

Validasi model adalah proses evaluasi terhadap model untuk mendapatkan gambaran tingkat ketidakpastian dalam memprediksi proses hidrologi. Data yang digunakan untuk periode validasi menggunakan data diluar data periode kalibrasi (Indarto, Adriyani dan Novita, 2008).

Tabel 2.12 Nilai Parameter untuk Kalibrasi Model *HEC-HMS*

Model	Parameter	Min	Max
<i>SCS Loss</i>	<i>Initial abstraction</i>	0 mm	500 mm
	<i>Curve number</i>	1	100
	<i>impervious</i>	0 %	100 %
<i>SCS UH</i>	<i>Lag</i>	0,1 min	30.000 min
<i>Kinematic wave routing</i>	<i>N-value factor</i>	0,01	10
<i>Baseflow</i>	<i>Constant monthly</i>	0 m ³ /s	
<i>Simple Canopy</i>	<i>Max Storage</i>	0,001 mm	1.500 mm
	<i>Initial Storage</i>	0,001 %	100 %
<i>Simple Surface</i>	<i>Max Storage</i>	0,001 mm	1.500 mm
	<i>Initial Storage</i>	0,001 %	100 %

Sumber: (Feldman, 2000)

2.10. Uji Keandalan Model

Adapun metode untuk menentukan kriteria kalibrasi model terhadap hasil pengamatan dilapangan sebagai berikut :

a. *RMSE (Root Mean Square Error)*

RMSE merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan, juga dapat menyatakan ukuran besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan. Nilai *RMSE* rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan mendekati variasi nilai obeservasinya. Semakin mendekati 0 nilai *RMSE* semakin bagus model yang dibangun.

$$RSME(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{model} - Q_{obs})^2}{N}} \dots\dots\dots (2.19)$$

dengan :

- Q_{obs} = nilai debit observasi (m^3/dt)
- Q_{model} = nilai hasil debit model (m^3/dt)
- N = jumlah Observasi

b. *Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)*

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \dots\dots\dots (2.20)$$

dengan:

- NSE* : *Nash-Sutcliffe Efficiency*
- Q_o : Debit pengukuran (observasi) (m^3/s)
- Q_s : Debit simulasi (model) (m^3/s)
- \bar{Q}_o : Debit rata-rata pengukuran (m^3/s)

Tabel 2.13 Kriteria Uji Keandalan NSE

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

Sumber : (Motovilov *et al.*, 1999)

2.11. Analisa Sensitivitas

Analisa Sensitivitas merupakan tahapan untuk mengetahui parameter yang paling berpengaruh terhadap model yang telah dibangun. Analisa sensitivitas dilakukan terhadap parameter optimum pada proses kalibrasi. Perubahan nilai yang kecil dapat menyebabkan perbedaan besar dalam aliran yang dihasilkan oleh model simulasi, sehingga perlu diestimasi dengan tepat.

Rasio elastisitas (e) adalah nilai untuk menentukan tingkat sensitivitas dari masing-masing parameter. Semakin besar nilai rasio elastisitas maka semakin sensitif parameternya. Nilai rasio elastisitas dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Wałęga, Rutkowska dan Policht-Latawiec, 2014)

$$e = \frac{\Delta O/O}{\Delta I/I} = \frac{\%perubahan_{output}}{\%perubahan_{input}} \dots\dots\dots (2.21)$$

dimana output merupakan besar hasil dari perubahan parameter, dan input merupakan nilai parameter yang disimulasikan.

2.12. Bendungan Jatigede

Bendung Jatigede terletak di Desa Cijeungjing Kecamatan Jatigede Kabupaten Sumedang. Bendungan Jatigede memiliki luas daerah airan sungai 1.460 km², memiliki volume aliran permukaan 2,5 milyar m³/tahun (BBWS, 2009). Pembangunan Bendung Jatigede bertujuan untuk menyuplai kebutuhan irigasi, pembangkit listrik, air baku, dan pengendali banjir.



Gambar 2.5 Bendungan Jatigede (BBWS Cimanuk-Cisanggarung)

Data Teknis Bendungan Jatigede

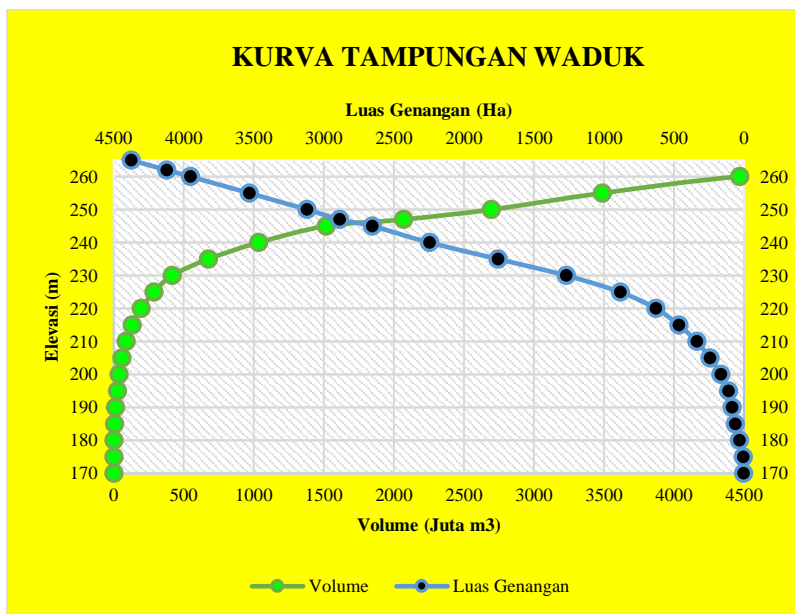
- Hidrologi
 - Luas *DAS* : 1.462 km²
 - Volume aliran air tahunan : 2,5 x 10⁹ m³
- Waduk
 - Muka Air (MA) banjir max : El. +262
 - MA Operasi max (*FSL*) : El. +260
 - MA Operasi min (*MOL*) : El. +230
 - Luas permukaan waduk (El. 262) : 41,22 km²
 - Volume total (*gross*) (El. +260) : 980 x 10⁶ m³
 - Volume efektif (antara El.+221 Dan El +260) : 877 x 10⁶ m³
- Bendungan
 - Tipe : Urugan batu, inti tegak
 - Elevasi mercu bendungan : El. +265
 - Panjang bendungan : 1.715 m
 - Lebar mercu bendungan : 12 m
 - Tinggi bendungan max : 114 m
 - Volume timbunan : 6,7 x 10⁶ m³
- Bangunan Pelimpah (*Spillway*)
 - Lokasi : di tubuh bendungan
 - Tipe : Tipe chute dengan 4 pintu Radial
 - Lebar Puncak Weir : 52 m (4 x 13.0 m), El.+247
 - Dimensi radial gates : 4 bh (W=13,0 m; H=14,5 m)
 - Q_{PMF} : 11.000 m³/dt
- Intake Irigasi (*Irrigation Outlet*)
 - Lokasi : Di dalam tubuh spillway
 - Elevasi lantai depan : El. +221
 - Tipe bangunan : Conduit beton bertulang dg n Steel Liner
 - Dimensi conduit : b = 3,9 m; h = 4.1 m; L = 166 m
- Terowongan Pengelak (*Diversion Tunnel*)
 - Lokasi : Di bawah bangunan pelimpah

Elevasi Inlet : El. +164
 Tipe : Circular, beton bertulang
 Debit rencana (Q100) : 3.200 m³/dt
 Dimensi terowongan : D = 10 m; L = 546 m

- PLTA (*Pembangkit Listrik Tenaga Air*)

Lokasi : Sebelah kanan Bendungan Utama
 Lantai Inlet : El. +221
 Terowong penyalur air : D = 4,5 m; L = 3.095 m
 Tinggi terjun : 170 m
 Tipe turbin : Francis
 Kapasitas terpasang : 2 x 55 MW = 110 MW
 Produksi rata-rata : 690 GWH/tahun

Lengkung Kapasitas Waduk Jatigede



Gambar 2.6. Gambar Lengkung Kapasitas Waduk (BBWS Cimanuk Cisanggarung)

Rating Curve

Rating curve adalah lengkung debit yang menggambarkan hubungan antara duga air (H) dengan Q (debit). Perhitungan *rating curve* dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$Q = C \times L \times H^{3/2} \dots\dots\dots (2.22)$$

dengan :

Q : debit yang melewati pelimpah (m^3/s)

C : koefisien limpasan

L : lebar efektif (m)

H : tinggi tekanan air di atas mercu (m)

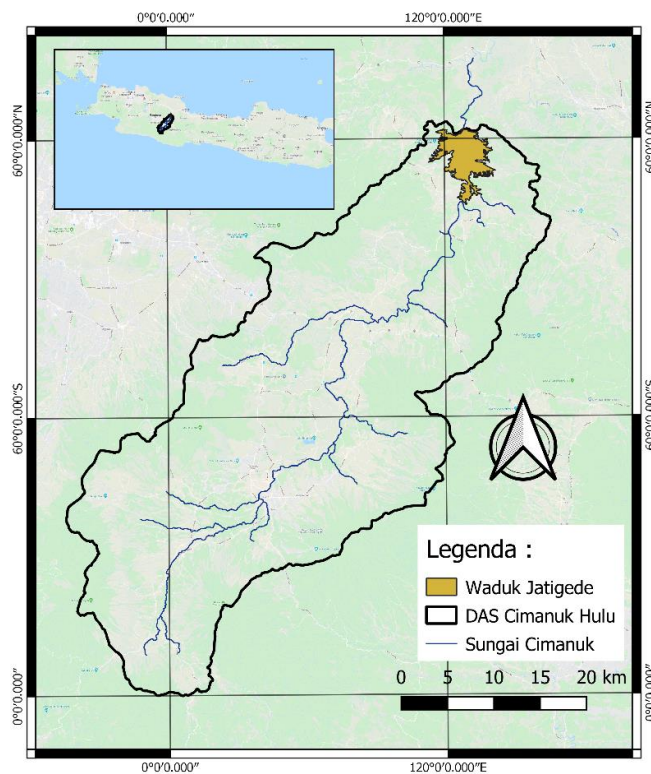
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Objek Penelitian

Lokasi Penelitian pada penelitian ini adalah DAS Cimanuk Hulu. DAS Cianuk Hulu terletak di Kabupaten Garut, dan sebagian Kabupaten Majalengka. Luas DAS Cimanuk Hulu $1.457,26 \text{ km}^2$ dan panjang sungai $105,1 \text{ km}$. DAS Cimanuk Hulu merupakan daerah aliran sungai dari waduk Jatigede. Lokasi DAS Cimanuk Hulu dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Peta DAS Cimanuk (BBWS Cimanuk-Cisanggarung)

Bendung Jatigede terletak di Desa Cijeungjing Kecamatan Jatigede Kabupaten Sumedang. Bendungan Jatigede memiliki luas daerah aliran sungai 1.460 km^2 , memiliki volume aliran permukaan $2,5 \text{ milyar m}^3/\text{tahun}$ (BBWS, 2009). Pembangunan Bendung Jatigede bertujuan untuk menyuplai kebutuhan irigasi, pembangkit listrik, menyuplai air baku, dan pengendali banjir.

3.2. Tahap Persiapan dan Studi Literatur

Tahap persiapan bertujuan untuk memudahkan peneliti dalam menyusun tesis. Kegiatan dalam tahap ini adalah :

1. Mengumpulkan studi literatur mengenai model *Water Balance* menggunakan model hujan aliran HEC-HMS.
2. Menentukan data-data yang dibutuhkan untuk pemodelan *Water Balance* menggunakan model hujan aliran HEC-HMS.

3.3. Tahap Pengumpulan Data

- a. Data hidrologi berupa :
 - 1) Data curah hujan observasi, data hujan didapat dari BBWS Cimanuk-Cisanggarung. Data curah hujan harian DAS Cimanuk diperoleh dari tahun 2011-2018. Data hujan yang diperoleh dari pencatatan pos hujan stasiun hujan Bayongbong, stasiun hujan Leuwingitiis, stasiun hujan Jatigede, dan stasiun hujan Cikajang.
 - 2) Data debit harian DAS Cimanuk diperoleh dari BBWS Cimanuk-Cisanggarung pada tahun 2011-2018. Data debit yang diperoleh berupa data debit pencatatan pos duga air Cipasang.
- b. Data Klimatologi terdiri dari temperatur, kecepatan angin, kelembaban relatif, dan penyinaran matahari. Data klimatologi diperoleh dari data online BMKG yang diunduh di website resmi BMKG (<http://dataonline.bmkg.go.id/>).
- c. Data spasial berupa :
 - 1) Peta DEM, batas DAS Cimanuk dan koordinat pos hujan dan pos duga air diperoleh dari BBWS Cimanuk-Cisanggarung.
 - 2) Tata guna lahan diperoleh dari website kementerian kehutanan (<http://appgis.dephut.go.id/appgis/download.aspx>). Sedangkan peta jenis tanah diperoleh dari website <https://www.wawanhn.com/2015/05/download-peta-tanah-skala-250000.html> yang merupakan data yang bersumber dari Puslit Tanah dengan skala 1:250.000 dan sistem sungai diperoleh dari BBWS Cimanuk-Cisanggarung.

- d. Data teknis dan kapasitas tampungan Waduk Jatigede diperoleh dari BBWS Cimanuk Cisanggarung.

3.4. Penyusunan Skenario Alokasi Air Waduk Jatigede

Waduk Jatigede merupakan waduk multifungsi yang direncanakan dapat mengatasi permasalahan sumber daya air di DAS Cimanuk. Pembangunan waduk Jatigede berfungsi sebagai pengendali banjir, pasokan air bersih, sumber energi listrik, dan pasokan air irigasi di daerah irigasi Rentang. Berdasarkan kondisi eksisting pengoperasian waduk jatigede belum beroperasi sesuai dengan rencana karena masih terdapat pembangunan fasilitas pendukung.

Dalam penelitian ini akan dilakukan beberapa skenario alokasi pembagian air di waduk Jatigede apabila volume tampungan waduk mencapai elevasi pelimpah (+247 m). Kebutuhan air untuk air baku dan pembangkit listrik berdasarkan data perencanaan pembangunan waduk Jatigede dalam jumlah yang konstan. Sedangkan simulasi pengoperasian waduk untuk masing-masing skenario dilakukan untuk memperoleh potensi air untuk irigasi yang dapat disediakan waduk. Potensi air irigasi yang disediakan waduk berdasarkan alokasi pemanfaatan air waduk pada masing-masing skenario. Skenario alokasi air waduk jatigede seperti pada Tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1. Skenario Alokasi Air Waduk Jatigede

SKENARIO	ALOKASI AIR			
	PLTA	AIR BAKU	IRIGASI	BANJIR
1			√	√
2		√	√	√
3	√		√	√
4	√	√	√	√

Sumber : Hasil Analisa, 2020

3.5. Pengolahan Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini berupa data curah hujan harian lapangan, data debit harian, data klimatologi harian dan spasial DAS Cimanuk.

1. Data Curah hujan

Data curah hujan lapangan yang digunakan diambil dari data stasiun hujan yang tersebar di DAS Cimanuk Hulu. Data Hujan diambil dari pencatatan hujan di sta. hujan Jatigede, sta. hujan Bayongbong, sta. hujan Cikajang, dan sta. hujan Leuwengitiis. Dari data beberapa stasiun hujan tersebut, diolah menjadi data curah hujan rerata wilayah menggunakan metode polygon Thiessen.

2. Data Klimatologi

Data klimatologi yang digunakan diambil dari data online BMKG di stasiun klimatologi Jatiwangi. Data klimatologi BMKG dapat diperoleh dari website resmi BMKG (<http://dataonline.bmkg.go.id/>). Data klimatologi yang diperoleh berupa data suhu harian, kelembaban relatif harian, kecepatan angin harian, dan penyinaran matahari harian. Data klimatologi digunakan untuk menghitung nilai evapotranspirasi DAS menggunakan metode Panman modifikasi.

3. Data Spasial

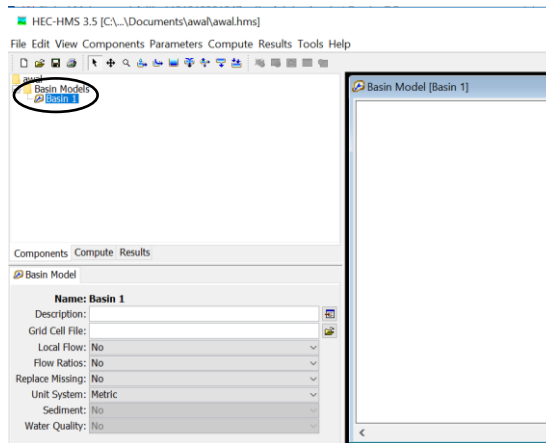
Data spasial berupa batas DAS, peta tata guna lahan, peta jenis tanah, dan peta DEM. Dari Peta DEM dapat diperoleh info karakteristik DAS Cimanuk seperti, kemiringan sungai, profil sungai, panjang sungai, topografi dan luas DAS. Dari data spasial tersebut digunakan untuk menghitung nilai *curve number*, *impervious*, *initial abstraction*, dan *Lag time*.

3.6. Pemodelan *Water Balance* Menggunakan *HEC-HMS*

Dalam melakukan pemodelan hujan aliran menggunakan HEC-HMS terlebih dahulu menyusun komponen-komponen penyusun DAS Cimanuk Hulu. Berikut langkah-langkah dalam pemodelan menggunakan HEC-HMS:

3.6.1. Menyusun Parameter dan *Initial Condition*

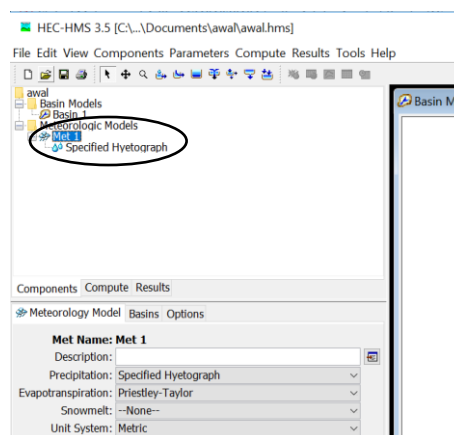
1) *Basin Model*



Gambar 3.2. *Basin Model*

Basin model merupakan langkah awal pemodelan menggunakan HEC-HMS. Dalam *basin model* terdapat penyusunan sistem DAS berupa elemen-elemen seperti *reach*, *reservoir*, *subbasin*, *sink*, *diversion*, *source*, dan *junction*. Setelah elemen penyusun DAS telah selesai dibangun, selanjutnya pemilihan metode dan pengisian parameter berdasarkan metode yang digunakan.

