



**SIMULASI EFEKTIVITAS KOLAM RETENSI DALAM REDUKSI
BANJIR PADA DAS SANEN**

SKRIPSI

Oleh

Raden Paundra Dewata Sultansyah Judhokusumo

NIM 211910301078

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS JEMBER

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

JEMBER

2025



**SIMULASI EFEKTIVITAS KOLAM RETENSI DALAM REDUKSI
BANJIR PADA DAS SANEN**

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar sarjana pada
program studi Strata 1 Teknik Sipil.*

SKRIPSI

Oleh

Raden Paundra Dewata Sultansyah Judhokusumo

NIM 211910301078

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
2025**

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, dengan segala rasa syukur kepada Allah SWT atas karunia, rahmat serta hidayah yang Engkau berikan sehingga kami bisa menjalani kehidupan dengan baik dan dipenuhi rasa syukur dalam menyelesaikan skripsi ini. Dengan Menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, dengan segenap rasa kerendahan hati mempersembahkan skripsi ini sebagai wujud terima kasih saya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Mama dan Papa atas do'a, dukungan, kasih sayang dan nasehat hingga penulis menyelesaikan skripsi ini;
2. Kakak penulis Raden Ajeng Syahrani Shalsabila Judhokusumo dan adik penulis Raden Miko Ardiansyah Judhokusumo beserta keluarga yang selalu memberikan dukungan, semangat, do'a kepada penulis;
3. Teman – teman seperjuangan penulis Amar, Wisnu, Syukur, Fauzan, Yoga, Tias, Sisna, Akmal, Gibran, Ilyas, Irhan, Bella, Yunita, Maya, Alma Salsabila, teman – teman asal Solo Raya, teman – teman KPS yang selalu menemani dan membantu penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini;
4. Teman – teman angkatan 2021 Teknik Sipil Universitas Jember yang juga sama – sama berjuang menyelesaikan Pendidikan;
5. Segenap almamater Universitas Jember;
6. Semua pihak yang telah memotivasi dan turut berperan serta dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

MOTTO

“Hiduplah seperti bunga imitasi walaupun tidak harum, tapi tak pernah layu”

(Raden Paundra)

“Hanya mereka yang telah lama menderita, yang dapat melihat cahaya di balik bayang-bayang.”

(Roronoa Zoro)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Raden Paundra Dewata Sultansyah Judhokusumo

NIM : 211910301078

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *Simulasi Efektivitas Kolam Retensi Dalam Reduksi Banjir Pada DAS Sanen* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan skripsi ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 9 Juli 2025

Yang menyatakan,



R. Paundra Dewata S. J.
NIM. 211910301078

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas Akhir berjudul “Simulasi Efektivitas Kolam Retensi Dalam Reduksi Banjir Pada DAS Sanen” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 9 Juli 2025

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

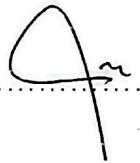
Pembimbing

1. Pembimbing Utama

Nama : Prof. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M

NIP : 196612151995032001

Tanda Tangan

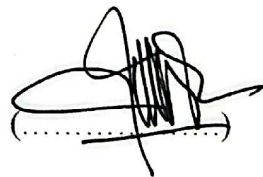
()

Penguji

1. Penguji Utama

Nama : Prof. Dr. Ir. Gusfan Halik, S.T., M.T.

NIP : 197108041998031002

()

2. Penguji Anggota 1

Nama : Retno Utami A. Wiyono, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP : 198702062022032003

()

ABSTRAK

Daerah Aliran Sungai (DAS) Mayang Hilir aliran Sungai Sanen yang terletak di Kabupaten Jember tercatat beberapa kali mengalami banjir yang menyebabkan kerugian materil serta terganggunya aktivitas warga terdampak. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis penentuan lokasi kolam retensi dan melakukan analisis efektivitas kolam retensi dalam reduksi banjir pada DAS Sanen, menggunakan perangkat lunak *Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS). Untuk melakukan mitigasi bencana banjir yang terjadi. Penerapan kolam retensi terbukti efektif untuk reduksi banjir dengan penurunan debit kala ulang 2 tahun sebesar 14,2 m²/s (25%), pada kala ulang 5 tahun tereduksi 20,1 m²/s (20%), dan pada kala ulang 10 tahun tereduksi sebesar 66,4 m²/s (16%).

Kata kunci : Banjir, Kolam Retensi, HEC-HMS.

ABSTRACT

The Mayang Hilir Watershed (DAS) of the Sanen River, located in the Jember Regency, has experienced several floods that have caused material losses and disrupted the activities of affected residents. This research aims to analyze the determination of retention pond locations and analyze the effectiveness of retention ponds in flood reduction in the Mayang Hilir watershed, using Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) software. To conduct disaster mitigation of floods that occur. The application of retention ponds proved to be effective for flood reduction with a 2-year return period discharge reduction of 14,2 m²/s (25%), at a 5-year return period reduced 20,1 m²/s (20%), and at a 10-year return period reduced by 66,4 m²/s (16%).

Key words : Flood, Retention Ponds, HEC-HMS.

RINGKASAN

Simulasi Efektivitas Kolam Retensi Untuk Reduksi Banjir Pada DAS Sanen;

Raden Paundra Dewata Sultansyah Judhokusumo, 211910301078; 2024: 45

Halaman, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi risiko banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Mayang Hilir, Kabupaten Jember, dengan merancang kolam retensi dan memodelkan aliran banjir menggunakan perangkat lunak HEC-HMS. Berdasarkan data hidrologi, topografi, jenis tanah, dan tata guna lahan, lokasi kolam retensi ditentukan di Desa Wonoasri melalui analisis spasial menggunakan metode overlay pada GIS. Kolam retensi seluas $\pm 314.872 \text{ m}^2$ dengan kedalaman 5 meter mampu menampung hingga $1.574.360 \text{ m}^3$ air. Simulasi menunjukkan efektivitas kolam dalam mereduksi debit puncak banjir hingga 25% pada kala ulang 2 tahun, 20% pada 5 tahun, dan 16% pada 10 tahun. Hasil penelitian membuktikan bahwa kolam retensi dapat menjadi solusi teknis yang efektif dalam mitigasi banjir musiman dan bahwa HEC-HMS merupakan alat yang andal untuk mendukung perencanaan pengelolaan sumber daya air secara terintegrasi.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas karunia, rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penyusunan skripsi ini didasarkan ada penyelesaian masa perkuliahan selama menempuh kuliah di Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyusunan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Dr. Ketut Aswatama Wiswamitra, S.T., M.T. Selaku Ketua Program Studi dan Ketua Jurusan S1 Teknik Sipil Universitas Jember;
3. Prof. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM., selaku Dosen Pembimbing Utama, yang telah memberikan bimbingan, ilmu, semangat, saran, perhatian dan pembelajaran dalam pengerjaan skripsi maupun riset.
4. Prof. Dr. Ir. Gusfan Halik, S.T., M.T.,selaku Dosen Penguji Utama dan Retno Utami A. Wiyono, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah banyak memberikan saran dan pembelajaran demi perbaikan skripsi ini;
5. Ir. Dwi Nurtanto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan saran dan nasihat selama berlangsungnya perkuliahan hingga akhir;
6. Luthfi Amri Wicaksono, S.T., M.T., selaku Ketua Kombisi Bimbingan skripsi yang telah membantu segala birokrasi dan kelengkapan skripsi;
7. Seluruh Dosen Pengajar dan Civitas Akademik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan semua ilmu dan pelajaran selama perkuliahan dan teman-teman Danadyaksa dan semua pihak yang turut berperan serta dalam penyelesaian skripsi ini;