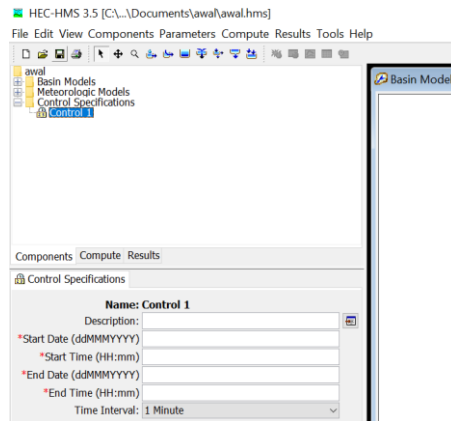
2) *Meteorologic models*



Gambar 3.3. *Meteorologic models*

Meteorologic models berisi data sebaran stasiun hujan dan data evapotranspirasi DAS.

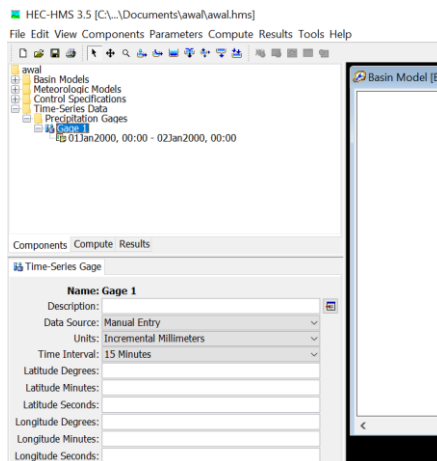
3.6.2. *Control Specifications*



Gambar 3.4. *Control specifications*

Control specifications berisi interval waktu simulasi untuk memulai maupun mengakhiri hitungan (*running*) data. Pada penelitian ini interval waktu yang digunakan saat awal simulasi dan kalibrasi mulai tanggal 1 Juli 2011 hingga 31 Desember 2014.

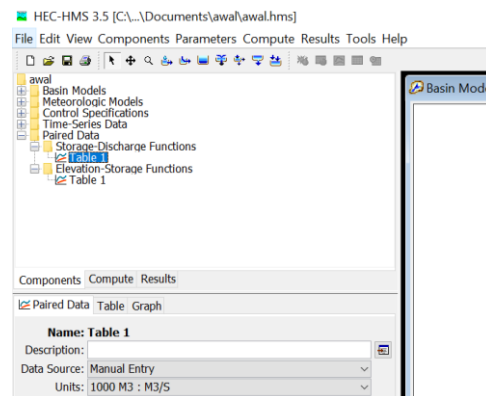
3.6.3. *Time-series Data*



Gambar 3.5. *Time-series data*

Time-series data berisi input data time series seperti data debit, data hujan, temperatur, radiasi matahari, tampungan air, kecepatan angin, tekanan udara, evapotranspirasi dll. *Time-series data* yang digunakan pada penelitian ini berupa time series hujan, debit, dan evapotranspirasi.

3.6.4. Paired data



Gambar 3.6. Paired data

Paired data berisi pasangan data seperti hidrograf satuan. Seperti halnya pada *time series data* pemilihan penggunaan *paired data* diinput berdasarkan kebutuhan data sesuai dengan parameter yang telah disusun pada *basin models* dan *meteorologic model* sebelumnya. Pada penelitian ini menggunakan *paired data storage discharge*.

3.6.5. Running Model

Running model merupakan proses mensimulasikan DAS yang telah dibangun dalam HEC-HMS untuk menghasilkan debit model. Output HEC-HMS dalam bentuk grafik dan tabel.

3.6.6. Kalibrasi

Kalibrasi merupakan pengecekan debit hasil simulasi HEC-HMS dengan debit observasi di lapangan. Debit model diharapkan mendekati debit lapangan. Semakin mendekati 1 nilai NSE dari model maka semakin baik model yang disusun. Apabila nilai NSE belum mendekati 1 maka perlu melakukan *trial error* dengan mengubah nilai parameter *curve number*, *canopy*, *surface*, *impervious*, *baseflow*, *koefisien manning*, dan *initial abstraction* pada model.

Trial error dilakukan hingga memperoleh nilai NSE paling optimum. Setelah dilakukan kalibrasi model akan divalidasi dengan menggunakan parameter yang sama namun pada data yang berbeda.

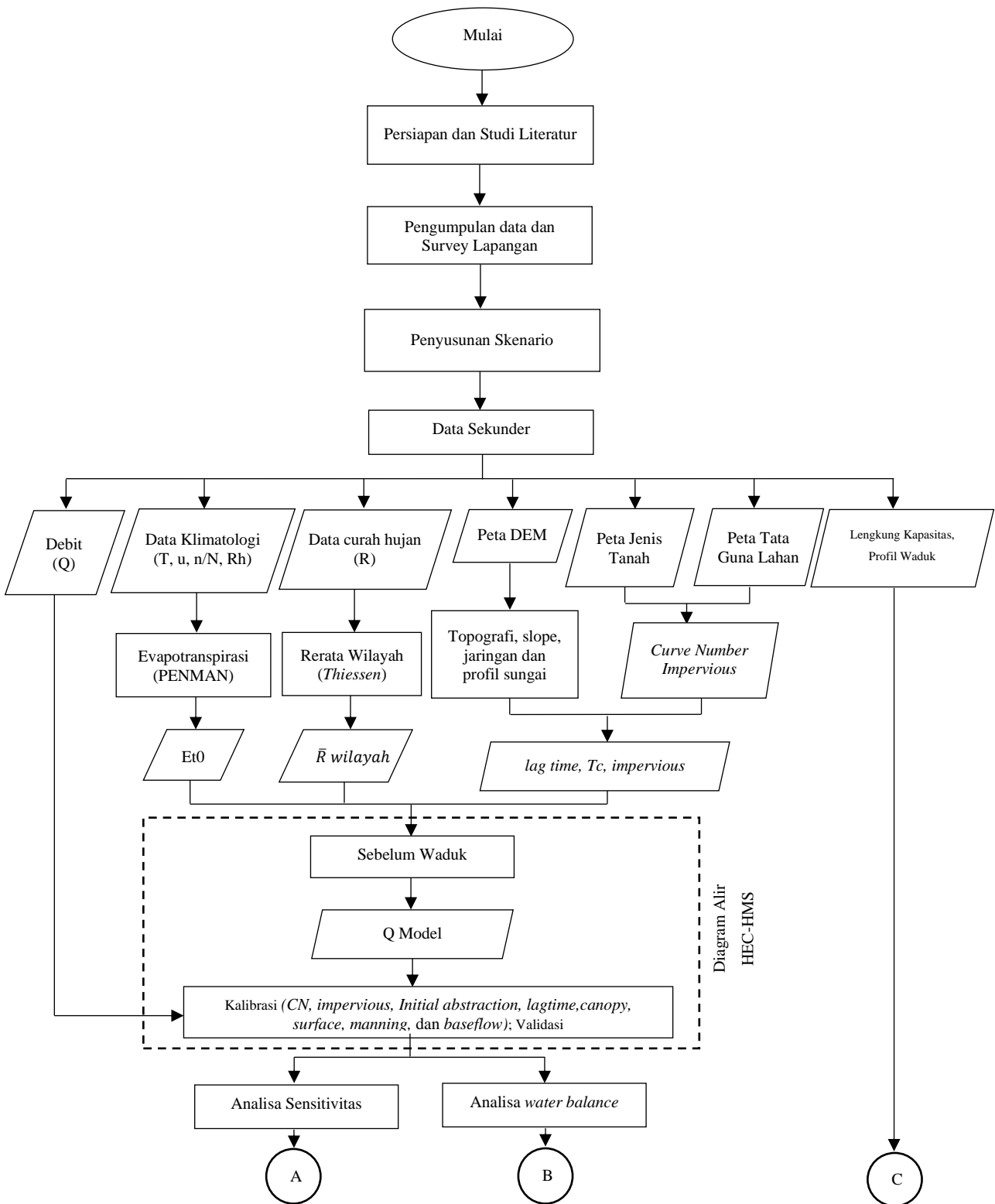
3.6.7. Validasi

Validasi bertujuan untuk mengetahui tingkat kesesuaian parameter-parameter yang digunakan pada proses kalibrasi. Pada penelitian ini validasi dilakukan pada tahun 2016-2018.

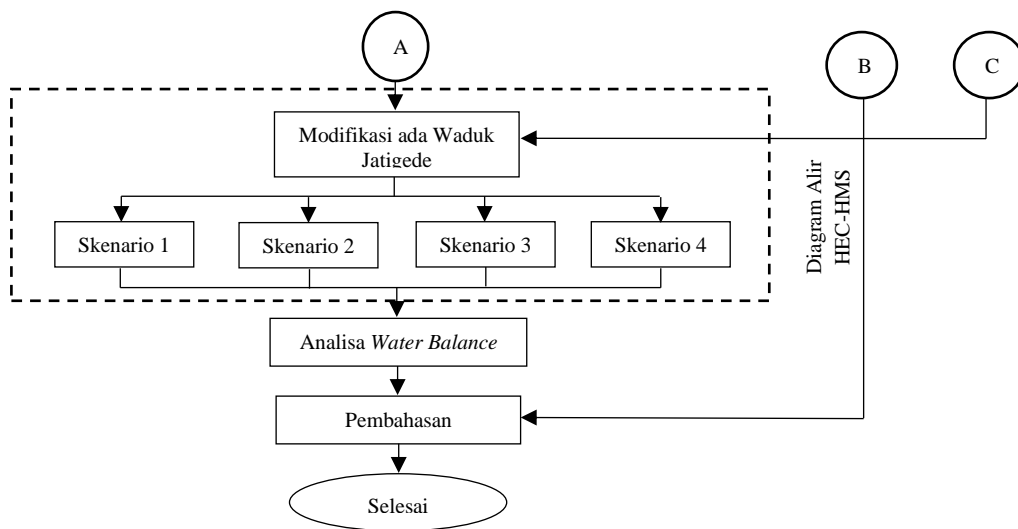
3.6.8. Analisa Sensitivitas

Analisa sensitivitas digunakan untuk mengetahui parameter yang paling sensitif terhadap hasil simulasi. Analisa sensitivitas dilakukan dengan cara mengubah salah satu parameter dengan tetap berpedoman pada parameter optimum saat kalibrasi. Perubahan nilai parameter dimulai dari -50% hingga 50% dengan interval 10%. Analisa sensitivitas dilakukan pada model terhadap perubahan parameter dengan persentase perubahan yang konstan.

3.7. Flowchart Penelitian

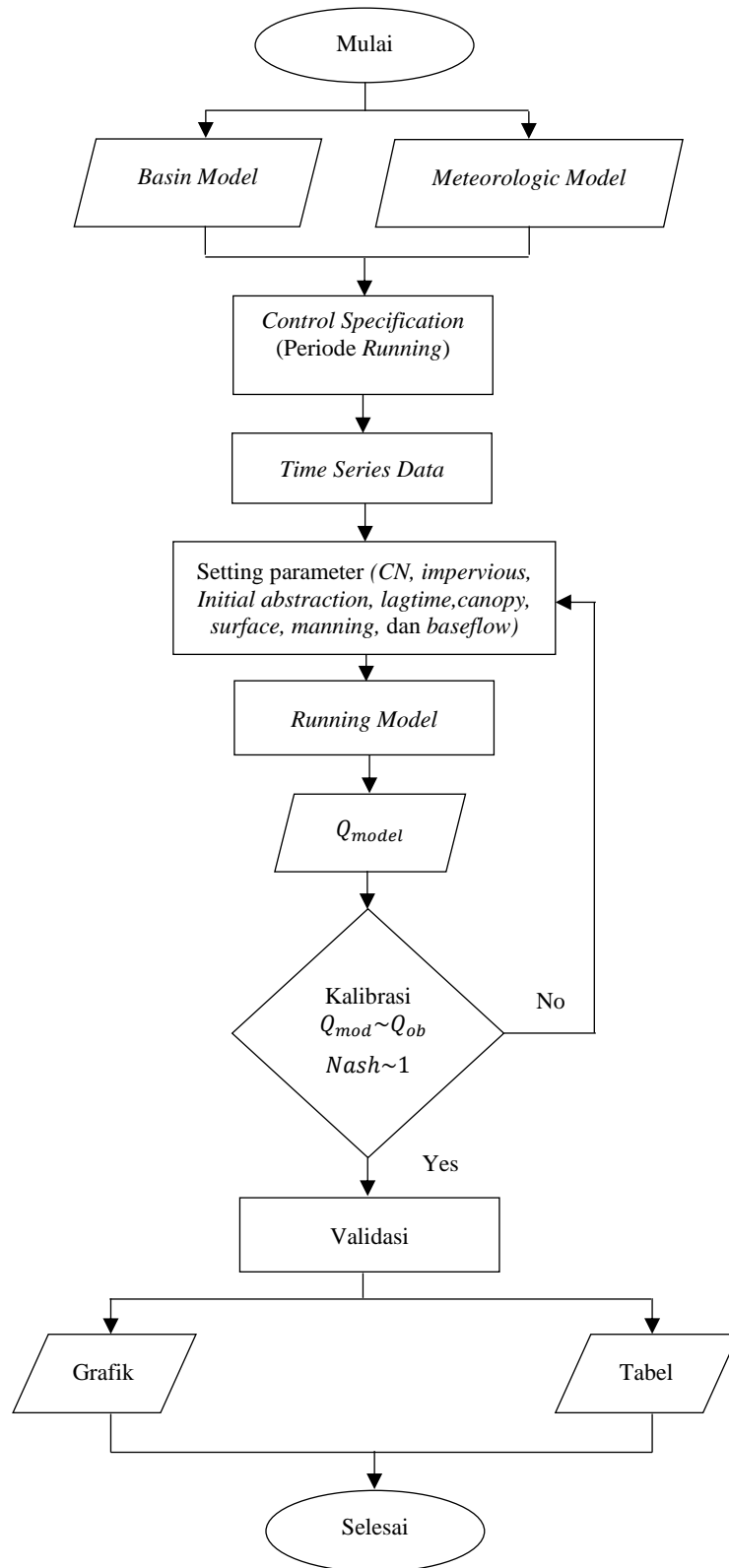


Gambar 3.7 a. Flowchart Penelitian



Gambar 3.7 b. *Flowchart* Penelitian

3.8. Flowchart HEC-HMS



Gambar 3.8. Flowchart HEC-HMS

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

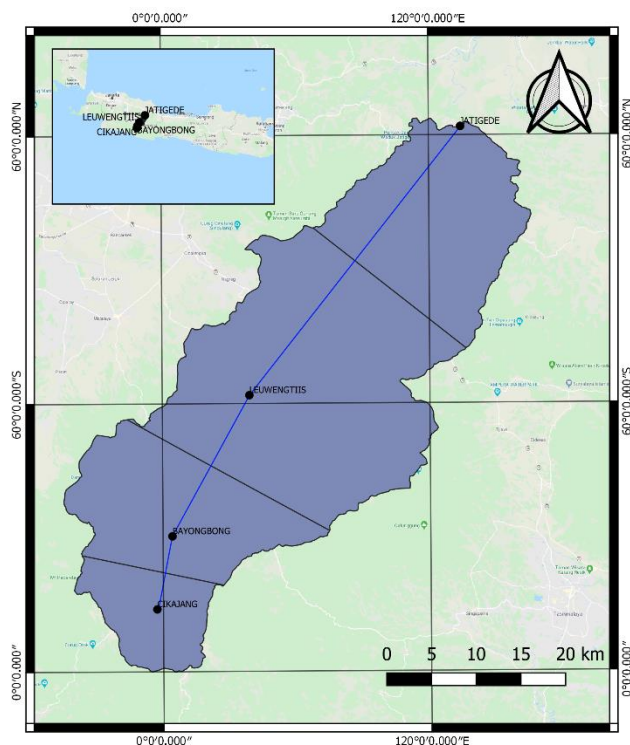
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini berupa data hidrologi harian (curah hujan dan debit), data klimatologi harian (kecepatan angin, suhu, lama penyinaran matahari, dan kelembaban relatif), profil Sungai Cimanuk, data teknis Waduk Jatigede dan lengkung kapasitas waduk, dan data spasial (peta DEM, peta tataguna lahan, dan peta jenis tanah).

4.1.1. Data Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil pencatatan hujan dari empat stasiun hujan yang memiliki histori pencatatan hujan delapan tahun terakhir. Stasiun hujan yang digunakan yaitu stasiun hujan Cikajang, stasiun hujan Bayongbong, stasiun hujan Leuwengitiis, dan stasiun hujan Jatigede. Data hujan yang digunakan adalah data hujan harian tahun 2011, 2012, 2013, 2014, 2016, 2017, dan 2018. Sebelum menghitung hujan rerata wilayah harus memastikan kelengkapan data hujan tanpa ada data yang hilang. Untuk melengkapi data hujan yang hilang dilakukan prediksi kekosongan data menggunakan metode normal ratio. Setelah data hujan lengkap, maka data hujan dapat dihitung menjadi rerata hujan wilayah menggunakan metode *polygon thiessen*.



Gambar 4.1 Polygon Thiessen (Hasil Analisa, 2020)

Tabel 4.1. Bobot Thiessen

Stasiun	Luas	Koefisien Thiesen
Bayongbong	295.885	0.203
Cikajang	129.567	0.089
Jatigede	343.766	0.236
Leuwingitiis	688.046	0.472
jumlah	1457.263857	1

Sumber : Hasil Analisa

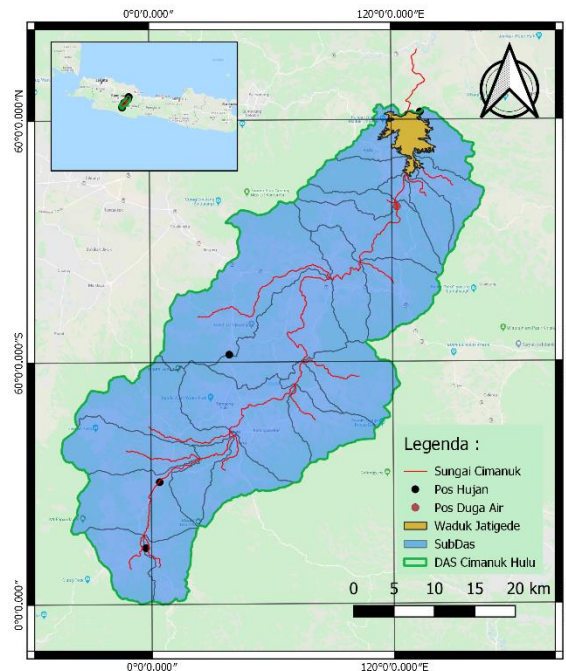
4.1.2. Data Klimatologi

Data klimatologi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data hasil pencatatan dari stasiun klimatologi Jatiwangi. Data klimatologi yang diperoleh berupa data harian yang diunduh dari “website data online BMKG”. Sepertihalnya dengan data curah hujan, dilakukan pengecekan terhadap kelengkapan data klimatologi. Untuk melengkapi data yang hilang dilakukan perhitungan kelengkapan data menggunakan metode normal ratio seperti data curah hujan, hanya saja pada data klimatologi dibandingkan secara temporal. Data klimatologi

yang kosong akan dibandingkan dengan data klimatologi pada tanggal dan bulan yang sama pada tahun yang berbeda. Setelah data lengkap, data klimatologi digunakan untuk menghitung nilai evapotranspirasi harian.

4.1.3. Data Spasial

Data Spasial yang digunakan berupa data DEM, peta tataguna lahan, dan peta jenis tanah. Peta DEM dianalisa menggunakan GIS untuk memperoleh informasi karakteristik DAS seperti jaringan sungai, profil sungai, panjang sungai, kemiringan lereng, slope, kontur, *delinasi subchachment* (subbasin), dan luas DAS. Peta tataguna lahan, peta jenis tanah dan batas subbasin dioverlay menggunakan alat bantu GIS untuk mendapatkan nilai CN komposit setiap subbasin. Kemiringan sungai, panjang sungai dan profil sungai Cimanuk digunakan untuk input pada *routing model* pada saluran.

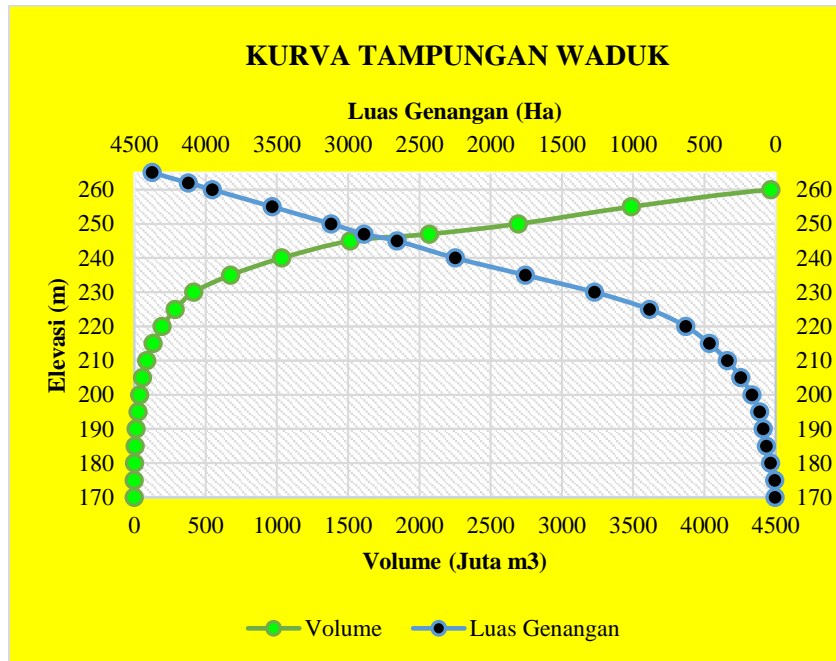


Gambar 4.2 Peta DAS (Hasil Analisa, 2020)

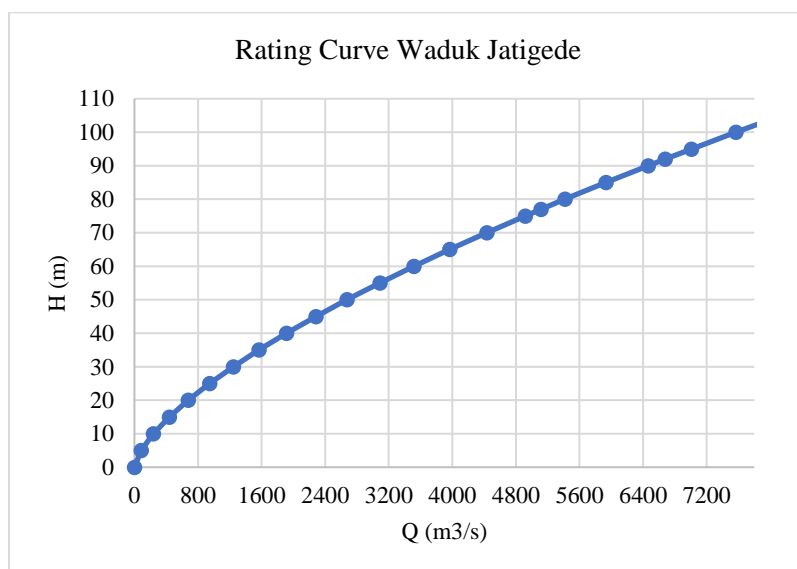
4.1.4. Data Teknis dan Lengkung Kapasitas Waduk Jatigede

Data Teknis waduk Jatigede digunakan untuk setting outflow pada *element reservoir*. Sedangkan lengkung kapasitas waduk Jatigede digunakan untuk perhitungan *rating curve spillway* dan data input model dengan pengoperasian

fungsi waduk. Perhitungan *rating curve spillway* berdasarkan rumus 2.21 dengan lebar efektif bendung 62 m, koefisien limpasan 0,122 dan tinggi mengacu pada elevasi lengkung kapasitas waduk.



Gambar 4.3 Gambar Lengkung Kapasitas Waduk (BBWS Cimanuk-Cisanggarung)



Gambar 4.4 Gambar Rating Curve Waduk Jatigede (Hasil Analisa, 2020)

4.2. Penyusunan Model Hujan Aliran Menggunakan HEC-HMS

Struktur pembangunan model menggunakan HEC-HMS terdiri dari enam komponen yang memiliki beberapa metode. Pada penelitian ini menggunakan metode yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut

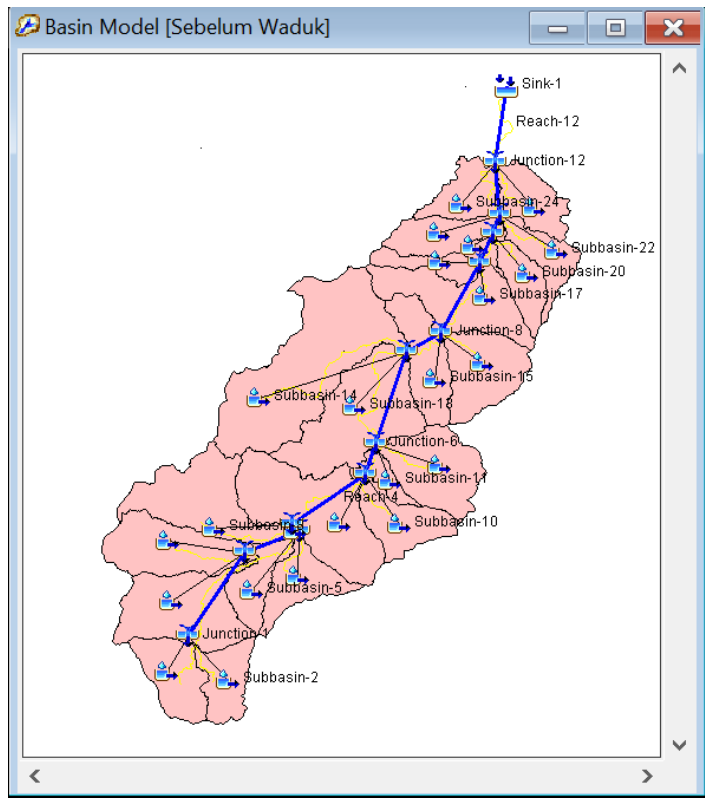
Tabel 4.2. Metode yang Digunakan

Model	Metode
Precipitation	<i>specified hyetograph</i>
Evapotranpiration	<i>Specified evapotranspiration</i>
<i>Runoff-Volume Models</i>	SCS CN
<i>Direct runoff Models</i>	SCS UH
<i>Channel Routing Models</i>	<i>Kinematic Wave</i>
<i>Baseflow Models</i>	<i>Constant monthly</i>

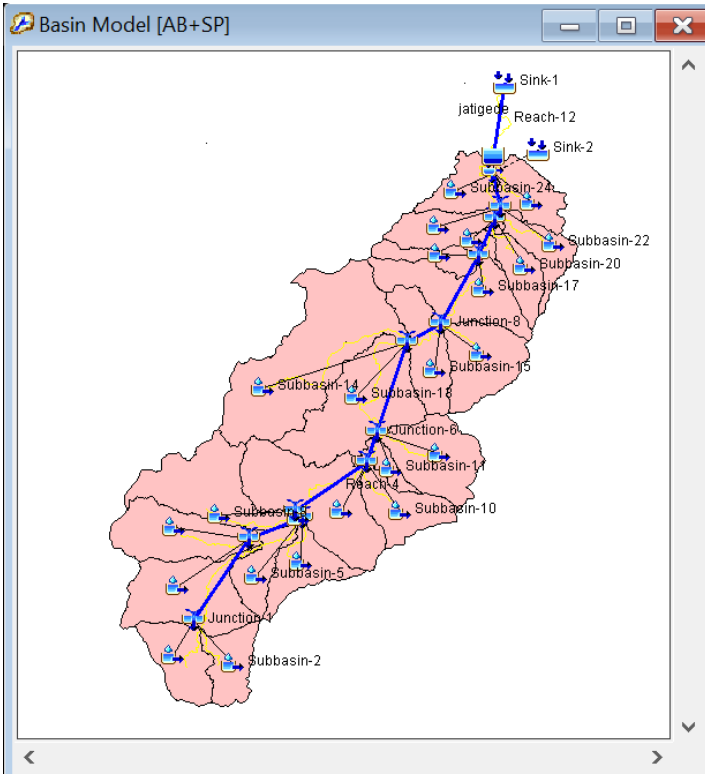
Sumber : Hasil Analisa, 2020

4.2.1. Penyusunan Basin Model

Penyusunan basin model merupakan salah satu tahap penting dalam analisa sistem hidrologi menggunakan model HEC-HMS. Pada tahap ini, terdiri dari penyusunan elemen-elemen yang dapat mempresentasikan fisik DAS di alam. *Element-elemnt* penyusun DAS diantaranya berupa *subbasin*, *reach*, *reservoir*, *junction*, *diversion*, *source*, dan *sink*. Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 menunjukkan basin model DAS Cimanuk bagian hulu. DAS Cimanuk Hulu dibagi menjadi 24 subbasin berdasarkan topografi DAS. Proses delinasi menjadi beberapa subbasin menggunakan alat bantu GIS. Waduk Jatigede yang digambarkan pada model berupa *element reservoir* yang berada pada hilir DAS. Pada simulasi sebelum ada waduk, waduk Jatigede berada pada element *junction-12*.



Gambar 4.5 Basin model sebelum ada Waduk Jatigede



Gambar 4.6 Basin Model setelah ada Waduk Jatigede

4.2.2. Parameter yang Digunakan pada Basin Model

Elemen subbasin pada HEC-HMS hanya memiliki *inflow* dan hanya satu *outflow*. *Outflow* dari subbasin diperoleh berdasarkan data hujan yang mengalami proses di DAS seperti kehilangan (infiltrasi, dan evaporasi), mengubah hujan berlebih (*transform*), dan penambahan aliran dasar (*baseflow*). Sedangkan elemen *reach* merupakan elemen dengan satu atau lebih *inflow* yang berasal dari elemen lain dalam model. *Outflow* berasal dari total *inflow* dan perhitungan saluran berdasarkan simulasi aliran terbuka pada saluran atau sungai. Parameter yang digunakan pada penelitian ini terdapat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3. Parameter yang Digunakan

Element	Komponen	Metode	Parameter
Subbasin	Canopy	Simple canopy	Initial storage
			Max storage
	Surface	Simple surface	Initial storage
			Max storage
	Loss	SCS CN	Initial Abstraction
			Curve Number
Impervious			
	<i>transform</i>	SCS UH	Time Lag SCS
	<i>Baseflow Method</i>	Constant monthly	Debit aliran dasar
Reach	<i>Reach routing method</i>	Kinematic Wave	koef.manning

Sumber : Hasil Analisa, 2020

4.2.2.1. Canopy Method

Canopy method pada subbasin merepresentasikan keberadaan tanaman yang ada di DAS. Tanaman menghalangi presipitasi (hujan) yang akan jatuh di permukaan tanah. Air hujan yang tertahan tanaman mengalami evapotranspirasi. Evapotranspirasi potensial digunakan untuk mengosongkan penyimpanan di *canopy*. *Initial storage* merupakan persentase penyimpanan *canopy* yang penuh air pada awal simulasi. Pada penelitian ini *initial storage* diasumsikan 0 karena awal simulasi dimulai bulan Juli yang bertepatan pada bulan kering sehingga belum ada penyimpanan. Sedangkan *storage canopy* merupakan jumlah

maksimum air yang dapat ditahan pada daun sebelum jatuh ke permukaan. Pada penelitian ini *max storage* pada awal simulasi diasumsikan 1,270 mm (vegetasi umum).

Tabel 4.4. *Canopy Interception*

Vegetasi	<i>Canopy Interception</i> (mm)
Vegetasi umum	1,270
Rumput dan deciduous trees	2,032
Pohon dan coniferous trees	2,540

Sumber : Moriasi dalam (Ouedraogo, Raude dan Gathenya, 2018)

4.2.2.2. *Surface Method*

Surface method pada subbasin mempresentasikan kemampuan permukaan tanah pada DAS dalam menyimpan air. Hujan yang jatuh langsung ke permukaan tanah akan mengalami infiltrasi jika permukaan hanya berupa tanah seperti halnya pada sawah, sedangkan apabila air jatuh pada permukaan tertutup seperti jalan dan parkir maka kemampuan menyimpan air tanah 0. Limpasan permukaan akan terjadi jika laju presipitasi melebihi laju infiltrasi. *Initial storage* merupakan persentase penyimpanan permukaan tanah pada awal simulasi. *Initial storage* pada penelitian ini diasumsikan 0 karena awal simulasi bertepatan pada bulan kering. Sedangkan *storage* merupakan jumlah maksimum air yang dapat tertampung dalam permukaan tanah sebelum terjadi limpasan permukaan. *Maximum Storage* pada simulasi awal penelitian ini diasumsikan sebesar 6,35 mm berdasarkan *slope* DAS Cimanuk Hulu mayoritas diantara 5-30%.

Tabel 4.5. *Surface Depressiion Storage*

Uraian	<i>Slope</i> (%)	<i>Surface Storage</i> (mm)
Aspal	NA	3,18 – 6,35
Datar	0-5	50,8
Sedang	5-30	6,35-12,7
Curam	>30	1,02

Sumber : Moriasi dalam (Ouédraogo, Raude dan Gathenya, 2018)

4.2.2.3. *Loss Method*

Loss method menyimulasikan kehilangan air di DAS dari hujan menjadi limpasan permukaan. Model akan menyimulasikan proses kehilangan air hujan karena penggunaan lahan dan jenis tanah melalui proses infiltrasi dan evapotranspirasi sebelum akhirnya menjadi limpasan langsung. Pada penelitian ini menggunakan metode SCS CN. Metode SCS CN menggunakan parameter *initial abstraction*, CN, dan *impervious*. Perhitungan nilai *initial abstraction*, CN, dan *impervious* berdasarkan persamaan 2.14 - 2.16.

Perhitungan CN komposit tidak boleh mencakup daerah kedap air. Perhitungan CN komposit menggunakan nilai *curve number* pada Tabel 2.8 – 2.11 berdasarkan tutupan lahan dan jenis tanahnya. Nilai *curve number* menunjukkan besar limpasan yang akan terjadi, apabila nilai *curve number* 100 menunjukkan bahwa air hujan akan menjadi limpasan sepenuhnya dan kondisi DAS buruk.

Perhitungan nilai *impervious* seperti halnya perhitungan CN komposit, akan tetapi hanya menghitung daerah kedap air dan menggunakan nilai persentase *impervious* pada Tabel 2.8. tutupan lahan yang berupa daerah kedap air pada peta tutupan lahan yang diperoleh hanya berupa permukiman dengan luas kurang dari 1/8 hektar, sehingga persentase *impervious area* sebesar 65 %. Nilai 65% menunjukkan area *impervious* pada daerah permukiman tersebut. Semakin besar nilai *impervious*, maka semakin besar limpasan permukaan yang dihasilkan. Nilai dari masing-masing parameter pada setiap subbasin terdapat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6. Nilai Parameter *Loss Method*

Subbasin	CN	Impervious (%)	Ia (mm)
1	71,487	65	20,262
2	64,465	65	28,003
3	58,411	65	36,171
4	55,862	65	40,138
5	60,634	65	32,981
6	70,818	65	20,933
7	63,000	65	29,835
8	52,804	65	45,404
9	65,282	65	27,017
10	60,512	65	33,150
11	65,232	65	27,076
12	43,577	65	65,776
13	43,103	65	65,776
14	63,224	65	29,549
15	55,082	65	41,426
16	64,712	65	27,702
17	71,912	65	19,842
18	66,130	65	26,018
19	73,531	65	18,286
20	69,106	65	22,711
21	72,243	65	19,518
22	66,711	65	25,349
23	41,806	65	70,713
24	72,054	65	19,703

Sumber : Hasil Analisa, 2020

4.2.2.4. *Transform method*

Transform method pada subbasin menyimulasikan proses dari hujan menjadi hidrograf aliran. Pada penelitian ini menggunakan metode SCS UH dengan menggunakan parameter *lagtime*. *Lagtime* merupakan interval waktu antara pusat massa hujan dengan saat kejadian debit puncak. Perhitungan *Lagtime* dari masing-masing sub-basin berdasarkan rumus 2.17 – 2.18. Tabel 4.7 menunjukkan nilai *lagtime* dari masing-masing *sub-basin*.

Tabel 4.7. Nilai Parameter *Transform Method*

Subbasin	TLAG (menit)
1	134,116
2	290,971
3	268,270
4	168,826
5	86,187
6	77,935
7	35,884
8	123,909
9	122,690
10	183,904
11	72,965
12	87,068
13	468,515
14	264,580
15	95,352
16	127,660
17	92,349
18	111,490
19	42,180
20	43,462
21	28,000
22	48,942
23	274,206
24	119,263

Sumber : Hasil Analisa, 2020

4.2.2.5. *Baseflow Method*

Secara konseptual elemen subbasin telah mewakili proses infiltrasi, limpasan permukaan, dan proses bawa permukaan yang berinteraksi secara bersama. *Subsurface processes* diperhitungkan melalui aliran dasar permukaan atau *baseflow*. Pada penelitian ini perhitungan *baseflow* menggunakan metode *constant monthly*. Nilai *baseflow* pada setiap bulan dianggap konstan, pada awal simulasi

menggunakan nilai debit terukur terendah selama pengukuran dari data sekunder pada periode simulasi. Debit terendah pada periode simulasi sebesar 4,78 m³/dt.