Penulis menyadari bahwa skripsi ini mungkin masih terdapat banyak kekurangan di dalamnya. Oleh karena itu kritik dan saran yang mendukung sangat penulis harapkan untuk memperbaiki banyak kekurangan yang ada sehingga skripsi ini bisa menjadi lebih baik lagi.

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
PERSEMBAHAN	i
MOTTO	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
ABSTRAK	v
RINGKASAN	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Daerah Aliran Sungai	4
2.2 Penentuan Lokasi Kolam Retensi	4
2.3 Analisis Hidrologi	5
2.3.1 Analisis Curah Hujan Rata-rata.....	5

2.3.2 Uji Parameter Statistika	6
2.3.3 Uji Konsistensi Data	7
2.3.4 Distribusi Frekuensi	7
2.3.5 Pengujian Kesesuaian Distribusi.....	8
2.3.5.1 Metode Chi Square.....	9
2.3.5.2 Metode Smirnov-Kolmogorov	9
2.4 Volume Runoff Models (Volume Limpasan)	10
2.4.1 Curve Number	10
2.4.2 <i>Initial Abstraction (Ia)</i>	13
2.5 <i>Direct Runoff Models</i> (Limpasan langsung)	13
2.6 Baseflow Models.....	14
2.7 Routing Models.....	15
2.6 Penelitian Sebelumnya	15
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Lokasi Studi	18
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	18
3.2.1 Pengumpulan Data	21
3.3 Pengolahan Data.....	21
3.3.1 Pengolahan Data Hidrologi.....	21
3.3.2 Pengolahan Data Spasial	22
3.3.3 Penentuan Parameter	22
3.4 Penentuan Lokasi Kolam Retensi	22
3.5 Simulasi HEC-HMS.....	23
3.5.1 Input Parameter	23
3.5.2 Simulasi.....	23

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1. Analisis Data Spasial.....	24
4.1.1. Batas Das.....	24
4.1.2. Batas Sub-das	25
4.1.3. Peta Jaringan Sungai	26
4.1.4. Peta Tata Guna Lahan	26
4.1.5. Peta Jenis Tanah	27
4.1.6. Penentuan Lokasi Kolam Retensi	28
4.2. Analisis Hidrologi	31
4.2.1. Cek Data Hidrologi	31
4.2.2 Curah Hujan Wilayah.....	32
4.2.3 Curah Hujan Rencana	35
4.2.4 <i>Alternatif Block Method (ABM)</i>	37
4.3 Pemodelan HEC-HMS	37
4.3.1 <i>Volume Runoff Models</i>	38
4.3.2 <i>Direct Runoff Models (Limpasan Langsung)</i>	40
4.3.3 <i>Baseflow Models (Aliran Dasar)</i>	41
4.3.4 <i>Routing Models (Penelusuran)</i>	42
4.4 Simulasi Kolam Retensi.....	42
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian	18
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian.....	19
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pemodelan	20
Gambar 4. 1 Batas DAS.....	24
Gambar 4. 2 Batas Sub-DAS	25
Gambar 4. 3 Batas Sub-DAS	25
Gambar 4. 4 Peta Tata Guna Lahan.....	26
Gambar 4. 5 Peta Jenis Tanah	27
Gambar 4. 6 Hasil Overlay.....	31
Gambar 4. 7 Lokasi Kolam Retensi	31
Gambar 4. 8 Poligon Thiessen	32
Gambar 4. 9 Hasil Deliniasi HEC-HMS	37
Gambar 4. 10 Perubahan Debit Kala Ulang 2 Tahun.....	43
Gambar 4. 11 Perubahan Debit Kala Ulang 5 Tahun	43
Gambar 4. 12 Perubahan Debit Kala Ulang 10 Tahun.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Statistik.....	6
Tabel 2. 2 Syarat Parameter Statistik	8
Tabel 2. 3 Analisis Distribusi	8
Tabel 2. 4 Hydrologic Soil Group	11
Tabel 2. 5 Nilai CN sesuai dengan kelompok hidrologi tanah.....	11
Tabel 2. 6 Penelitian Terdahulu.....	15
Tabel 4. 1 Luas Wilayah Sub-DAS	25
Tabel 4. 2 Luas dan Persentase Tata Guna Lahan	27
Tabel 4. 3 Luas dan Persentase Jenis Tanah.....	28
Tabel 4. 4 Skor Kemiringan Lereng.....	29
Tabel 4. 5 Skor Tata Guna Lahan	29
Tabel 4. 6 Jumlah Skor dan Klasifikasi.....	30
Tabel 4. 7 Data Hujan Maksimum Tahunan.....	32
Tabel 4. 8 Luas dan Persentase <i>Poligon Thiessen</i>	33
Tabel 4. 9 Uji Konsistensi Data.....	33
Tabel 4. 10 Analisis Frekuensi	34
Tabel 4. 11 Nilai Parameter.....	34
Tabel 4. 12 Perhitungan Curah Hujan Rencana	35
Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Hujan Rencana.....	35
Tabel 4. 14 Uji <i>Chi Square</i>	36
Tabel 4. 15 <i>Smirnov-Kolmogorov</i>	36
Tabel 4. 16 Hasil perhitungan ABM	37
Tabel 4. 17 Nilai CN	38
Tabel 4. 18 Nilai Ia.....	40
Tabel 4. 19 Nilai <i>Imprevoius Area</i>	40
Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan <i>Lag Time</i>	41
Tabel 4. 21 Hasil Aliran Dasar	41
Tabel 4. 22 Hasil Perhitungan <i>Lag Time</i>	42
Tabel 4. 23 Debit Setelah Implementasi Kolam retensi.....	43

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banjir berdampak merugikan bagi masyarakat serta lingkungan, banjir menyebabkan kerugian ekonomi serta kerusakan infrastruktur bagi masyarakat, tak hanya itu banjir juga membawa penyakit dan kerusakan lingkungan bagi daerah yang terdampak. Daerah Aliran Sungai (DAS) Sanen merupakan salah satu wilayah yang rawan terjadi banjir. Tercatat telah terjadi beberapa kasus banjir pada sungai ini salah satunya terjadi pada Februari 2021. Banjir tersebut melanda Desa Wonoasri, Kecamatan Tempurejo akibat luapan air Sungai Sanen saat hujan deras melanda daerah tersebut (Nawawi, 2022). Berdasarkan kejadian tersebut upaya untuk pengendalian banjir pada DAS Sanen menjadi sangat penting.