4.2.2.6. *Reach Routing Method*

Reach routing method secara konseptual mempresentasikan kondisi dari saluran sungai pada DAS. Pada penelitian ini menggunakan metode *kinematic wave*. Metode *kinematic wave* memiliki parameter *koeffisien manning* untuk dilakukan optimasi. Nilai *manning* yang digunakan pada awal simulasi yaitu 0,04 (saluran alam berkelok-kelok) sesuai dengan klasifikasi saluran alam pada buku open chanel milik ven te chow. Sedangkan untuk dimensi penampang dan kemiringan sungai diperoleh dari data DEM menggunakan alat bantu Global mapper. Setiap segmen sungai pada model dipotong melintang dan dihitung rerata dimensi penampang yang dapat mewakili dimensi sungai. Sedangkan untuk slope dari sungai dilakukakn pemotongan memanjang dari sungai. Tabel 4.8 menunjukkan dimensi, *koeffisien manning* dan *slope* dari masing-masing penggal sungai.

Tabel 4.8. Nilai Dimensi Sungai dan Parameter *Kinematic Wave*

Reach	Panjang (m)	Slope (m/m)	Manning	Shape	Width (m)	Side slope (xH:1V)
1	15110	0,0232	0,04	trapezoid	63,28	7,49
2	6620	0,0204	0,04	trapezoid	32,66	5,50
3	1120	0,0067	0,04	trapezoid	35,49	7,70
4	12490	0,0034	0,04	trapezoid	65,37	10,10
5	3660	0,0068	0,04	trapezoid	64,24	6,54
6	19080	0,0089	0,04	trapezoid	51,13	3,90
7	7490	0,0060	0,04	trapezoid	58,00	2,86
8	11520	0,0039	0,04	trapezoid	55,28	2,36
9	4110	0,0341	0,04	trapezoid	45,75	10,50
10	2420	0,0041	0,04	trapezoid	37,50	7,80
11	10670	0,0005	0,04	trapezoid	52,00	7,40
12	10810	0,0162	0,04	trapezoid	46,67	5,78

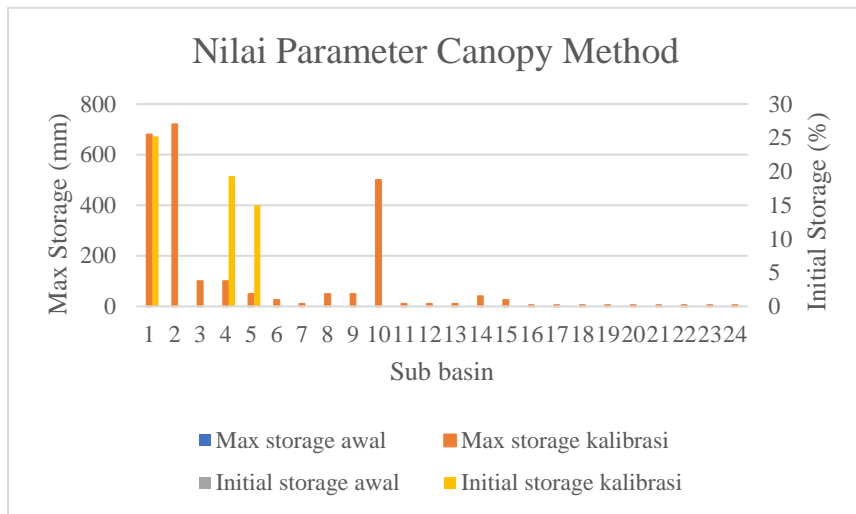
Sumber : Hasil Analisa, 2020

4.3. Kalibrasi Model

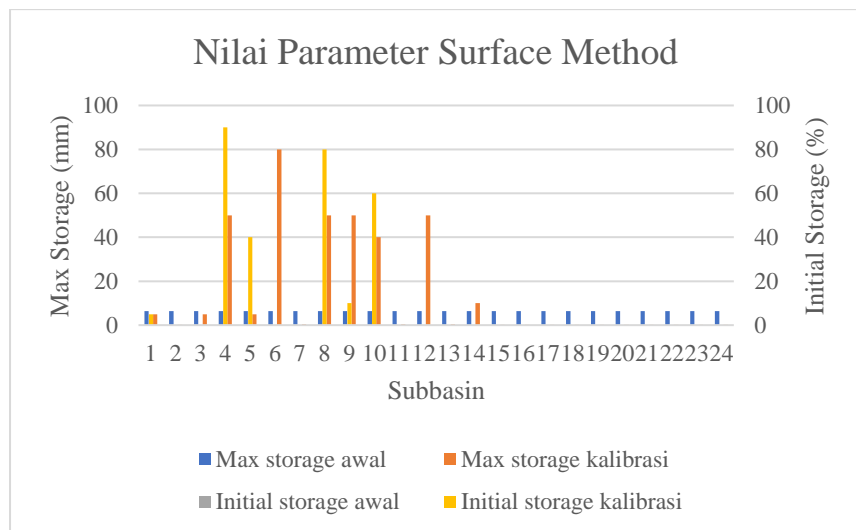
Kalibrasi bertujuan untuk menilai tingkat kepercayaan model atau tingkat akurasi model dalam mempresentasikan keadaan di alam. *Output* dari model diharapkan mendekati dengan data hasil observasi lapangan. Kalibrasi model dilakukan dengan cara *trial error*. Pada penelitian ini kalibrasi model dilakukan pada tanggal 1 Juli 2011- 31 Desember 2014 terhadap pencatatan debit harian di pos pantau debit Cipasang. Kalibrasi yang dilakukan pada model berada pada *element reach-8*.

4.3.1. Kalibrasi

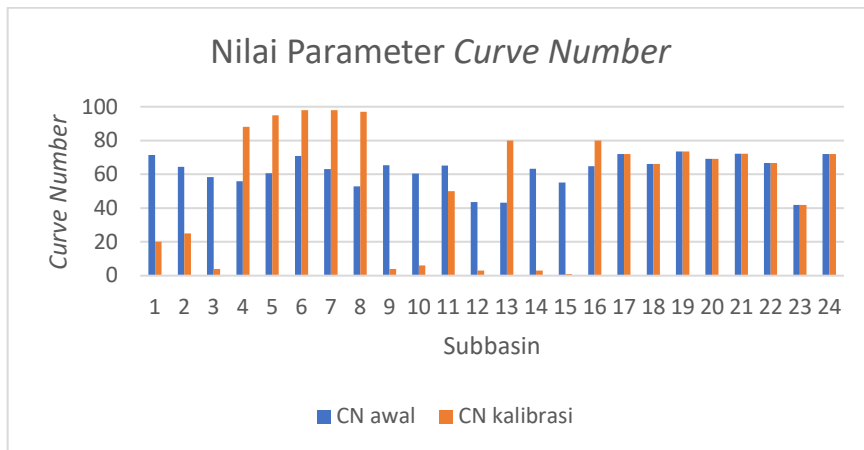
Hasil running model sebelum kalibrasi menghasilkan nilai NSE -3,868. Untuk menghasilkan NSE yang optimum dilakukan *trial and error* terhadap parameter-parameter penyusun DAS. Debit model yang dihasilkan jauh di atas debit observasi, selanjutnya dilakukan *trial error* terhadap *baseflow* hingga memperoleh NSE -2,665. Dengan NSE -2,665 debit model masih melampaui debit observasi sehingga perlu diperbesar kehilangan air pada DAS. Dengan melakukan *trial error* terhadap nilai *initial abstraction* dapat menghasilkan nilai NSE -2,642. Selanjutnya *trial error* terhadap CN hingga nilai NSE -0,337. *Trial error* terhadap *koeffisien manning* menghasilkan nilai NSE -0,309. *Trial error* terhadap *max storage* hingga nilai NSE menjadi 0,100. *Trial error* terhadap *max surface* nilai NSE menjadi 0,376. *Trial error* terhadap *impervious* menjadi 0,440 dan yang terakhir *trial error* terhadap parameter *lagtime* mendapatkan nilai NSE 0,640 dengan RMSE 30,3. Dengan nilai NSE 0,640 model yang telah disusun cukup handal dalam mempresentasikan kondisi DAS Cimanuk Hulu di alam.



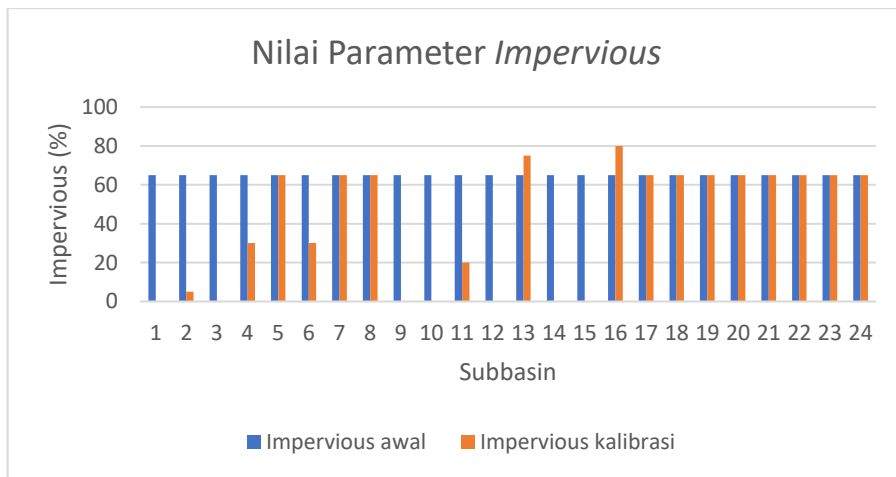
Gambar 4.7 Nilai Parameter *Canopy Method* (Hasil Analisa, 2020)



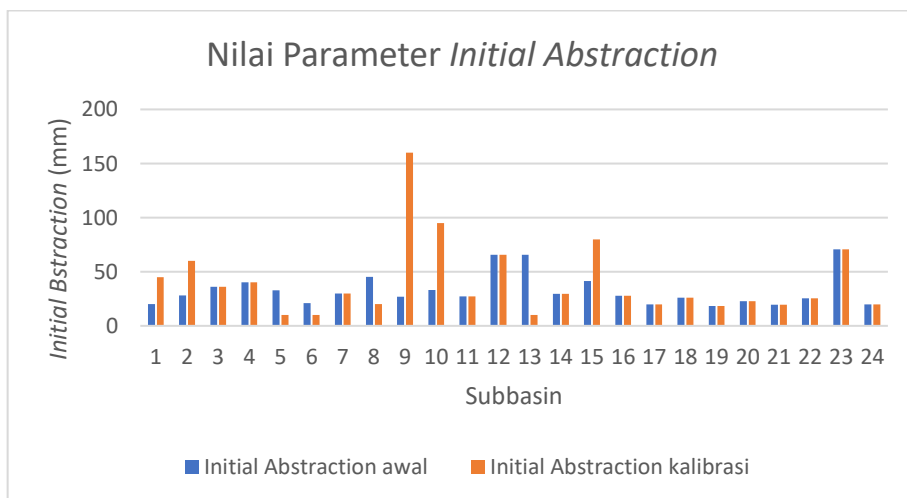
Gambar 4.8 Nilai Parameter *Surface Method* (Hasil Analisa, 2020)



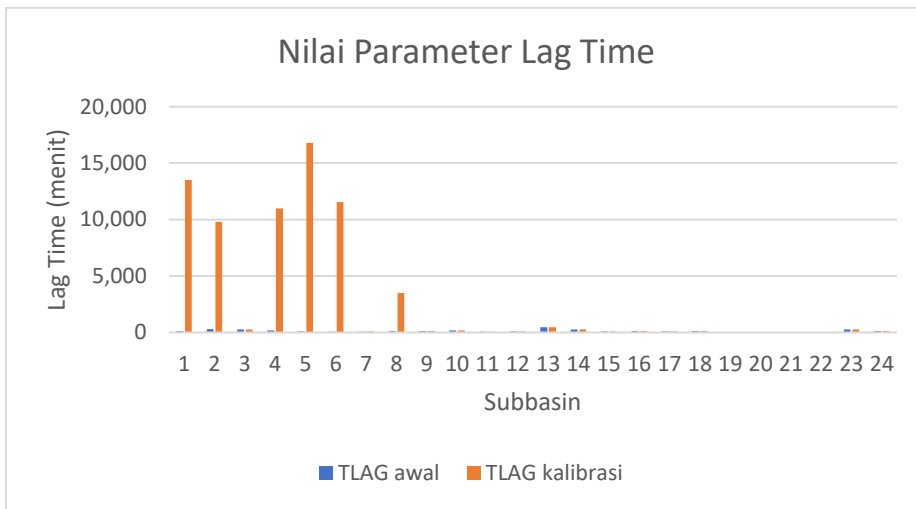
Gambar 4.9 Nilai Parameter *Curve Number* (Hasil Analisa, 2020)



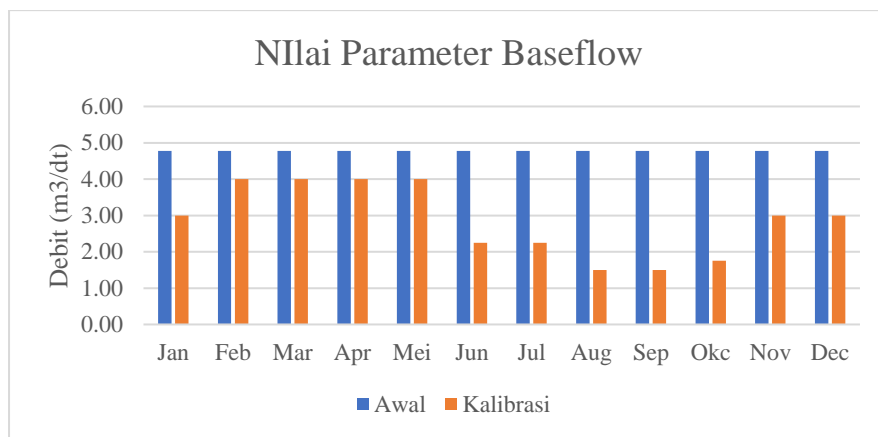
Gambar 4.10 Nilai Parameter *Impervious* (Hasil Analisa, 2020)



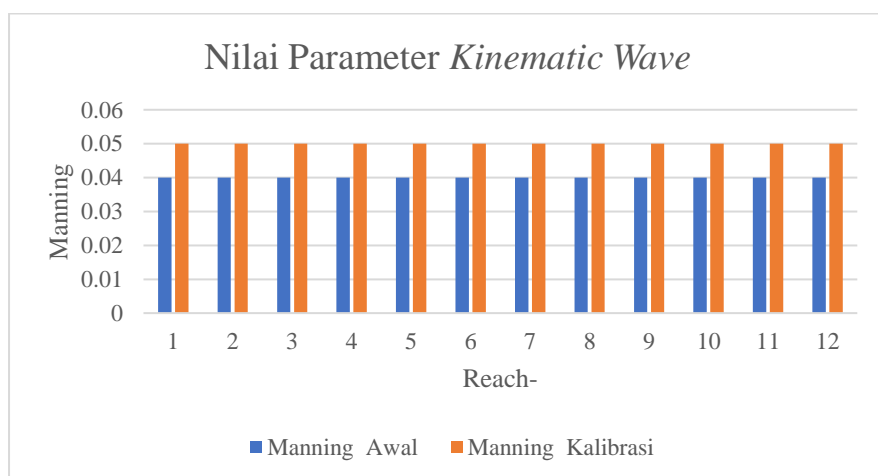
Gambar 4.11 Nilai Parameter *Initial Abstraction* (Hasil Analisa, 2020)



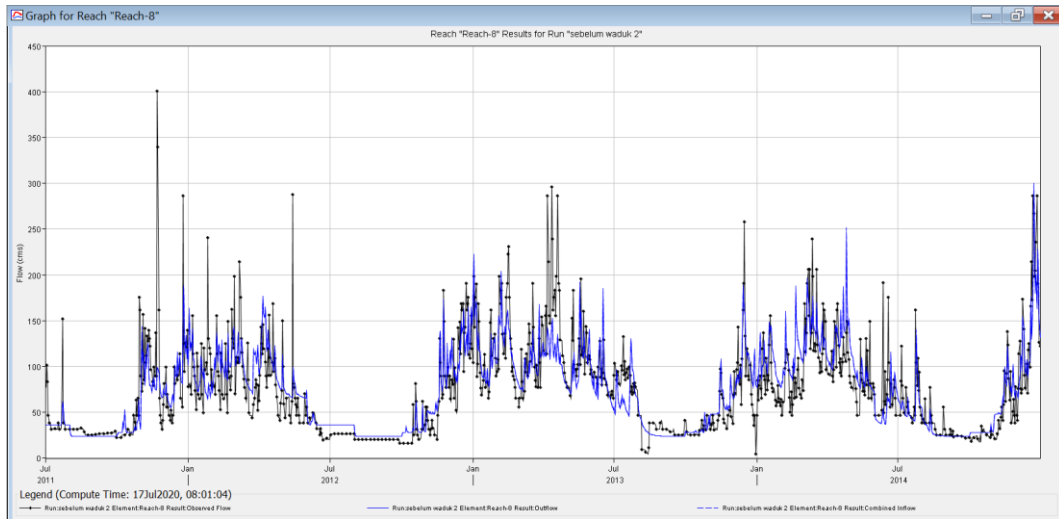
Gambar 4.12 Nilai Parameter *Lag Time* (Hasil Analisa, 2020)



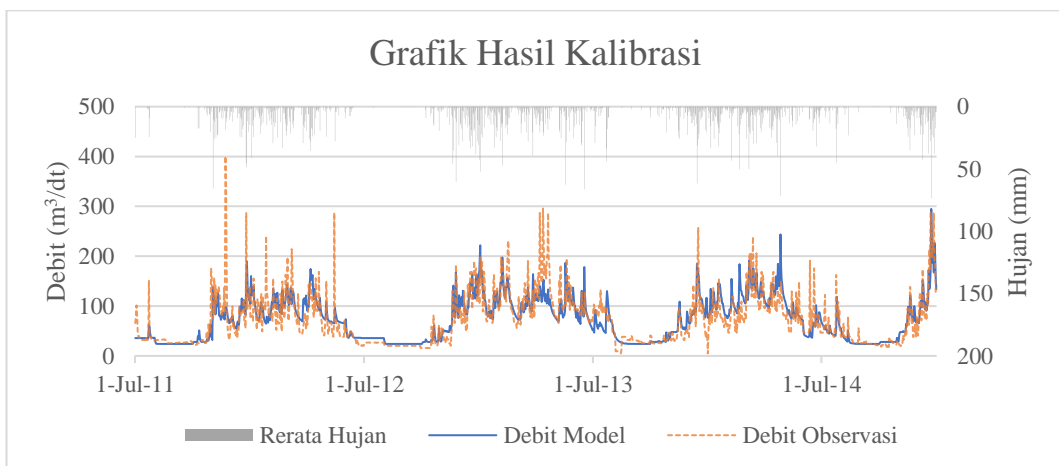
Gambar 4.13 Nilai Parameter *Baseflow* (Hasil Analisa, 2020)