Penanggulangan banjir pada DAS Sanen merupakan langkah penting untuk mengurangi dampak dari bencana banjir yang menjadi bencana musiman pada kawasan tersebut (Shuaibu et al., 2023). Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menanggulangi banjir adalah dengan kolam retensi (Mulyanto & Madrapriya, 2021). Kolam retensi adalah sebuah kolam atau embung untuk menampung kelebihan air limpasan atau sementara menampung air hujan agar dapat memberikan kesempatan diserap ke dalam tanah dan selanjutnya dilepas kembali ke sungai (Priambodo & Hamzah, 2024).

HEC-HMS adalah *software* yang diciptakan oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) dari US Army Corps of Engineers untuk mensimulasikan proses hujan-debit pada suatu DAS (USACE, 2000). HEC-HMS memiliki beberapa keunggulan untuk memodelkan berbagai proses hidrologi dengan detail yang tinggi, termasuk curah hujan, aliran permukaan, infiltrasi, dan evapotranspirasi. HEC-HMS mempunyai akurasi yang baik dalam memprediksi aliran sungai dan dampak dari perubahan tata guna lahan (Ehrmann et al., 2020). Penggunaan kolam retensi untuk mengurangi debit banjir menggunakan HEC-HMS adalah pendekatan untuk mengelola aliran air hujan dan mengurangi resiko banjir dengan aplikasi HEC-HMS (Z, 2022).

Berdasarkan permasalahan yang terjadi pada DAS Sanen, upaya pengendalian banjir sangat diperlukan. Penelitian ini akan memodelkan banjir pada DAS Sanen lalu melakukan identifikasi penentuan lokasi kolam retensi untuk menanggulangi banjir. Menggunakan HEC-HMS yang berguna dalam pemodelan hidrologi untuk simulasi sistem sungai dan daerah aliran sungai (Ehrmann et al., 2020). Dengan hal ini diharapkan dapat menghasilkan prediksi banjir yang lebih akurat dan membantu memprediksi potensi retensi dalam bencana banjir pada wilayah DAS Sanen.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana penentuan lokasi kolam retensi untuk reduksi banjir pada DAS Sanen?
2. Bagaimana simulasi banjir pada DAS Sanen menggunakan aplikasi HEC-HMS?
3. Bagaimana simulasi kolam retensi untuk reduksi banjir pada DAS Sanen?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan identifikasi mengenai potensi penempatan kolam retensi guna mengatasi banjir pada DAS Sanen.
2. Mensimulasikan debit banjir pada DAS Sanen menggunakan HEC-HMS.
3. Melakukan simulasi reduksi banjir dengan kolam retensi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

Hasil penelitian ini dapat bermanfaat sebagai acuan untuk penelitian lebih lanjut, dan bahan rekomendasi kepada pemerintah atau *stake holder* terkait untuk mengatasi permasalahan banjir di DAS Sanen.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini tidak membahas aspek hidralik seperti aliran dalam sistem drainase.
2. Penelitian ini tidak membahas aspek desain teknis, struktur dan biaya konstruksi kolam retensi.
3. Penelitian ini hanya melakukan simulasi untuk mengukur efektivitas kolam retensi.
4. Karena tidak ditemukan data debit lapangan proses kalibrasi dan validasi dilakukan dengan penyesuaian parameter pada penelitian sebelumnya pada bagian hulu.
5. Penelitian ini fokus pada perbandingan reduksi banjir berdasarkan periode ulang hujan.
6. Parameter yang digunakan disesuaikan dengan penelitian pada DAS sebelah atau yang memiliki kriteria yang sama menggunakan konsep regionalisasi

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, 2012). DAS Sanen merupakan salah satu DAS di Kabupaten Jember, Jawa Timur. DAS Sanen memiliki luas sekitar 320 km² dan terletak di Kecamatan Tempurejo. Sungai utama di DAS Mayang adalah Sungai Sanen yang bermuara ke Sungai Bedadung.

Sistem DAS yang baik dapat menyimpan air di dalam tanah dan menurunkan risiko banjir di musim hujan serta menjaga ketersediaan air di musim kemarau. Namun, perubahan penggunaan lahan yang tidak teratur, seperti penebangan hutan dan urbanisasi, bisa merusak keseimbangan hidrologi DAS, meningkatkan aliran permukaan, dan mempercepat pengikisan tanah (Bruijnzeel, 2004).

2.2 Penentuan Lokasi Kolam Retensi

Kolam retensi adalah struktur yang dirancang untuk menampung atau meresapkan kelebihan air limpasan (*runoff*) secara sementara yang kemudian akan dialirkan kembali ke sungai. Kolam retensi bertujuan untuk mengurangi dampak aliran air yang berlebihan, mengurangi resiko banjir, dan memberikan kesempatan air untuk terinfiltrasi ke dalam tanah atau teruap (Priambodo & Hamzah, 2024). Pada penelitian menentukan penentuan lokasi menggunakan metode overlay. Metode *overlay* dilakukan dengan menggabungkan layer pada Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk menentukan lokasi yang memenuhi kriteria untuk penerapan kolam retensi. Parameter yang digunakan untuk melakukan overlay adalah kemiringan lereng dan tutupan lahan (Hidayah et al., 2024). Kriteria parameter yang sesuai untuk penerapan kolam retensi pada suatu lokasi dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2. 1 Kriteria Penentuan Lokasi

Kriteria	Deskripsi	Kategori yang diutamakan	Referensi
Tutupan Lahan	Tutupan lahan yang bebas dari bangunan permanen, dan area terbuka yang luas	<ul style="list-style-type: none"> - Area tutupan lahan tidak berada pada area terbangun seperti rumah, pedesaan dan bangunan permanen lainnya - Diutamakan area dengan tutupan lahan berupa tanah kosong, sawah, area tidak terbangun 	(Pelealu et al., 2022)
Kemiringan lereng	Berpengaruh pada stabilitas kolam	<ul style="list-style-type: none"> - <5% ideal, karena air mudah tertahan - 5-15% dapat digunakan dengan penanganan khusus - >15% tidak cocok 	(Saragih et al., 2020)

2.3 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi perlu dilakukan untuk memperoleh data intensitas hujan yang digunakan untuk menghitung debit banjir rencana suatu wilayah. Analisis hidrologi memiliki beberapa tahapan dalam pengerjaannya, meliputi:

2.3.1 Analisis Curah Hujan Rata-rata

Perhitungan curah hujan menggunakan metode poligon Thiessen dilakukan dengan membuat poligon yang terbentuk dari perpotongan garis tegak lurus di tengah antara dua pos hujan yang dihubungkan dengan garis (Kurniawan et al., 2019). Pertemuan garis-garis ini membentuk poligon, dan masing-masing pos hujan

akan berada dalam salah satu poligon tersebut, yang kemudian menentukan luasan daerah yang diwakili oleh setiap pos hujan (Kurniawan et al., 2019). Rumus perhitungan curah hujan rerata wilayah metode thiessen dapat dilihat pada persamaan 2.1 berikut (Kurniawan et al., 2019). Untuk menghitung dengan metode al dirumuskan pada persamaan 2.1

$$\bar{P} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$$\bar{P} = \text{Curah hujan rata-rata(mm)}$$

$$P_1 + P_2 + P_3 = \text{Hujan pada pos 1, 2,...,n}$$

$$A_1 + A_2 + \dots + A_n = \text{Luas wilayah yang mewakili pos 1,2,...,n}$$

2.3.2 Uji Parameter Statistika

Parameter yang digunakan dalam pengujian statistik, yaitu rata-rata hitung (mean), simpangan baku (Sd), koefisien kemencengan (Cs), koefisien kurtosis (Ck), dan koefisien variasi (Cv) (Tuda et al., 2020). Rumus dari pengujian parameter statistik dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2. 1 Parameter Statistik

No	Parameter	Persamaan
1	Curah Hujan Rata-rata (\bar{x})	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \dots\dots\dots(2.2)$
2	Standar Deviasi (Sd)	$Sd = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots(2.3)$
3	Koefisien <i>Skewness</i> (Cs)	$Cs = \frac{n \sum(x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \dots\dots\dots(2.4)$
4	Koefisien Kurtosis (Ck)	$Cs = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4} \dots\dots\dots(2.5)$
No	Parameter	Persamaan
5	Koefisien Variasi (Cv)	$Cv = \frac{Sd}{\bar{x}} \dots\dots\dots(2.6)$

Sumber : Suripin, 2004

Dimana

Cs : Koefisien *skewness*

- Ck : Koefisien kurtosis
 Cv : Koefisien varian
 Sd : Deviasi standar curah hujan
 \bar{x} : Nilai rata-rata curah hujan (mm/hari)
 n : Jumlah data curah hujan

2.3.3 Uji Konsistensi Data

Uji konsistensi data dilakukan dengan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) pengujian ini bertujuan untuk evaluasi kehomogenan data dalam seri waktu. Pengujian ini banyak digunakan dalam analisis hidrologi untuk memastikan bahwa data curah hujan, aliran sungai, atau data hidrologi lainnya konsisten dan tidak mengalami perubahan sistematis yang dapat mempengaruhi hasil analisis (Đurin et al., 2022). Uji dengan metode RAPS dapat dilakukan dengan persamaan berikut.

$$Sk^* = \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - \bar{x}) \dots\dots\dots(2.7)$$

$$Dy^2 = \frac{Sk^{*2}}{n} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$Dy = \sum_{i=1}^n \sqrt{(Dy^2)} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Sk^{**} = \frac{Sk^*}{Dy} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

- Sk^{**} : Nilai kumulatif penyimpangan terhadap rata-rata.
 x_i : Nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke-i (mm/hari)
 \bar{x} : Nilai rata-rata curah hujan (mm/hari)
 Dy : Deviasi standar seri y (simpangan rata-rata)

2.3.4 Distribusi Frekuensi

Distribusi frekuensi dilakukan untuk memperkirakan kemungkinan debit aliran air mencapai nilai tertentu dalam periode waktu tertentu, seperti kala ulang 5 tahun, 10 tahun, dan seterusnya (Limantara, 2018). Penentuan distribusi frekuensi dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2. 2 Syarat Parameter Statistik

Tipe Sebaran	Syarat Parameter Statistik
Normal	$Cs = 0$ $Ck = 3$
Log Normal	$Cs = Cv^3 + 3 \times Cv = 0,8392$ $Ck = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 = 4,2778$
Gumbel	$Cs = 1,14$ $Ck = 5,40$
Log Pearson 3	Bila tidak ada parameter statistik yang sesuai dengan ketentuan distribusi sebelumnya.

Sumber : (Soemarto, 1999).

Analisis distribusi frekuensi dalam hidrologi terdapat 4 metode turunan rumus yang bisa digunakan yaitu Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Gumbel, dan Distribusi Log Pearson 3 (Limantara, 2018). Yang dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Analisis Distribusi

No	Analisis Distribusi	Rumus
1.	Distribusi Normal	$X_t = \bar{x} + K_T \cdot sd \dots\dots\dots(2.11)$
2.	Distribusi Log Normal	$X_t = 10 \log \bar{x} + K_T \cdot sd \dots\dots\dots(2.12)$
3.	Distribusi Gumbel	$X_t = \bar{x} + K \cdot sd \dots\dots\dots(2.13)$
4.	Distribusi Log Pearson 3	$X_t = 10 \log \bar{x} + K_T \cdot sd \dots\dots\dots(2.14)$

Sumber: (Soemarto, 1999).

2.3.5 Pengujian Kesesuaian Distribusi

Parameter yang digunakan untuk menguji kesesuaian distribusi frekuensi sampel data dengan distribusi peluang yang diperlukan untuk mewakili distribusi frekuensi tersebut. Tahap ini penting dilakukan untuk memastikan keselarasan antara distribusi frekuensi yang digunakan dengan sampel data yang ada. Jika hasil pengujian menunjukkan bahwa keduanya memenuhi kriteria uji, maka rumusan persamaan tersebut dapat diterima (Mulyanto & Madrapriya, 2021). Uji kesesuaian

distribusi vertikal dilakukan dengan metode *Chi Square*, yang menguji antara perbedaan antara nilai ordinat teoritis dan ordinat empiris (Soewarno, 1995). Sedangkan uji kesesuaian distribusi horizontal menggunakan metode Smirnov-Kolmogorov, yang membandingkan probabilitas antara distribusi empiris dan distribusi teoritis setiap data. Perbandingan ini menghasilkan nilai (Δ) (Soewarno, 1995).