Gambar 4.14 Nilai Parameter *Kinematic Wave* (Hasil Analisa, 2020)



Gambar 4.15 Grafik hasil kalibrasi HEC-HMS (Hasil Analisa, 2020)



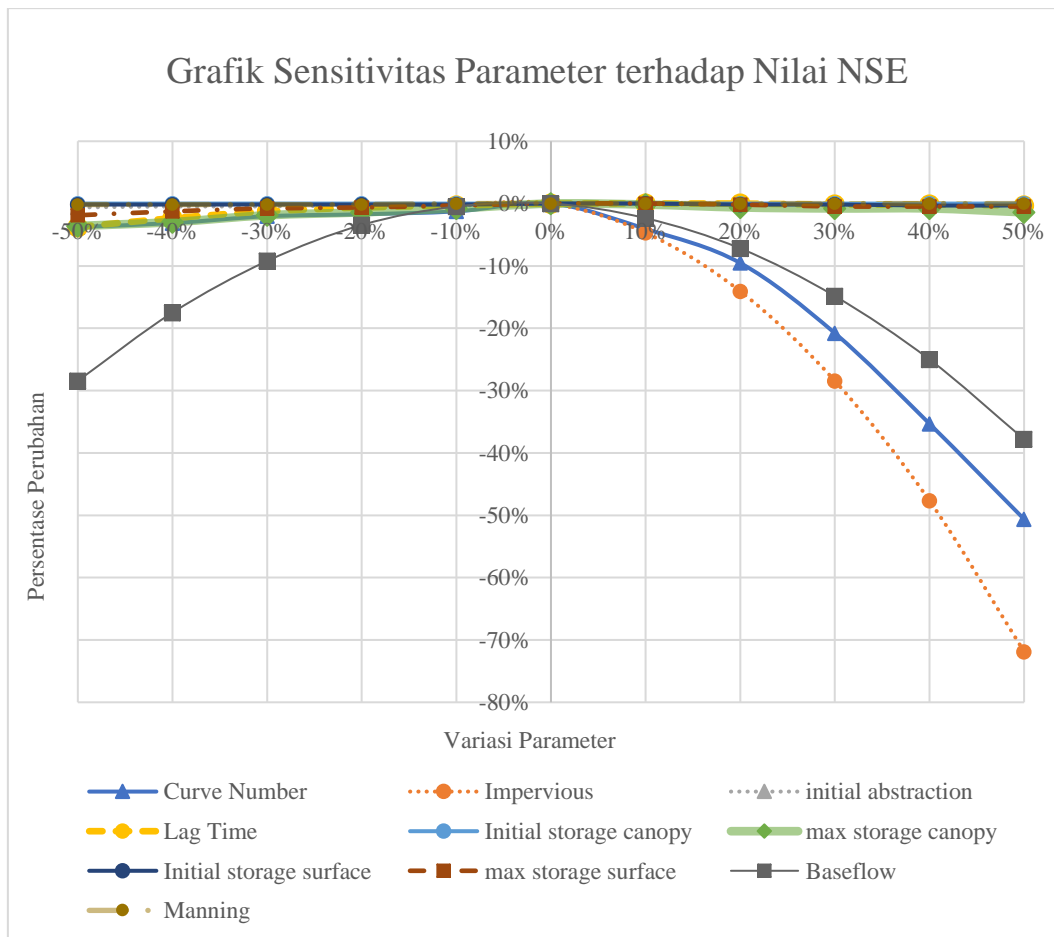
Gambar 4.16 Grafik hubungan antara data curah hujan, debit observasi dan debit model (Hasil Analisa, 2020)

Berdasarkan grafik hasil running menggunakan HEC-HMS debit model dapat mendekati trend debit observasi, tetapi hanya beberapa saat model dapat mengikuti puncak dan debit rendah. Model cenderung mengikuti trend data hujan, karena model mensimulasikan DAS berdasarkan input berupa hujan proses dalam DAS berupa infiltrasi evapotranspirasi, aliran langsung dan *baseflow* berdasarkan karakteristik DAS tanpa ada penambahan dan pengambilan air pada DAS. Dengan demikian pencatatan debit observasi yang menunjukkan adanya perbedaan trend

dengan pencatatan hujan dapat dikarenakan adanya pengambilan dan penambahan air yang terjadi di DAS.

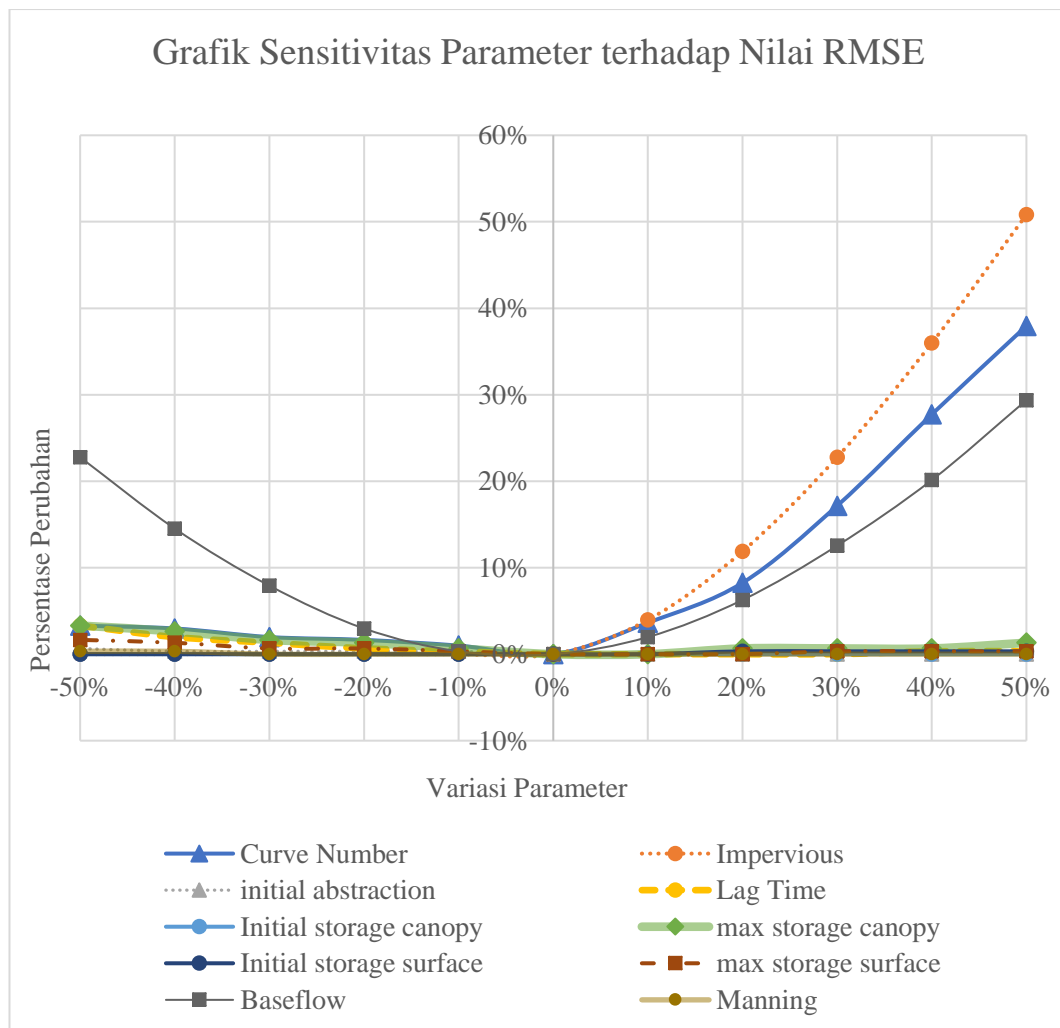
4.3.2. Analisa Sensitivitas

Analisa Sensitivitas parameter pada penelitian ini dilakukan pada model yang telah dilakukan kalibrasi. Selanjutnya, salah satu parameter dilakukan perubahan parameter dengan tetap berpedoman pada parameter optimum saat kalibrasi. Perubahan nilai parameter dimulai dari 50% hingga -50% dengan interval 10%. Analisa sensitivitas dilakukan pada model terhadap perubahan parameter dengan persentase perubahan yang konstan. Hasil simulasi dinilai berdasarkan perubahan nilai NSE, RMSE, *peak discharge*, dan volume yang dihasilkan.



Gambar 4.17 Grafik persentase perubahan NSE yang disimulasikan terhadap persentase variasi dari masing-masing parameter optimum (Hasil Analisa, 2020)

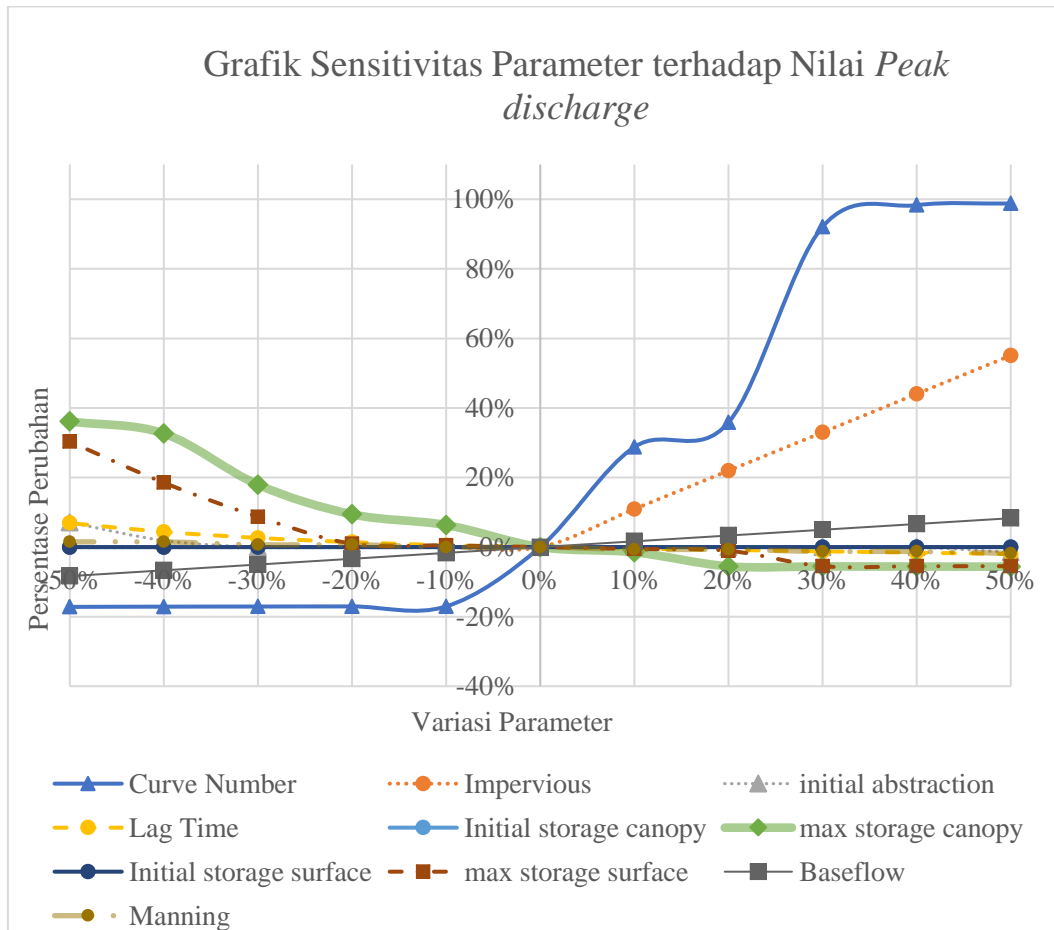
Berdasarkan hasil simulasi perubahan nilai parameter optimum terhadap perubahan NSE, diperoleh bahwa nilai NSE akan semakin kecil hingga tidak ada perubahan. Nilai NSE semakin kecil menunjukkan bahwa parameter semakin tidak dapat mewakili karakteristik dari DAS. Dengan demikian parameter hasil kalibrasi telah optimum untuk mempresentasikan kondisi DAS di lapangan.



Gambar 4.18 Grafik persentase perubahan RMSE yang disimulasikan terhadap persentase variasi dari masing-masing parameter optimum (Hasil Analisa, 2020)

Berdasarkan hasil simulasi perubahan nilai parameter optimum terhadap perubahan RMSE, diperoleh bahwa nilai RMSE akan semakin besar hingga tidak ada perubahan. Sebaliknya dari nilai NSE semakin kecil nilai RMSE menunjukkan bahwa parameter semakin tidak dapat mewakili karakteristik dari DAS. Dengan

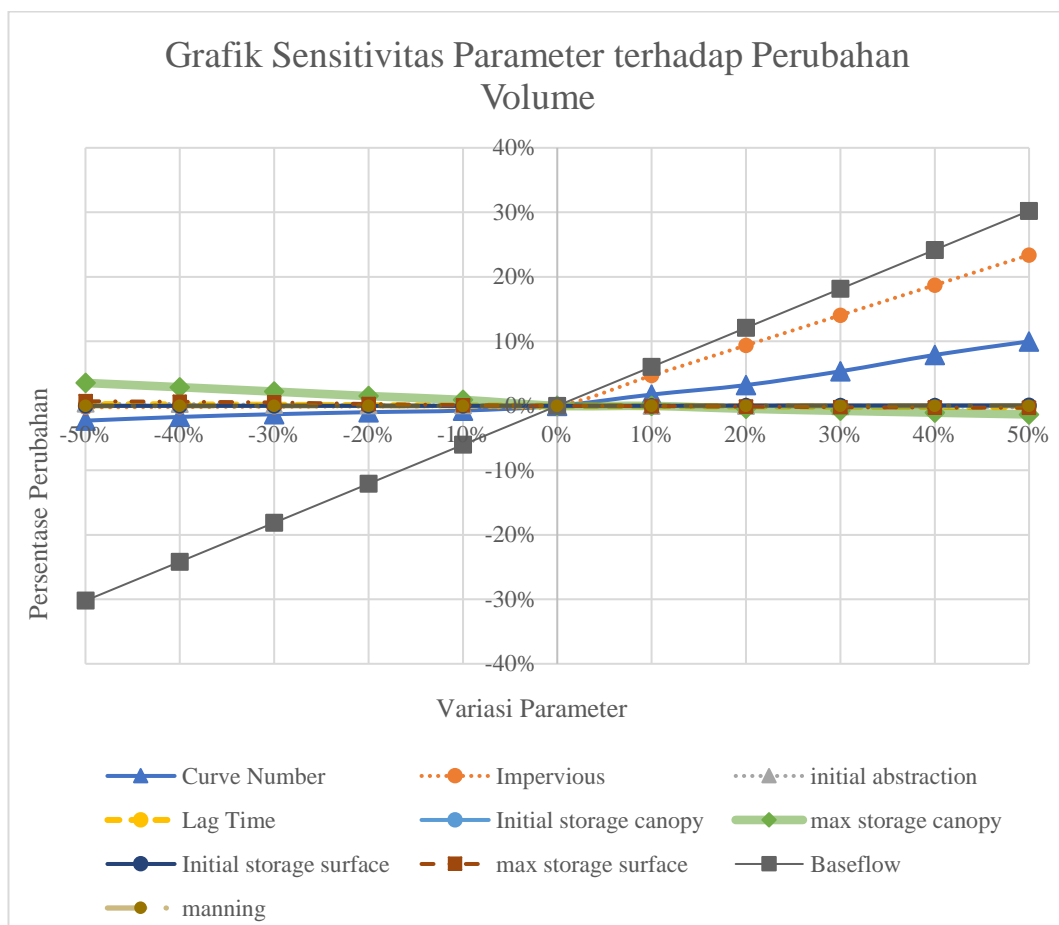
demikian parameter hasil kalibrasi telah optimum untuk mempresentasikan kondisi DAS di lapangan.



Gambar 4.19 Grafik persentase perubahan *peak discharge* yang disimulasikan terhadap persentase variasi dari masing-masing parameter optimum (Hasil Analisa, 2020)

Berdasarkan hasil simulasi perubahan nilai parameter optimum terhadap perubahan *peak discharge*, terjadi perubahan nilai *peak discharge* mulai dari penurunan hingga peningkatan yang signifikan. Dapat dilihat dari perubahan *peak discharge* dari perubahan CN, semakin besar nilai CN akan menurunnya air hujan yang terinfiltrasi dan meningkatkan laju *runoff* sehingga *peak discharge* juga akan meningkat. Begitupun dengan parameter *impervious*, semakin besar nilai *impervious* maka akan semakin sedikit air yang terinfiltrasi sehingga air hujan menjadi *runoff* dan mengakibatkan peningkatan *peak discharge*. Peningkatan nilai

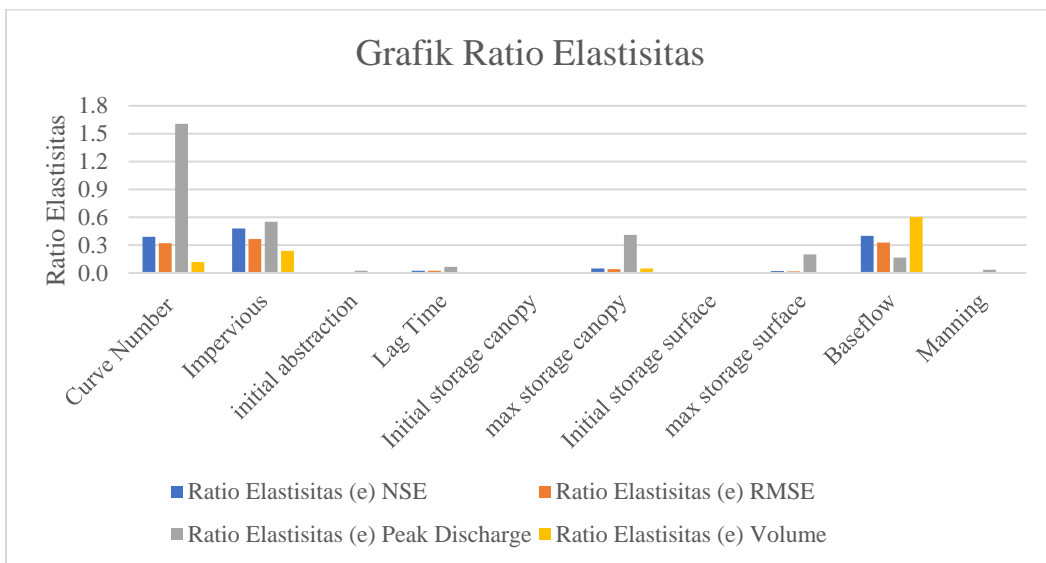
baseflow mengakibatkan bertambahnya volume air sehingga juga meningkatkan nilai *peak discharge*. Sebaliknya, peningkatan terhadap nilai *max storage surface* dan *max storage canopy* akan mengakibatkan semakin banyak air yang tertahan di tanah dan tumbuhan sehingga *peak discharge* menurun. Peningkatan nilai *manning* menunjukkan peningkatan hambatan aliran air di sungai sehingga mengakibatkan penurunan kecepatan aliran sungai yang dapat mengakibatkan penurunan *peak discharge*.