2.3.5.1 Metode Chi Square

Chi Square atau chi kuadrat adalah metode untuk pengujian perbedaan antara distribusi frekuensi dan data sampel (Soewarno, 1995). Nilai *Chi Square* dihitung dengan persamaan dibawah ini.

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

E_i : Frekuensi yang diharapkan.

O_i : Frekuensi yang terbaca.

X^2 : Chi kuadrat terhitung.

N : Jumlah sub kelompok dalam grup (jumlah kelas).

2.3.5.2 Metode Smirnov-Kolmogorov

Uji *Smirnov Kolmogorov* digunakan untuk menguji simpangan secara horizontal (mendatar) (Soewarno, 1995). Pengujian simpangan horizontal dilakukan dengan persamaan berikut ini.

$$\Delta_{maks} = |P_e(x) - P_t(x)| \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana:

Δ_{maks} : Selisih data probabilitas teoritis dan empiris.

$P_e(x)$: Posisi data (x) menurut sebaran teoritis.

$P_t(x)$: Posisi data (x) menurut sebaran empiris.

2.4 Volume Runoff Models (Volume Limpasan)

Penelitian ini menggunakan model perhitungan volume limpasan dengan metode SCS CN. Model SCS CN digunakan dalam penelitian ini karena sederhana, dapat diprediksi, dan stabil. Parameter pada model ini bergantung pada jenis tanah, tata guna lahan, kondisi permukaan, dan kelembaban (Rossman & Huber, 2016). *Soil Conservation Service* (SCS) *Curve Number* (CN) digunakan untuk menentukan lebih hujan yang menghasilkan limpasan, yang merupakan fungsi kumulatif dari hujan, tutupan lahan, tata guna lahan, dan kelembaban. Persamaan yang digunakan dalam metode adalah sebagai berikut.

$$Q_e = \frac{(P-I_a)^2}{(P-I_a)+s} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana:

Q_e : Volume *runoff* (m^3/s)

P : Kedalaman curah hujan yang terakumulasi pada waktu t

I_a : Abstraksi awal

S : Retensi maksimum potensial

2.4.1 Curve Number

Curve Number (CN) adalah parameter yang digunakan untuk memperkirakan limpasan permukaan (*surface runoff*) dari sebuah curah hujan dalam model hidrologi. CN dikembangkan oleh *Natural Resource Conservation Service* (NRCS). Nilai CN dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis tanah, tata guna lahan, kelembaban, dan lain-lain. Semakin tinggi nilai CN menunjukkan penurunan kemampuan suatu wilayah dalam menyimpan air hujan. Akibatnya volume infiltrasi berkurang yang menyebabkan peningkatan limpasan permukaan dan kenaikan debit puncak (Dasanto & Risyanto, 2006).

Rentang nilai CN berkisar dari 30 hingga 100. Rentang ini menunjukkan bermacam kemampuan lahan untuk menyerap air dan potensi terjadinya limpasan permukaan (Mishra, S.K., & Singh, 2003) :

1. CN rendah mempunyai rentang nilai 30-50 menunjukkan area dengan potensi limpasan yang rendah. Terjadi pada tanah dengan kapasitas ifiltrasi yang

tinggi seperti tanah berpasir pada area dengan penutup lahan yang baik seperti hutan

2. CN sedang mempunyai rentang nilai 50-70 menunjukkan area dengan potensi limpasan yang sedang. Terjadi pada tanah dengan kapasitas ifiltrasi yang sedang seperti tanah liat berpasir pada area pertanian atau padang rumput.
3. CN tinggi mempunyai rentang nilai 50-70 menunjukkan area dengan potensi limpasan yang tinggi. Terjadi pada tanah dengan kapasitas ifiltrasi yang rendah seperti tanah liat padat pada area dengan permukaan tidak permeabel seperti jalan beraspal, kawasan permukaan, dan lain-lain.

Penentuan nilai CN dapat dilihat pada tabel 2.4 dan 2.5

Tabel 2. 4 Hydrologic Soil Group

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

Tabel 2. 5 Nilai CN sesuai dengan kelompok hidrologi tanah.

No	Jenis Tata Guna Lahan	Tipe Tanah			
		A	B	C	D
1	Tanah yang diolah dan ditanami				
	Tanpa perlakuan konservasi/ladang	72	81	88	91
	Dengan konservasi (sawah dan ladang)	62	71	78	81
2	Padang rumput				

No	Jenis Tata Guna Lahan	Tipe Tanah			
		A	B	C	D
	Kondisi buruk (<50% tertutup tanah)	68	79	86	89
	Kondisi baik (>50% - 70% tertutup tanah)	49	69	79	84

3	Padang rumput	30	58	71	78
	Hutan buruk/tanaman jarang	45	66	77	83
	Penutupan baik	25	55	70	77
4	Tempat terbuka, halaman rumput, lapangan golf, kuburan dan sebagainya				
	Kondisi bagus: rumput menutup > 75% area	39	61	74	80
	Kondisi sedang: rumput menutup 50% - 70% area	49	69	79	84
5	Area bisnis dan komersial (85% kedap air)	89	92	94	95
6	Kawasan industri (72% kedap air)	81	88	91	93
7	Pemukiman				
	Luas 1/8 acre (65% kedap air)	77	85	90	92
	Luas 1/4 acre (38% kedap air)	61	75	83	87
	Luas 1/3 acre (30% kedap air)	57	72	81	86
	Luas 1/2 acre (25% kedap air)	43	70	80	85
	Luas 1 acre (20% kedap air)	51	68	79	84
8	Tempat parkir, atap, jalan mobil (dihalaman)	98	98	98	98
9	Jalan				
	Perkerasan dengan drainase	98	98	98	98
	Kerikil	76	85	89	91
	Tanah	72	82	87	89

Sumber: (Rossman & Huber, 2016)

Nilai *Curve Number* (CN) digunakan jika DAS memiliki beberapa jenis tanah dan tata guna lahan maka nilai CN yang digunakan adalah CNcomposite yang dihitung dengan persamaan berikut (Mishra, S.K., & Singh, 2003):

$$CN Composite = \frac{(\sum_{i=1}^n A_i CN_i)}{(\sum_{i=1}^n A_i)} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana:

CN Composite : CN (nilai penggunaan lahan) komposit.

A_i : Luas Sub Das

I : Indeks untuk sub DAS yang tata guna lahannya yang sama.

2.4.2 Initial Abstraction (Ia)

Initial Abstraction (Ia) adalah jumlah kehilangan air yang terjadi sebelum hujan berubah menjadi aliran permukaan. Kehilangan air ini termasuk air yang tertahan di permukaan, air yang terserap oleh vegetasi, mengalami penguapan, dan mengalami infiltrasi. Metode SCS menghasilkan hubungan empiris antara Ia dan S yang dijelaskan pada persamaan berikut (USACE, 2000).

$$S = \frac{24300}{CN} - 243CN \dots\dots\dots(2.19)$$

$$I_a = 0,2 \times S \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana:

S : Nilai retensi maksimum.

CN : *Curve Number*

I_a : *Initial Abstraction*.

2.5 Direct Runoff Models (Limpanan langsung)

Pada penelitian ini, metode yang dipilih dalam perhitungan *direct runoff* yaitu metode *SCS Unit Hydrograph* (SCS UH). Metode SCS UH untuk memodelkan respons aliran permukaan dari daerah aliran sungai (DAS) terhadap hujan. Metode ini sering digunakan dalam analisis hidrologi untuk menentukan limpanan puncak (peak discharge) dan pola aliran (hydrograph) yang dihasilkan oleh curah hujan efektif pada skala DAS. Parameter input yang digunakan mencakup nilai *time lag* (USACE, 2000). Metode hidrograph satuan SCS menggunakan hidrograph satuan kurvilinear tanpa dimensi untuk mengalirkan kelebihan presipitasi ke outlet subdas, menggunakan persamaan (2.21) (USACE, 2000).

$$Q_p = \frac{PRF \times A}{t_{lag}} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :

Q_p : debit puncak hidrograph (m³/s)

PRF : konstanta yang biasanya disebut "faktor tingkat puncak"

A : luas DAS (m²)

t_{lag} : perbedaan waktu antara pusat massa dari kelebihan curah hujan dan puncak dari unit hidrograf (jam)

Perhitungan *lag time* dapat dilihat pada persamaan (2.22) dan (2.23).

$$t_C = \frac{(L^{0,8} \times (S+1)^{0,7})}{1900 \times Y^{0,5}} \dots\dots\dots (2.22)$$

$$t_{lag} = 0.6t_C \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana:

t_C : waktu konsentrasi

t_{lag} : perbedaan waktu antara pusat massa dari kelebihan curah hujan dan puncak dari unit hidrograf (jam)

L : panjang sungai utama (ft)

Y : kemiringan DAS (%)

S : potential maximum retention (inch).

2.6 Baseflow Models

Metode *Constant Monthly* digunakan untuk memperkirakan aliran dasar (*baseflow*) dengan menetapkan nilai aliran dasar yang konstan untuk setiap bulan sepanjang tahun. Dalam metode ini, aliran dasar untuk setiap sub-DAS dihitung berdasarkan proporsi luas sub-DAS terhadap luas total DAS, kemudian dikalikan dengan debit aliran minimum bulanan (USACE, 2000). Perhitungan *Constant Monthly* dapat dilihat pada persamaan (2.24)

$$Q_{baseflow} = \left(\frac{A_{sub}}{A_{total}} \right) \times Q_{min} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana :

$Q_{baseflow}$: Aliran dasar untuk sub-DAS tertentu (m³/s)

A_{sub} : Luas sub-DAS (km²)

A_{total} : Luas total DAS (km²)

Q_{min} : Debit aliran minimum bulanan (m³/s).

2.7 Routing Models

Proses penghitungan yang menggambarkan pergerakan air hujan atau aliran air di suatu wilayah melalui sistem sungai atau saluran menuju outlet (pengambilan) disebut sebagai *routing* (USACE, 2000). *Routing models* dengan metode *Muskingum* digunakan untuk memperkirakan perubahan debit aliran sepanjang suatu saluran sungai berdasarkan prinsip kontinuitas dan penyimpanan aliran (Ikhsan et al., 2018). Metode ini sangat sesuai diterapkan pada pemodelan sungai atau saluran terbuka karena mempertimbangkan efek penyimpanan dan atenuasi debit banjir saat aliran bergerak ke hilir.. Penerapan metode ini telah banyak dilakukan dalam model seperti HEC-HMS untuk mensimulasikan hujan-aliran pada berbagai DAS (Listyarini et al., 2018). Metode *Muskingum* yang dihitung dapat dilihat pada persamaan (2.25) dan (2.26) (Ikhsan et al., 2018).

$$S = K [XI + (1 - X) O] \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana:

- S : Volume Penyimpanan (M³)
- K : Waktu Penyimpanan (*time of storage*) (s)
- X : Pembobotan Aliran
- I : Debit Inflow
- O : Debit Outflow

2.6 Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini bukan merupakan penelitian pertama dalam bidangnya. Para peneliti telah menggunakan penelitian sebelumnya yang memiliki subjek yang sama dengan tema penelitian ini sebagai referensi untuk memperluas pemahaman mengenai teori yang akan diaplikasikan dalam penelitian ini. Beberapa penelitian terdahulu yang diambil dari jurnal yang menjadi dasar dalam penelitian ini bisa dilihat pada Tabel 2.6

Tabel 2. 6 Penelitian Terdahulu

Tahun	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
-------	---------------	------------------	------------------

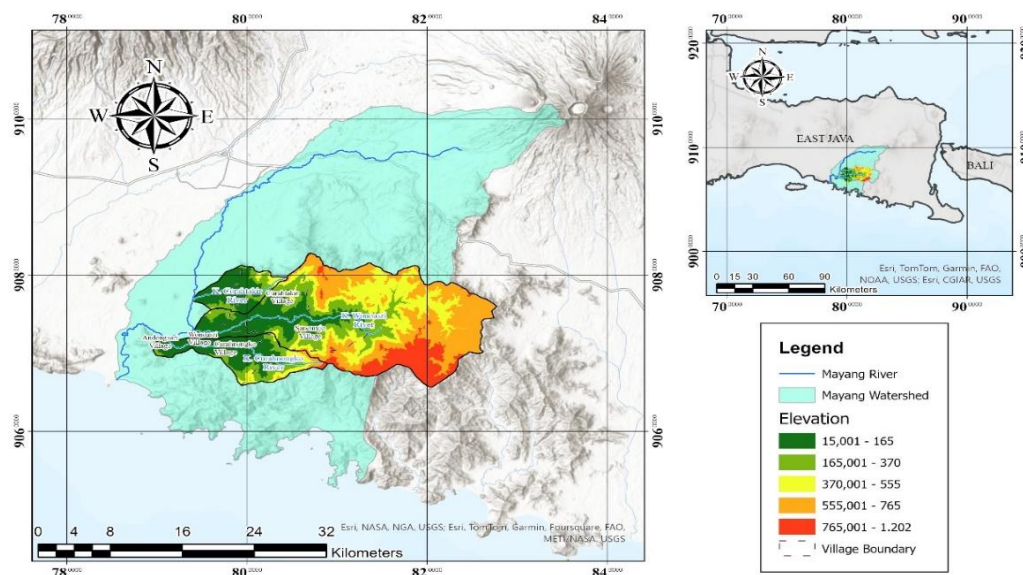
2021	Taufik Mulyanto, Fachrul Madrapriya	Studi Perencanaan Kolam Retensi Sebagai Usaha Mereduksi Banjir Kota Kendari Menggunakan HEC-HMS	<ul style="list-style-type: none"> • Debit puncak sebelum kolam retensi pada berbagai periode ulang berkisar antara 117,9 m³/s hingga 311,6 m³/s. Setelah adanya dua kolam retensi, debit puncak tereduksi antara 17,20% hingga 23,07% • Desain kolam retensi: Kolam 1 tinggi 1,5 m panjang 40 m, Kolam 2 tinggi 2 m panjang 65 m.
2022	Syofyan. Z	Kolam Retensi Sebagai Upaya Pengendalian Banjir Pada Daerah Aliran Sungai Batang Pangian	<ul style="list-style-type: none"> • Debit maksimum: 200,69 m³/s dengan periode ulang 25 tahun Waktu konsentrasi: 128,40 menit Volume kolam retensi minimal: 35.620 m³ • Kolam retensi mencapai volume maksimum dalam