Gambar 4.20 Grafik persentase perubahan volume yang disimulasikan terhadap persentase variasi dari masing-masing parameter optimum (Hasil Analisa, 2020)

Berdasarkan hasil simulasi perubahan nilai parameter optimum terhadap perubahan volume terjadi perubahan nilai volume mulai dari menurun hingga meningkat. Dapat dilihat dari perubahan volume dari perubahan CN, semakin besar nilai CN akan menurunnya air hujan yang terinfiltrasi dan meningkatkan volume

runoff. Begitupun dengan parameter *impervious*, semakin besar nilai *impervious* maka akan semakin sedikit air yang terinfiltrasi sehingga air hujan menjadi *runoff* dan mengakibatkan peningkatan volume. Peningkatan nilai *baseflow* mengakibatkan bertambahnya volume air di saluran. Sebaliknya, peningkatan terhadap nilai *max storage surface* dan *max storage canopy* akan mengakibatkan semakin sedikit air hujan yang menjadi *runoff* (air tersimpan pada tumbuhan dan tanah) sehingga volume menurun.



Gambar 4.21 Grafik persentase perubahan volume yang disimulasikan terhadap persentase variasi dari masing-masing parameter optimum (Hasil Analisa, 2020)

Untuk mengetahui parameter yang paling sensitif terhadap perubahan nilai parameter dapat dilihat dari perhitungan rerata ratio elastisitas masing-masing parameter yang disajikan pada Gambar 4.21. Parameter yang paling sensitif terhadap NSE dan RMSE merupakan parameter *impervious*. *Peak discharge* lebih sensitif terhadap perubahan nilai parameter *curve number*. Dan yang terakhir parameter yang paling sensitif terhadap volume adalah parameter *baseflow*. Sedangkan parameter yang paling tidak sensitif terhadap NSE, RMSE, *peak discharge*, dan *baseflow* adalah parameter *initial storage canopy* dan *initial storage surface*.

4.4. Validasi Model

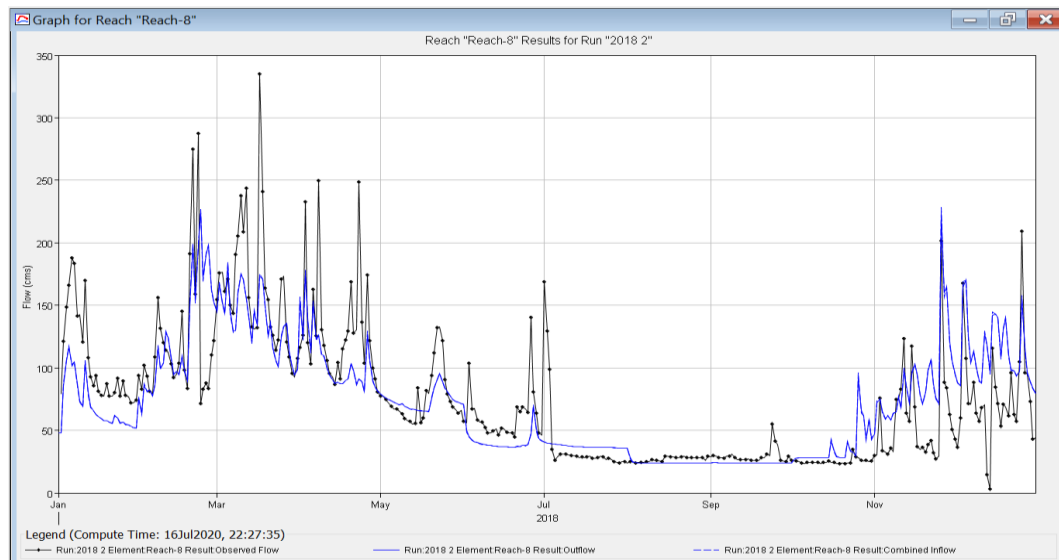
Periode validasi model dilakukan dengan menggunakan data pada tahun 2016, 2017, dan 2018. Nilai parameter karakteristik DAS menggunakan nilai parameter optimum pada periode kalibrasi. Dari hasil validasi terhadap model diperoleh nilai nash dan RMSE seperti pada Tabel 4.8 berikut

Table 4.9 Tabel Hasil Validasi

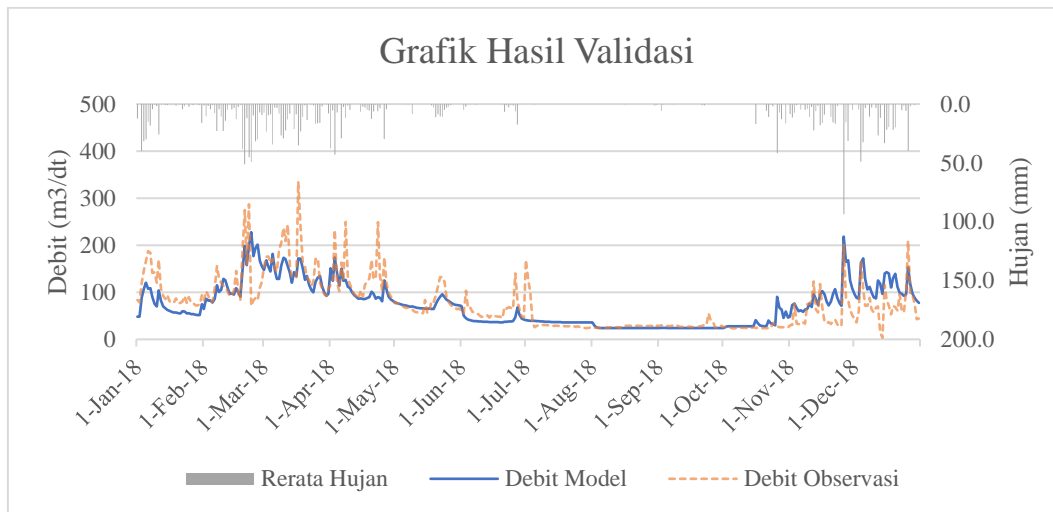
Tahun	Nash	RMSE
2016	-0,111	66,1
2017	0,468	40,6
2018	0,575	35,4

Sumber : Hasil Analisis, 2020

Berdasarkan hasil validasi terhadap model, tahun 2018 memiliki hasil terbaik dengan nilai Nash mendekati satu (1) dan nilai RMSE mendekati 0. Sedangkan data tahun 2016 menghasilkan NSE paling rendah dikarenakan tahun 2016 merupakan tahun basah yang berbeda dengan trend saat kalibrasi sehingga parameter model kalibrasi tidak cocok digunakan pada keadaan tahun basah.



Gambar 4.22 Grafik Debit model dan Debit Observasi (Hasil Model HEC-HMS, 2020)

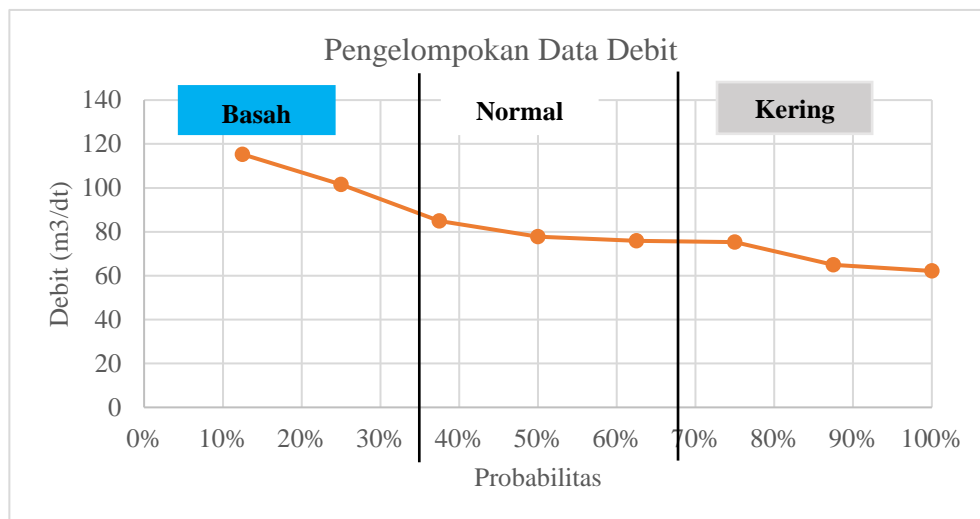


Gambar 4.23 Grafik hubungan antara data curah hujan, debit observasi dan debit model Tahun 2018 (Hasil Analisis, 2020)

Berdasarkan grafik hasil validasi debit model dapat mendekati trend debit observasi, tetapi hanya beberapa saat model dapat mengikuti puncak dan debit rendah. Model cenderung mengikuti trend data hujan karena model mensimulasikan DAS berdasarkan input berupa hujan proses dalam DAS (infiltrasi evapotranspirasi, aliran langsung dan *baseflow*) berdasarkan karakteristik DAS dan keluaran berupa aliran tanpa ada penambahan dan pengambilan air pada DAS. Pada bulan Juni yang bertepatan dengan musim kemarau, terdapat hujan dengan intensitas rendah namun debit model tidak menunjukkan adanya peningkatan debit. Hal ini dikarenakan kondisi tanah tidak banyak menyimpan air, sehingga laju infiltrasi lebih dari intensitas hujan hingga mengakibatkan berkurangnya limpasan yang menyumbang debit sungai. Pencatatan debit observasi yang menunjukkan adanya perbedaan trend dengan pencatatan hujan dapat dikarenakan adanya pengambilan dan penambahan air yang terjadi di DAS. Selain itu dengan penggunaan rerata hujan wilayah menggunakan metode thiessen (pembobotan wilayah) juga dapat mengakibatkan perbedaan trend debit observasi terhadap trend hujan.

4.5. Simulasi Model Sebelum dan Setelah Beroperasinya Waduk Jatigede

Simulasi model baik sebelum dan setelah pengoperasian waduk Jatigede dilakukan berdasarkan prediksi model hujan aliran DAS Cimanuk Hulu dari hasil validasi terbaik. Penggunaan data prediksi untuk simulasi dikarenakan ketersediaan data *outflow* debit di bendungan Jatigede belum tersedia. Simulasi pengoperasian terhadap pintu *spillway* dan pengambilan kebutuhan air waduk Jatigede dilakukan secara konstan. Berdasarkan hasil validasi terbaik, tahun 2018 memiliki NASH dan RMSE terbaik. Pengelompokan data debit historis pencatatan di PDA Cipasang pada Gambar 4.24, tahun 2018 bertepatan dengan tahun kering.



Gambar 4.24 Grafik Pengelompokan Data Debit (Hasil Analisa, 2020)

Table 4.10 Pengelompokan Data Debit

Tahun	Debit	Probabilitas
2016	115.3118	12.50%
2017	101.5445	25.00%
2013	84.8884	37.50%
2011	77.82535	50.00%
2014	75.84373	62.50%
2018	75.29057	75.00%
2015	64.99892	87.50%
2012	62.14441	100.00%

Sumber : Hasil Analisa, 2020

4.5.1. Sebelum Ada Waduk

Sebelum beroperasinya waduk jatigede air yang mengalir dari hulu akan mengalir secara alami menuju hilir, sehingga inflow akan sama dengan outflow. Dengan demikian air permukaan tidak dimanfaatkan dengan maksimal, pada saat air melimpah akan mengalir bahkan dapat mengakibatkan banjir sebaliknya pada saat bulan-bulan kering akan mengalami kekurangan air. Oleh karena itu perlu adanya manajemen penggunaan air permukaan salah satunya dengan adanya waduk. Waduk dapat menampung air permukaan saat terjadi surplus air dan dapat dimanfaatkan saat defisit air. *Peak discharge* sebelum pengoperasian waduk Jatigede adalah $455,3 \text{ m}^3/\text{s}$ pada tanggal 26 November 2018.

4.5.2. Setelah Pengoperasian Waduk

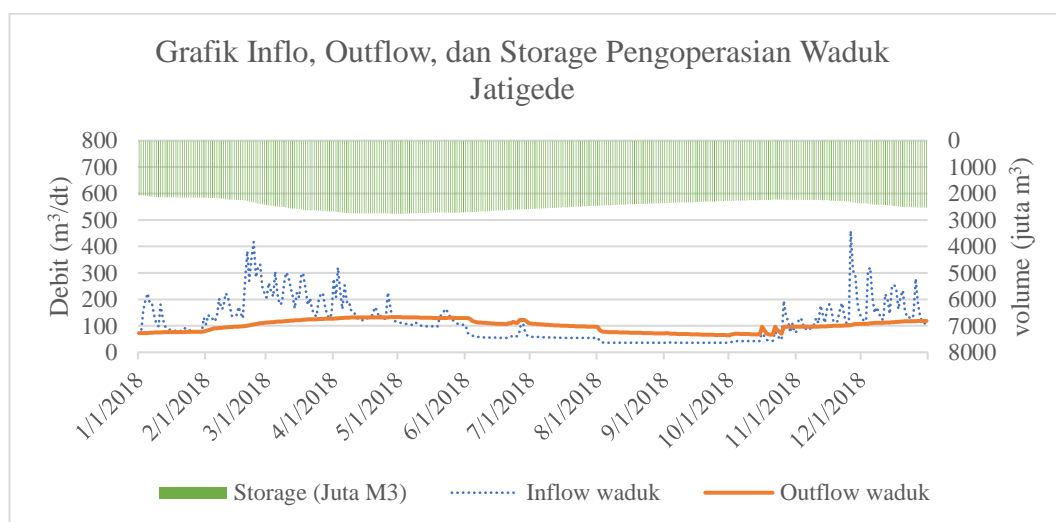
Waduk Jatigede menjadi waduk multifungsi memiliki fungsi utama sebagai pengendali banjir, suplai air baku, irigasi, dan pembangkit listrik. Waduk Jatigede memiliki tiga outlet dan satu spillway dengan empat pintu operasi tipe radial. Spillway (pelimpah) berada pada tubuh bendungan bagian tebing kanan dengan elevasi mercu +247 m. Outlet irigasi berada pada tubuh pelimpah dengan elevasi inlet +221 m. Terowongan pengelak sebagai outlet air baku berada di bawah spillway dengan elevasi inlet +164 m. Dan yang terakhir power inlet apron untuk PLTA berada di sebelah kanan timbunan bendung pada elevasi +221 m.

Simulasi pengoperasian waduk jatigede menggunakan HEC-HMS dilakukan menggunakan metode *outflow structures* dengan *initial condition* menggunakan elevasi pelimpah (+247 m). Simulasi akan dilakukan dengan empat skenario berdasarkan kombinasi pengoperasian outflow waduk untuk mengetahui keadaan air permukaan DAS Cimanuk berdasarkan metode *water balance*.

Simulasi pengoperasian waduk menggunakan HEC-HMS dengan menambahkan outlet untuk pemanfaatan air sesuai dengan fungsi waduk tidak dapat dilakukan dengan optimum. Simulasi bukaan pintu pada outlet tidak dapat dioperasikan, sehingga air akan terus mengalir melalui outlet terendah secara terus menerus selama periode simulasi. Pengoperasian tinggi bukaan pintu hanya dapat dilakukan pada spillway, sehingga pada penelitian ini, pengambilan air untuk masing-masing outlet diasumsikan telah diambil terlebih dahulu melalui *element diversion*. Pada element diversion setiap skenario di input dengan besar debit

konstan pemenuhan kebutuhan. Selanjutnya sisa dari pengambilan untuk outlet diteruskan ke waduk dan akan melimpah melalui spillway saat elevasi air mencukupi. Pengambilan air untuk kebutuhan masing-masing outlet dan pengoperasian bukaan pintu spillway dilakukan secara konstan.

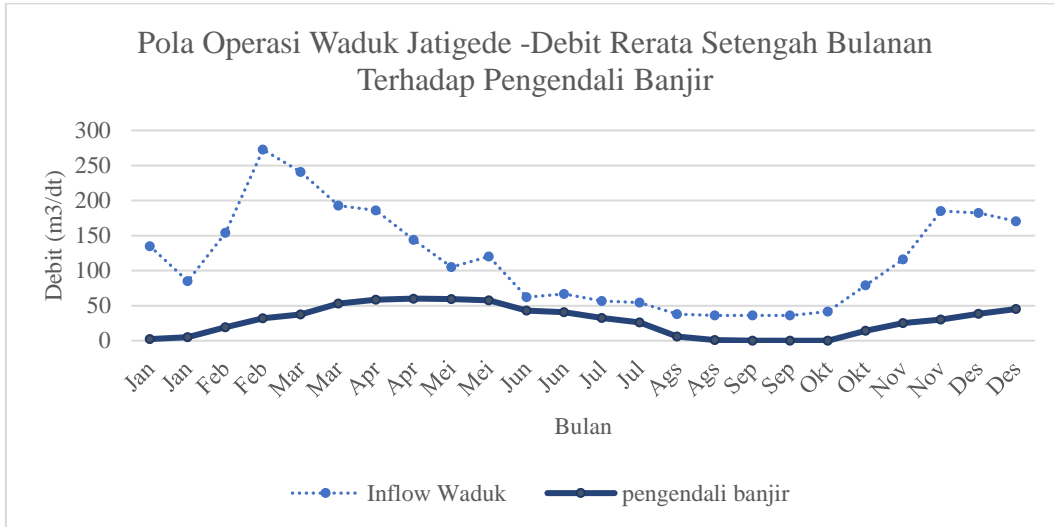
Debit yang digunakan untuk air baku sebesar $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$, PLTA memerlukan debit rerata $59,63 \text{ m}^3/\text{s}$, dan debit irigasi untuk mengairi 90.000 ha DI. Kebutuhan air untuk PLTA dan air baku berdasarkan perencanaan waduk Jatigede. Kebutuhan air untuk irigasi di waduk Jatigede disediakan berdasarkan pola tata tanamnya. Pola tata tanam yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan laporan konsultan pembangunan waduk jatigede dengan pola tanam padi-padi-palawija dengan periode setengah bulanan. Selanjutnya dilakukan simulasi pengoperasian waduk berdasarkan skenario yang telah disusun untuk mendapatkan potensi air irigasi yang dapat disediakan waduk Jatigede dan pemenuhan kebutuhan.