			98,14 menit (1,63 jam)
2024	E Hidayah, F K Putri, M F Ma'ruf	<i>Retention pond as an alternative to mitigating runoff and sustainable water source at Jember University</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Efektivitas Lokasi: Kolam retensi lebih efektif ditempatkan di dekat sumber aliran puncak • Kapasitas Optimal: Kolam dengan kapasitas 80% dari total maksimum lebih baik untuk panen air hujan. • Pengurangan Aliran Puncak: Kolam retensi dapat mengurangi aliran puncak secara signifikan di subcatchment, meskipun tidak selalu berdampak besar pada outfall.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Studi

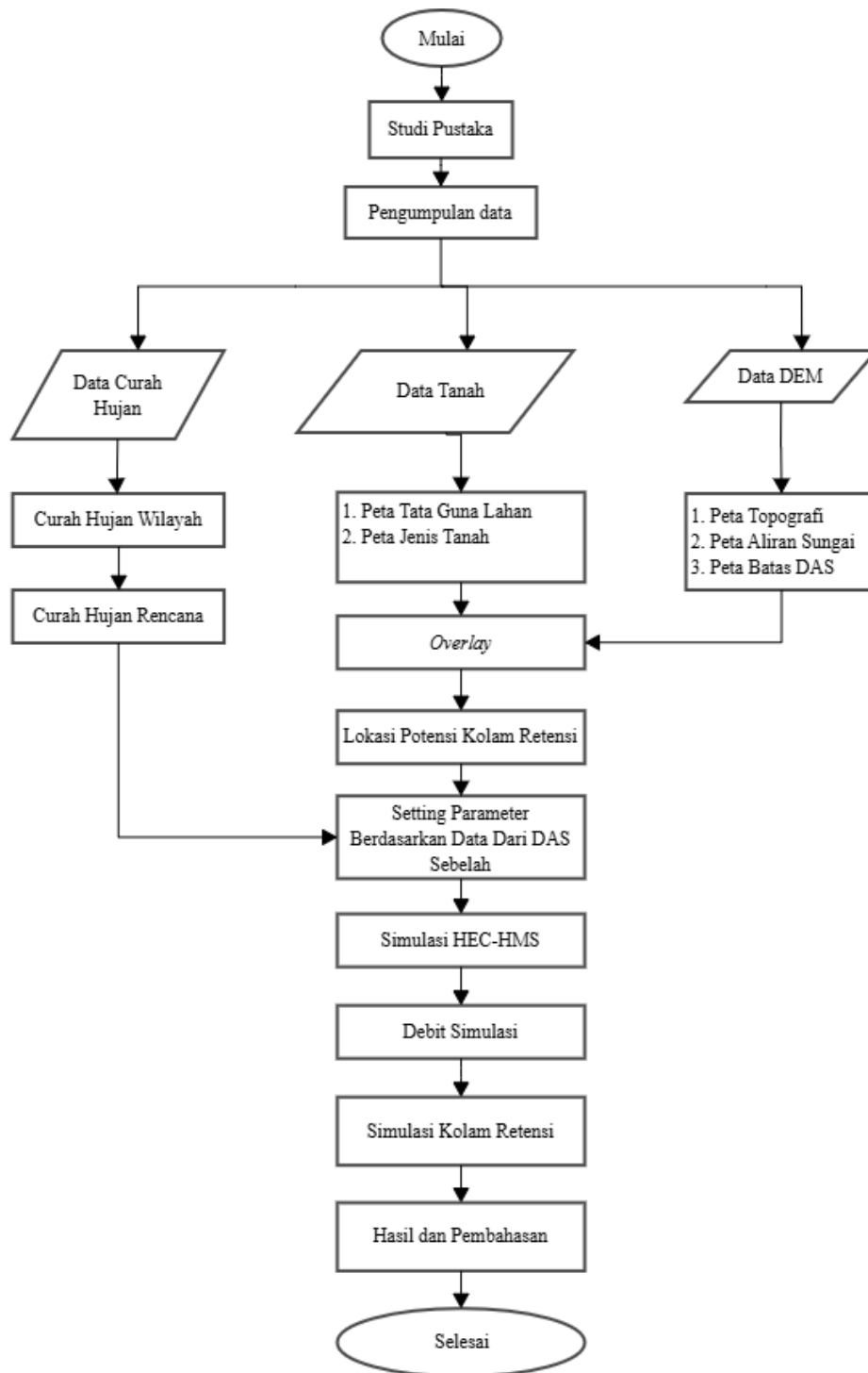
Studi ini dilakukan di DAS Sanen tepatnya pada aliran Kali Sanen di Kecamatan Tempurejo, Kabupaten Jember, Provinsi Jawa Timur dengan keseluruhan luas DAS 320 km². Hulu dari DAS Mayang terletak di barat daya lereng Gunung Raung mengalir menuju pesisir selatan Jawa melalui sisi tenggara Kota Jember dan bermuara di daerah Batuulo dengan koordinat 8.44°S, 113.5896°E. Berdasarkan klasifikasi elevasi tertinggi berada pada ketinggian sekitar 1.200 mdpl dan elevasi terendah berada pada ketinggian 15 mdpl. seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1