Gambar 4.25 Grafik Hubungan Inflow, Outflow, dan Storage Setelah Pengoperasian Waduk (Hasil Analisis, 2020)

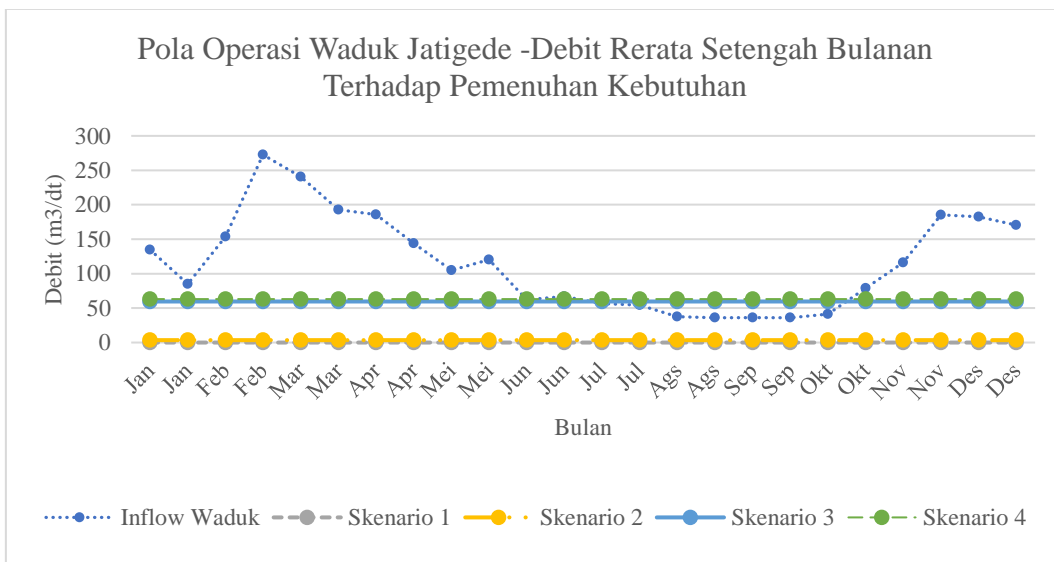
Berdasarkan Gambar 4.25 pengoperasian waduk Jatigede untuk air baku, PLTA, dan pengendali banjir dapat terkendali dan dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan target pemanfaatan waduk Jatigede. Selain itu, waduk Jatigede juga masih dapat memiliki potensi untuk memenuhi kebutuhan air irigasi. Debit puncak yang mengalir melalui sungai Cimanuk dapat direduksi dengan penampungan debit

di waduk dan dapat digunakan saat bulan-bulan kering. *Peak discharge* setelah pengoperasian waduk Jatigede adalah $132,8 \text{ m}^3/\text{s}$.



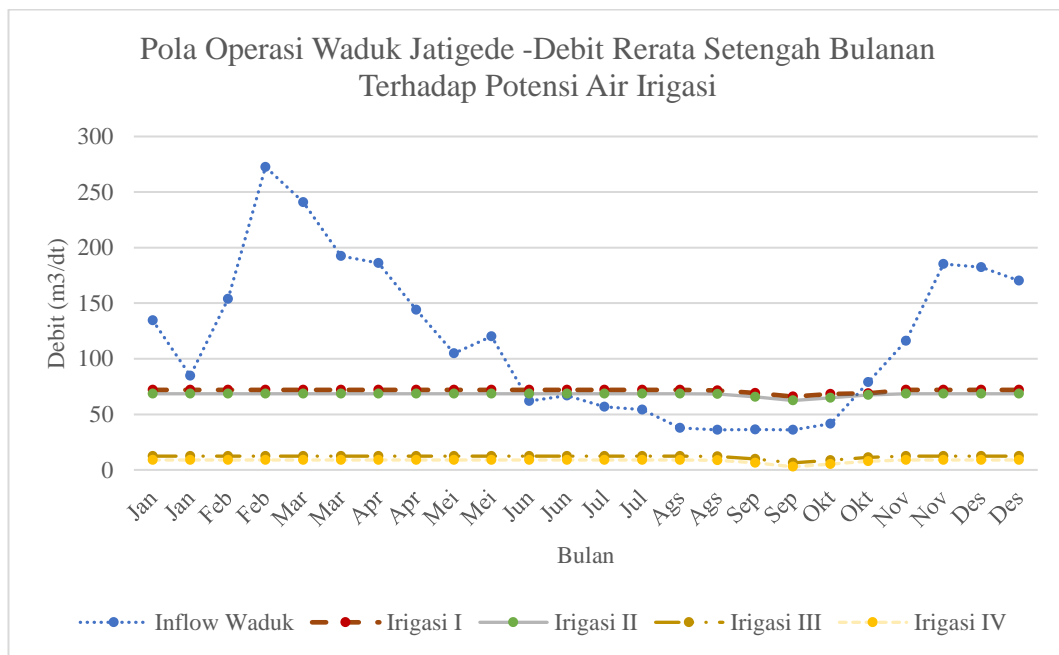
Gambar 4.26 Grafik Pola Operasi Waduk Jatigede Pengendali Banjir (Hasil Analisis, 2020)

Berdasarkan Gambar 4.26 pengendalian banjir waduk Jatigede dilakukan berdasarkan kondisi inflow dan elevasi tampungan waduk. Saat inflow tinggi maka air yang dikeluarkan melalui spillway akan tinggi, begitupun sebaliknya.



Gambar 4.27 Grafik Pola Operasi Waduk Jatigede untuk Pemenuhan Kebutuhan (Hasil Analisis, 2020)

Berdasarkan Gambar 4.27 simulasi pengoperasian waduk Jatigede berdasarkan keempat skenario dapat memenuhi masing-masing kebutuhan air dengan debit konstan. Untuk skenario 1 pengambilan untuk pemenuhan kebutuhan $0 \text{ m}^3/\text{dt}$ karena waduk disimulasikan hanya untuk pengendali banjir dan perhitungan potensi air untuk irigasi. Skenario 2 untuk pemenuhan air baku sebesar $3,5 \text{ m}^3/\text{dt}$. Skenario 3 untuk pemenuhan PLTA sebesar $59,63 \text{ m}^3/\text{dt}$. Dan skenario 4 untuk pemenuhan kebutuhan air baku dan PLTA sebesar $63,1 \text{ m}^3/\text{dt}$.



Gambar 4.28 Grafik Pola Operasi Waduk Jatigede untuk Potensi air Irigasi (Hasil Analisis, 2020)

Berdasarkan Gambar 4.28, waduk Jatigede masih dapat menyediakan air untuk irigasi berdasarkan masing-masing skenario. Pada bulan Agustus II hingga Oktober II debit ketersediaan air untuk irigasi pada semua skenario menurun, hal ini bertepatan dengan bulan kering (musim kemarau) sehingga ketersediaan air sedikit, untuk memenuhi kebutuhan air diperoleh dari air yang tersimpan di waduk. Namun dilihat berdasarkan pola tata tanam bulan Juli I hingga November I merupakan masa bercocok tanam untuk tanaman palawija sehingga lebih sedikit memerlukan air.

Kebutuhan air irigasi berdasarkan pada laporan hidrologi supervisi pembangunan waduk Jatigede dengan periode tanam setengah bulanan. Pola tata tanam yang digunakan adalah padi-padi-palawija dengan kebutuhan air irigasi terbesar terjadi pada masa tanam padi pada periode Juni I hingga Juli I sebesar 0,0013 m³/dt/ha. Dengan ketersediaan air irigasi yang dapat dikeluarkan oleh waduk dapat memenuhi luas daerah irigasi sebagai berikut

Table 4.11 Ketersediaan Air Irigasi dari Waduk Jatigede

Skenario	Debit (m ³ /dt)	Luas Terpenuhi (Ha)	Persentase
I	72	55.384,62	61,54 %
II	68,5	52.692,31	58,55 %
III	12,4	9.538,46	10,6 %
IV	8,9	6.846,15	7,61 %

Sumber : Hasil Analisis, 2020

4.6. Penilaian *Water Balance*

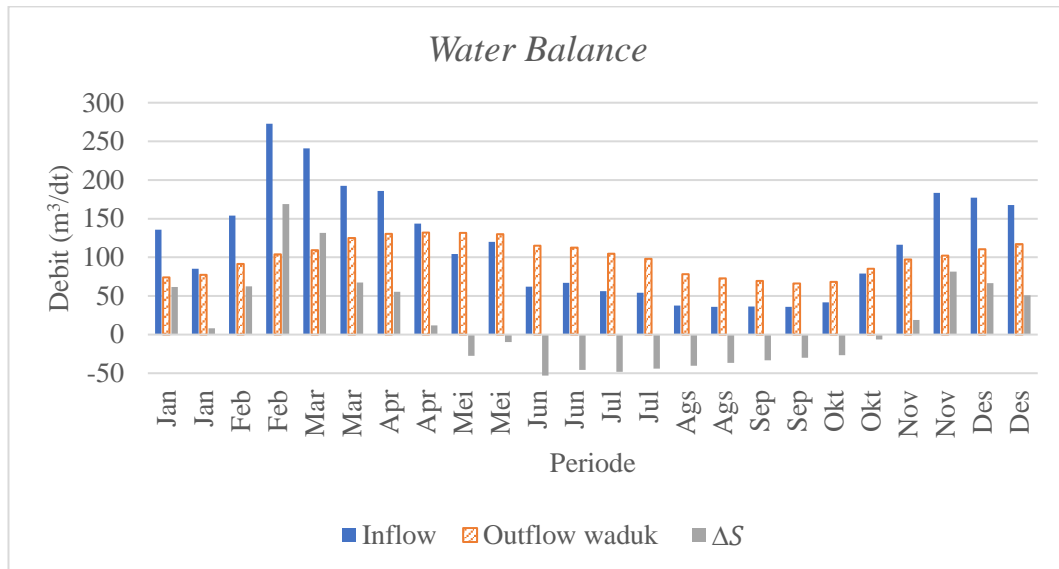
4.6.1. Sebelum Pengoperasian Waduk

Berdasarkan simulasi debit inflow dan outflow hampir tidak terjadi perubahan debit hal ini dikarenakan air permukaan di sungai Cimanuk mengalir secara alami tanpa ada pengambilan air. Kehilangan air yang terjadi sangat kecil yang dapat disebabkan karena adanya penguapan dan kehilangan air di saluran, sehingga besar debit inflow sama dengan debit outflow sungai Cimanuk.

4.6.2. Setelah Pengoperasian Waduk

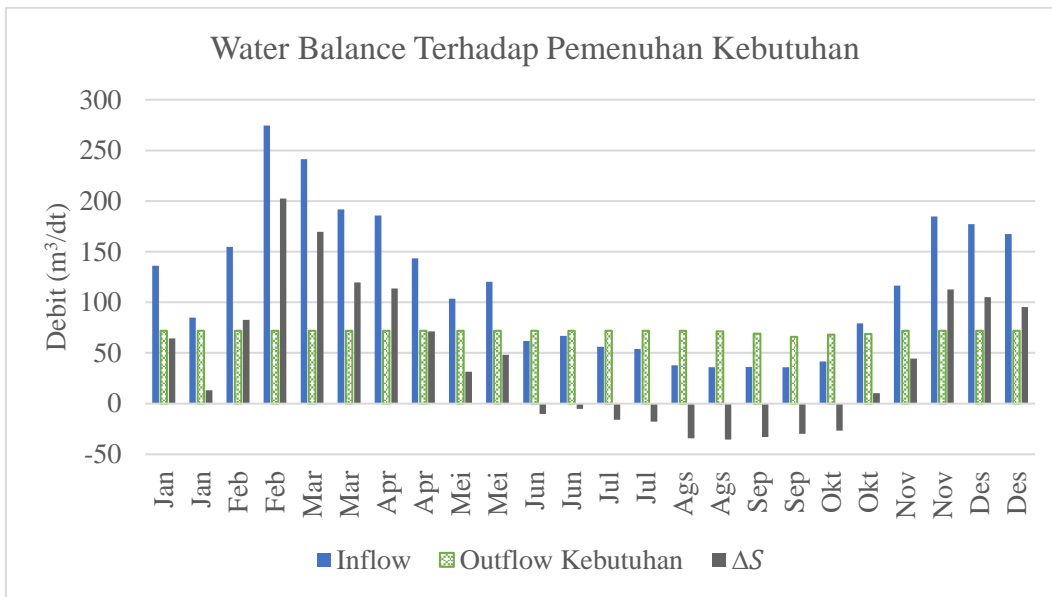
Berdasarkan hasil simulasi hujan aliran DAS Cimanuk setelah beroperasinya waduk Jatigede diperoleh neraca air pada waduk Jatigede seperti pada Gambar 4.29. Outflow waduk Jatigede berupa debit pemenuhan kebutuhan untuk air baku, PLTA, potensi irigasi dan pengendali banjir. Hasil simulasi menunjukkan pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, November, dan Desember terjadi surplus air sehingga air yang berlebih tertampung dalam waduk untuk dimanfaatkan pada bulan selanjutnya. Sedangkan bulan Mei, Juni, Juli, Agustus, Oktober, dan September terjadi defisit air karena debit inflow kurang dari debit outflow. Pada bulan-bulan ini biasanya bertepatan dengan musim kemarau

sehingga ketersediaan air lebih sedikit. Untuk memenuhi kebutuhan, maka digunakan air yang tersimpan di waduk pada bulan surplus sebelumnya.



Gambar 4.29 Grafik Water Balance Setelah Pengoperasian Waduk Jatigede (Hasil Analisis, 2020)

Berdasarkan hasil simulasi hujan aliran DAS Cimanuk setelah beroperasinya waduk Jatigede diperoleh neraca air pada waduk Jatigede terhadap debit pemenuhan kebutuhan seperti pada Gambar 4.30. Outflow waduk Jatigede berupa debit pemenuhan kebutuhan untuk air baku, PLTA, dan potensi irigasi. Hasil simulasi menunjukkan pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, Oktober II, November, dan Desember terjadi surplus air sehingga air yang berlebih tertampung dalam waduk untuk dimanfaatkan pada bulan selanjutnya. Sedangkan bulan Mei, Juni, Juli, Agustus, September, dan Oktober I terjadi defisit air karena debit inflow kurang dari debit pemenuhan kebutuhan. Pada bulan-bulan ini biasanya bertepatan dengan musim kemarau sehingga ketersediaan air lebih sedikit. Untuk memenuhi kebutuhan, maka digunakan air yang tersimpan di waduk pada bulan surplus sebelumnya.



Gambar 4.30 Grafik Water Balance Setelah Pengoperasian Waduk Jatigede Terhadap outflow Pemenuhan Kebutuhan (Hasil Analisis, 2020)

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dapat disimpulkan :

1. Hasil penelitian menunjukkan kalibrasi terhadap model menghasilkan nilai NSE 0,64 dan RMSE 30,3. RMSE dihitung berdasarkan akar dari selisih kuadrat debit model dan debit observasi dibagi jumlah data. Beberapa debit model dapat mengikuti puncak-puncak debit observasi dan sebagian belum dapat mendekati sehingga mengakibatkan kuadrat selisih debit untuk perhitungan RMSE besar. Persentase RMSE terhadap rata-rata debit observasi ($71,78 \text{ m}^3/\text{dt}$) sebesar 41,72%. Sedangkan hasil validasi terbaik pada tahun 2018 dengan NSE 0,575 dan RMSE 35,4. Dengan hasil kalibrasi dan validasi terhadap NSE menunjukkan bahwa model dapat mempresentasikan kondisi DAS di lapangan dengan baik.
2. Parameter yang paling sensitif terhadap NSE dan RMSE merupakan parameter *impervious*. *Peak discharge* lebih sensitif terhadap perubahan nilai parameter *curve number*. Dan yang terakhir parameter yang paling sensitif terhadap volume adalah parameter *baseflow*. Sedangkan parameter yang paling tidak sensitif terhadap NSE, RMSE, *peak discharge*, dan *baseflow* adalah parameter *initial storage canopy* dan *initial storage surface*.
3. Nilai *peak discharge* sebelum ada waduk sebesar $455,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Sedangkan setelah dimodifikasi dengan adanya Waduk Jatigede *peak discharge* menjadi $132,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Hasil simulasi pengoperasian waduk Jatigede dapat memenuhi kebutuhan air baku, PLTA dan sebagian daerah irigasi. Perhitungan pemenuhan kebutuhan air irigasi berdasarkan debit kebutuhan air maksimum tanaman padi pada periode tanam Juni I hingga Juli II. Berdasarkan skenario dapat mengairi sawah dengan kebutuhan air seluas 55.384,62 ha atau 61,54%; skenario II 52.692,31 ha atau 58,55%; skenario III 9.538,46 ha atau 10,6%; dan skenario IV 6.846,15 ha atau 7,61%.

4. Penilaian *water balance* menunjukkan ketersediaan air permukaan sebelum ada waduk hampir terjadi *water balance* karena debit air yang mengalir di sungai Cimanuk tidak ada pemanfaatan, kehilangan air hanya terjadi sedikit karena faktor alam, sehingga inflow sama dengan outflow. Sedangkan setelah pengoperasian waduk Jatigede terjadi selisih antara inflow dan outflow sungai Cimanuk, hal ini karena adanya pengoperasian waduk untuk pengendali banjir dan pemenuhan kebutuhan air di waduk. Surplus air terjadi pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, November, dan Desember. Defisit air terjadi pada bulan Juni, Juli, Agustus, September, dan Oktober.

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian terhadap pengoperasian waduk jatigede berdasarkan pengoperasian bukaan pintu pada outlet irigasi, PLTA dan air baku.
2. Perlu dilakukan penelitian di hilir waduk Jatigede untuk mengetahui ketersediaan air permukaan di hilir waduk Jatigede yang dapat dimanfaatkan untuk menambah pemenuhan kebutuhan air irigasi di DI Rentang.
3. Perlu adanya penelitian terkait pengoperasian air irigasi di Sistem Irigasi Rentang sehingga pemanfaatan ketersediaan air dapat dimanfaatkan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim (2010) “Pengelolaan sumber daya air wilayah sungai Cimanuk Cisanggarung.”
- Anonim (2015) “Hydrologic Modeling System HEC-HMS Applications Guide.”
- Feldman, A. D. (2000) “Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual,” *Hydrogeology Journal: Hydrologic Modeling System: Technical Reference Manual*.
- Indarto, Adriyani, I. dan Novita, E. (2008) “Kalibrasi Model IHACRES pada Dua DAS Identik,” *dinamika TEKNIK SIPIL*, 8(1), hal. 89–100.
- Motovilov, Y. G. *et al.* (1999) “Validation of a distributed hydrological model against spatial observations,” *Agricultural and Forest Meteorology*, 98–99, hal. 257–277. doi: 10.1016/S0168-1923(99)00102-1.
- Nurroh, S. dan Arifjaya, N. M. (2010) “Aplikasi Tank Model dan Perhitungan Neraca Air di Model DAS Mikro (MDM) Cisampora SUB-DAS Cimanuk Hulu Kabupaten Majalengka,” hal. 1–12.
- Ouédraogo, W. A. A., Raude, J. M. dan Gathenya, J. M. (2018) “Continuous modeling of the Mkurumudzi River catchment in Kenya using the HEC-HMS conceptual model: Calibration, validation, model performance evaluation and sensitivity analysis,” *Hydrology*, 5(44). doi: 10.3390/hydrology5030044.
- Pradwipa, D. P., Jayadi, R. dan Istiarto (2015) “Kajian Pemanfaatan Sumberdaya Air Waduk Serbaguna Jatigede, Jawa Barat.”
- Santosa, R. A. B. (2003) *Kajian Penentuan Urutan Prioritas Penanganan Lahan Kritis Studi Kasus Sub SUB DAS Cimanuk Hulu*. Diedit oleh Intergovernmental Panel on Climate Change. Institut Teknologi Bandung. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Savitri, E. dan Pramono, I. B. (2017) “Analisis Banjir Cimanuk Hulu 2016,” *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 1(2), hal. 97–110. doi: doi http://dx.doi.org/10.20886/jppdas.2017.1.2.97-110 ANALISIS.
- Soemartono, C. (1986) *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.

- Sukardi, S., Warsito, B. dan Kisworo, H. (2013) *Pengelolaan Sungai di Indonesia*. Edisi Indo.
- Sulaksana, N. *et al.* (2013) “Karakteristik Geomorfologi DAS Cimanuk bagian hulu dan Implikasinya terhadap Intensitas Erosi Serta Pendangkalan Waduk Jatigede,” *Bionatura Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik*, 15(2), hal. 100–106.
- Tefera, ashebir haile (2017) “Application of Water Balance Model Simulation for Water Resource Assessment in Upper Blue Nile of North Ethiopia Using HEC-HMS by GIS and Remote Sensing: Case of Beles River Basin,” *International Journal of Hydrology*, 1(7), hal. 222–227. doi: 10.15406/ijh.2017.01.00038.
- Triatmodjo, B. (2010) *Hidrologi Terapan*. Cetakan Ke, *Beta Offset*. Cetakan Ke. Yogyakarta.
- Wałęga, A., Rutkowska, A. dan Policht-Latawiec, A. (2014) “Sensitivity of Beta and Weibull Synthetic Unit Hydrographs to Input Parameter Changes,” *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(1), hal. 221–229.

LAMPIRAN 1

Pola Tata Tanam

Padi I - Padi II - Palawija

Kelompok A 0,689

Mulai Tanam MT-1 **16 Nopember**

Mulai Tanam MT-2 **1 April**

Mulai Tanam MT-3 **16 Juli**

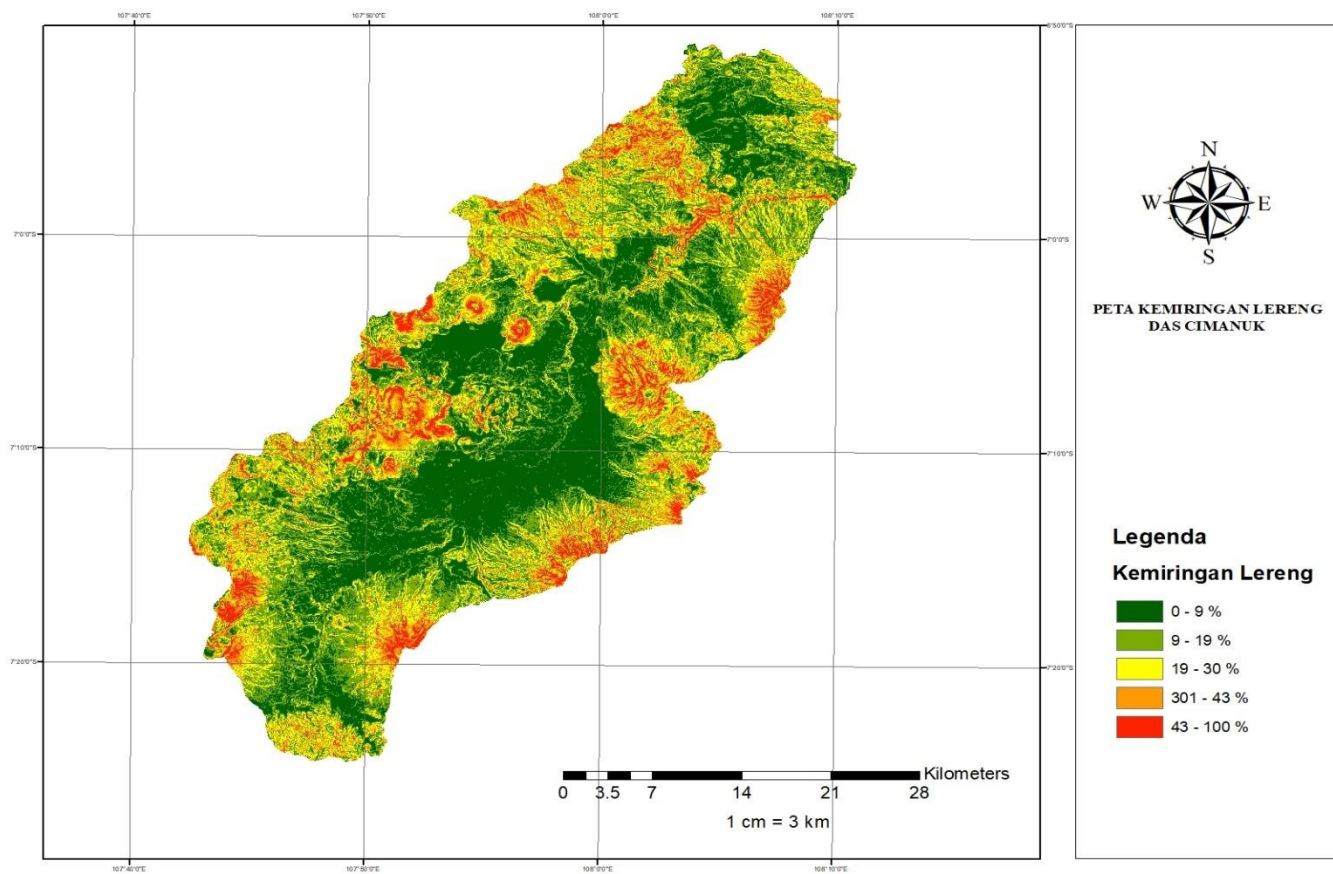
No.	Uraian	Satuan		Bulan																																				
				Nop		Des		Jan		Feb		Mar		Apr		Mei		Jun		Jul		Ags		Sep		Okt		Nov												
				I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II									
	Decade		2	15	15	15	16	15	15	15	14	15	16	15	15	16	15	15	15	16	15	16	15	15	15	16	15	15												
	Pola Tata Tanam																																							
	MT-1																																							
	MT-2																																							
	MT-3																																							
1	Koefisien Tanaman	c1 c2 c3		LP	1.20	1.20	1.32	1.40	1.35	1.24	1.12	LP	LP	1.20	1.20	1.32	1.40	1.35	1.24	1.12	LP	LP	1.20	1.20	1.32	1.40	1.35	1.24	1.12	0.50	0.75	1.00	1.00	0.82	0.45	LP	LP	1.20		
				LP	LP	1.20	1.20	1.32	1.40	1.35	1.24	1.12	LP	LP	1.20	1.20	1.32	1.40	1.35	1.24	1.12	LP	LP	1.20	1.20	1.32	1.40	1.35	1.24	1.12	0.50	0.75	1.00	1.00	0.82	0.45	LP	LP	1.20	
				0.45	LP	LP	1.20	1.20	1.32	1.40	1.35	1.24	1.12	LP	LP	1.20	1.20	1.32	1.40	1.35	1.24	1.12	LP	LP	1.20	1.20	1.32	1.40	1.35	1.24	1.12	0.50	0.75	1.00	1.00	0.82	0.45	LP	LP	1.20
2	Koefisien Tanaman Rerata	C		0.5	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	1.3	1.2	1.0	0.8	0.8	0.9	0.9	0.8	0.6	0.5	1.2											
3	Evaporasi Potensial	Eto	mm/hr	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	3.1	3.1	2.7	2.7	2.7	2.7	2.4	2.4	2.5	2.5	2.9	2.9	3.0	3.0	3.1	3.1	2.9	2.9											
	CONSUMTIVE WATER																																							
4	Evapotranspirasi		mm/hr	1.3	3.5	3.4	3.5	3.6	3.8	3.9	3.6	3.4	3.3	3.3	3.3	3.5	3.3	3.2	3.1	2.4	2.3	2.2	2.8	2.8	2.4	2.0	1.3	3.5												
5	Rasio Luas PAK	A_PAK		1	1	2	3	3	3	3	3	2	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	1	1											
				0.33	0.33	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	0.33	0.33	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	0.33	0.33											
6	Consumtive Use	Etc	mm/hr	0.4	1.2	2.3	3.5	3.6	3.8	3.9	3.6	2.4	1.1	1.1	2.2	3.3	3.5	3.3	3.2	3.1	2.4	2.3	2.2	2.8	2.8	2.4	1.3	0.4	1.2											
7	Perkolasi	P	mm/hr	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0												
8	Kebutuhan Air Tanaman	(Etc+P)	mm/hr	2.4	3.2	4.3	5.5	5.6	5.8	5.9	5.6	4.4	3.1	3.1	4.2	5.3	5.5	5.3	5.2	5.1	4.4	4.3	4.2	4.8	4.8	4.4	3.3	2.4	3.2											
	TRANSPLANTATION																																							
9	Kebutuhan Air utk Pembibitan		mm/hr	1.67																																				
10	Rasio Luas Pembibitan		5%	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05											
11	Kebutuhan Air utk Pembibitan x Rasio Luas		mm/hr	0.03	0.03	0.03	0	0	0	0	0	0	0.03	0.03	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08											
	LAND PREPARATION																																							
12	(1.1Eo+P)		mm/hr	1.1	5.2	5.2	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.4	5.4	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	4.7	4.7	4.7	5.2	5.2	5.3	5.3	5.5	5.5	5.2	5.2											
13	Kebutuhan Air utk Pengolahan	LP-1	mm/hr	11.2								11.3	11.3													11.3	11.2													
		LP-2	mm/hr	11.2	11.2								11.3	11.0														11.2	11.2											
		LP-3	mm/hr		11.2	11.1							11.0	11.0														11.2	11.2											
		Avg.LP	mm/hr	11.2	11.2	11.1						11.3	11.3	11.0	11.0											11.3	11.2	11.2												
				2	2	1	0					1	2	2	1											1	2	2												
14	Rasio Luas Pengolahan	A_LP		0.67	0.67	0.33	0.00	0	0	0	0	0.333	0.67	0.67	0.33	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333	0.67	0.67										
15	Keb. Air Pengolahan x Rasio Luas	LP	mm/hr	7.44	7.44	3.71	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	7.52	7.36	3.68	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	7.44	7.44												

REPLACEMENT																														
16	Kebutuhan Pergantian Lap.Air	WLR-1	mm/hr																											
	Volume (mm)	WLR-2	mm/hr																											
	Periode (hr)	WLR-3	mm/hr																											
	WLR (mm/hr)	WL	mm/hr																											
17	Kebutuhan Air di Sawah Cek rasio total luas dipakai	R	mm/hr	7.4	7.4	3.7	5.5	6.7	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1			
		GFR	mm/hr																											
18	Curah Hujan Effektif	Re	mm/hr	3.2	3.2	2.8	2.6	5.2	4.9	5.8	6.7	5.2	4.9	5.2	5.2	1.1	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2		
																												3.2		
19	Kebutuhan Air Bersih di Sawah	NFR	mm/hr	4.2	4.2	0.9	2.9	1.5	2.0	1.2	0.0	0.0	2.6	2.1	0.0	4.2	5.6	6.4	6.3	6.2	4.4	4.3	4.2	4.8	4.8	4.4	3.8	4.2		
			l/dt/ha	0.49	0.49	0.10	0.34	0.18	0.23	0.14	0.00	0.00	0.30	0.25	0.00	0.49	0.64	0.74	0.73	0.72	0.51	0.50	0.48	0.55	0.56	0.51	0.44	0.49		
20	Penyediaan Air Irigasi :																													
	Jar.tersier, sekunder, primer	e1	mm/hr	0.65	6.5	6.5	1.4	4.5	2.4	3.1	1.8	0.0	0.0	4.0	3.3	0.0	6.5	8.6	9.9	9.8	9.6	6.8	6.6	6.4	7.3	7.5	6.8	5.8	6.5	6.5
	Di Waduk	e2	mm/hr	0.875	7.5	7.5	1.6	5.1	2.7	3.5	2.1	0.0	0.0	4.6	3.8	0.0	7.4	9.8	11.3	11.2	10.9	7.7	7.6	7.4	8.4	8.5	7.7	6.7	7.5	7.5
21	Kebutuhan Air Irigasi per Ha Volume 4 bulan	DR	l/dt/ha m3/ha m3/ha	0.9	0.9	0.2	0.6	0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	0.5	0.4	0.0	0.9	1.1	1.3	1.3	1.3	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	0.9	0.8	0.9	0.9	
				1,123	1,123	237	817	404	527	309	0	0	738	566	0	1,113	1,571	1,697	1,680	1,640	1,236	1,134	1,177	1,259	1,278	1,158	1,066	1,123	1,123	
														10,637									11,563							

Sumber : BBWS Cimanuk-Cisanggarung

LAMPIRAN 2

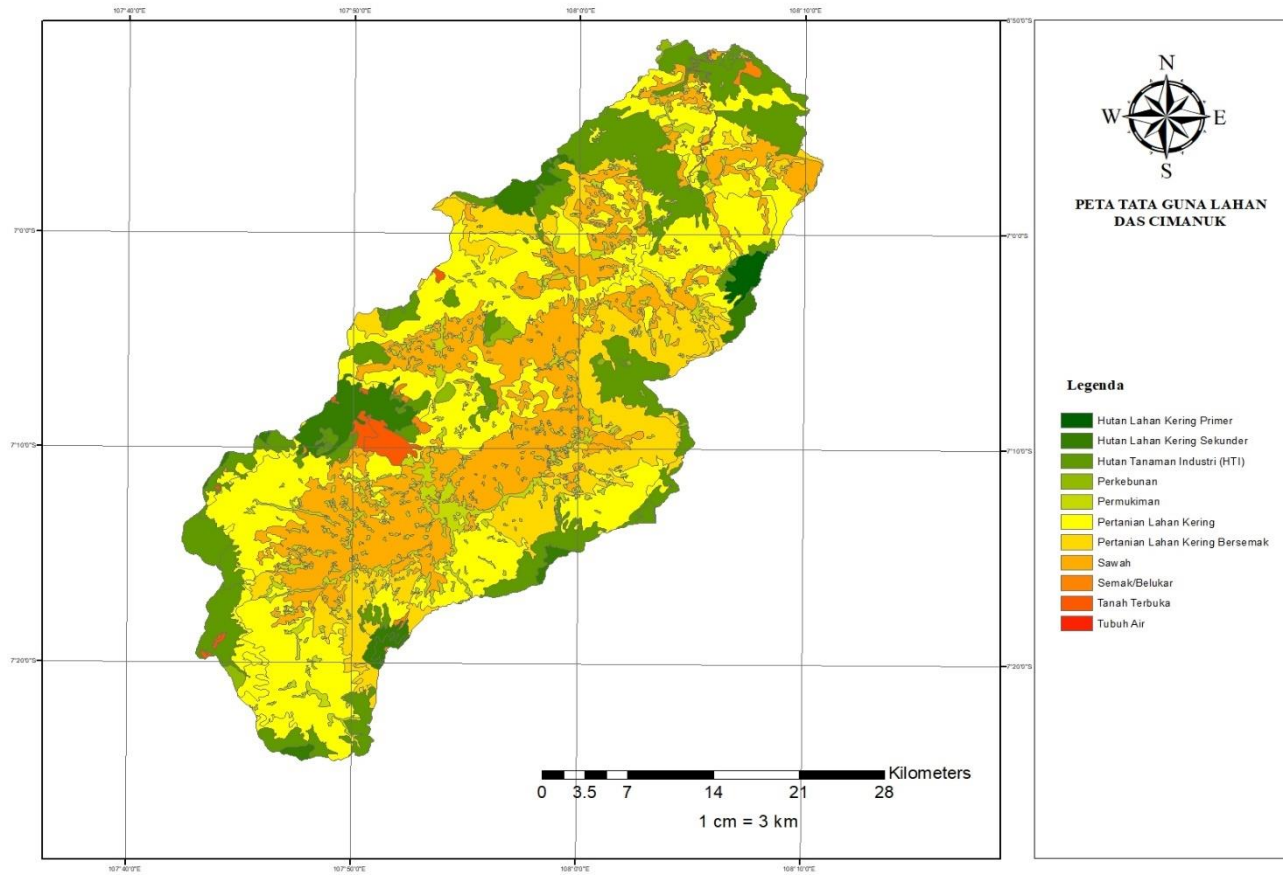
Peta Kemiringan Lereng



“Halaman ini sengaja dkosongkan”

LAMPIRAN 3

Peta Tata Guna Lahan



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Ramadani Masitoh Widayati,

Penulis dilahirkan di Lumajang, 16 Februari 1995, merupakan anak tunggal dari pasangan suami istri Uksul Widayat dan Siyati. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Muslimat NU Karangbendo (Lumajang), SDI Tompokersan (Lumajang), SMP Negeri 1 Sukodono (Lumajang), SMA Negeri 2 (Lumajang). Setelah lulus SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Jember pada program studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan lulus pada tahun 2017. Setelah lulus pendidikan strata 1, penulis melanjutkan kerja dan pada tahun 2018 kembali menempuh pendidikan formal Magister Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada bidang Manajemen dan Rekayasa Sumber Air. Bagi penulis merupakan suatu kebanggaan dapat menyelesaikan pendidikan Magister di ITS. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi, memberikan saran dan kritik dapat berkorespondensi melalui email ramadanimasito08@gmail.com.