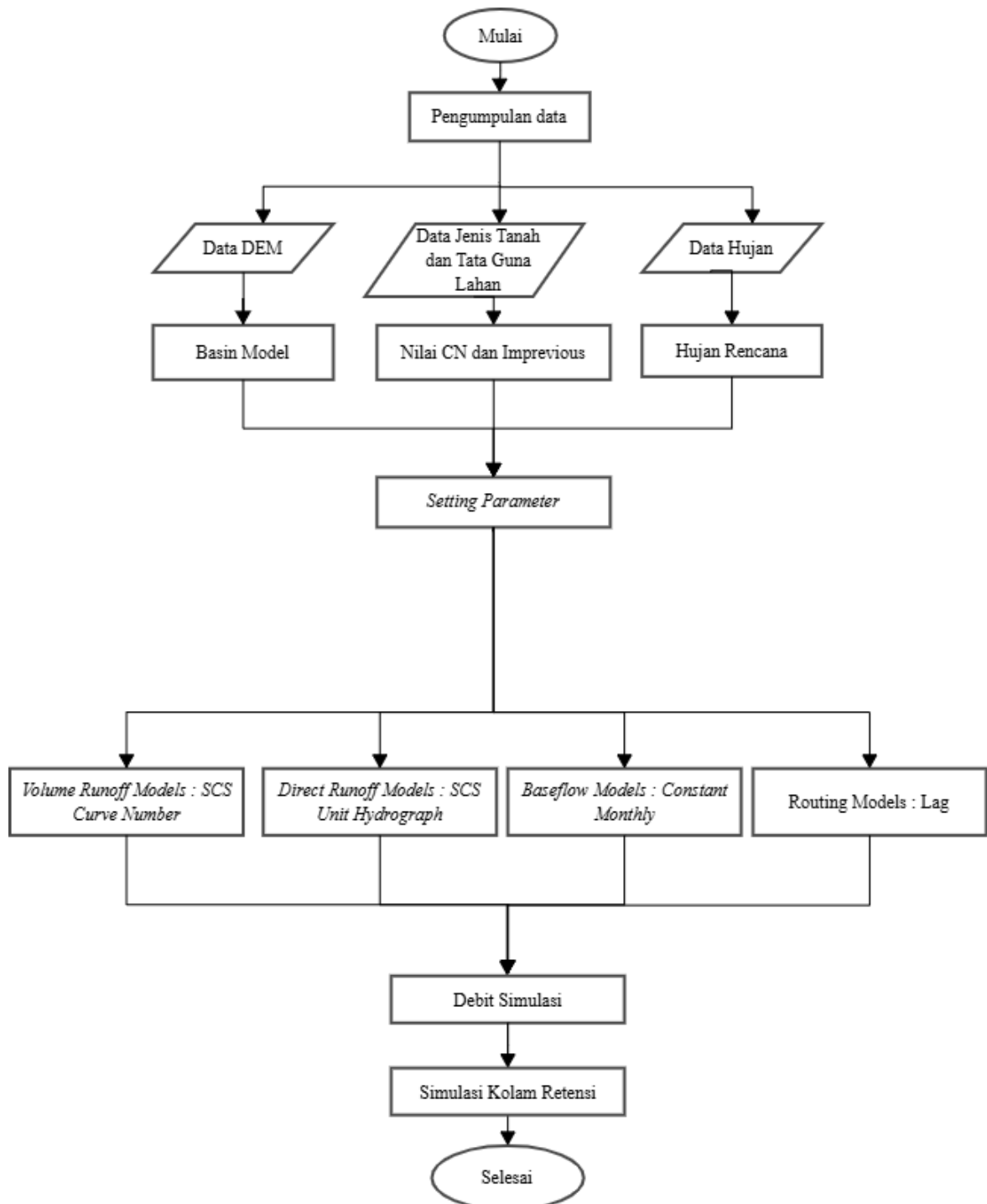
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

3.2 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini terdiri dari 3 tahapan utama, meliputi tahap 1 yaitu pengumpulan dan pengolahan data, tahap 2 yaitu pemodelan HEC-HMS, serta tahap simulasi kolam retensi untuk reduksi banjir menggunakan. Secara detail urutan kegiatan dijelaskan dalam Gambar 3.2 dan diagram alir pemodelan dengan HEC-HMS dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pemodelan

3.2.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari data debit lapaangan, jenis tanah, data DEM, tata guna lahan, dan data curah hujan seperti dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Data yang digunakan

Jenis Data	Sumber Data	Kegunaan Data
Jenis tanah	FAO <i>Soil Map</i> : http://www.fao.org/soils-portal/data-soil-maps-and-databases/en/	Untuk identifikasi tipe-tipe tanah di DAS Mayang
Data DEM	Badan Informasi Geospasial : https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/ dan USGS Earth Explorer : https://earthexplorer.usgs.gov/	Menentukan batas DAS dan identifikasi aliran sungai
Tata guna lahan tahun 2022	Citra Landsat 8 OLI https://earthexplorer.usgs.gov/	Data Penggunaan lahan tahun 2022 untuk menentukan nilai CN
Curah hujan harian 2014-2023	Dinas PU Binamarga Sumber Daya Air Kab. Jember	Data curah hujan historis untuk perhitungan curah tertinggi dan hujan rencana

3.3 Pengolahan Data

Berikut langkah-langkah dalam pengolahan data yang akan dilakukan pada penelitian ini, sebagai berikut.

3.3.1 Pengolahan Data Hidrologi

1. Penentuan curah hujan wilayah dengan menghitung rata-rata curah hujan dari beberapa stasiun hujan di wilayah penelitian

2. Penentuan Curah hujan rencana dengan menggunakan analisis frekuensi untuk menentukan curah hujan yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tertentu. (misalnya 2 tahun, 5 tahun).

3.3.2 Pengolahan Data Spasial

1. Pembuatan peta topografi untuk menunjukkan ketinggian tanah pada wilayah penelitian.
2. Penentuan batas DAS untuk menggunakan data DEM untuk menentukan batas-batas DAS yang dimodelkan.
3. Data Spasial juga digunakan untuk menentukan lokasi kolam retensi dengan metode overlay dengan menggabungkan dengan parameter lainnya.

3.3.3 Penentuan Parameter

1. Penentuan parameter *SCS Curve Number* (SCS CN), berupa nilai *Curve Number* (CN), *Initial Abstraction* (Ia), dan *Impervious Area* dengan menggunakan jenis tanah dan tata guna lahan.
2. Penentuan parameter *SCS Unit Hydrograph* (SCS UH), yaitu *lag time*.
3. Penentuan parameter *Baseflow Models* (Aliran dasar) menggunakan *constantly month*.
4. Penentuan parameter *Routing Models* (Penelusuran) menggunakan lag.

3.4 Penentuan Lokasi Kolam Retensi

Setelah data diperoleh, selanjutnya melakukan analisis terhadap kolam retensi. Analisis dilakukan untuk menentukan lokasi perencanaan kolam retensi. Identifikasi lokasi dilakukan dengan menggunakan metode *Overlay*. Metode *Overlay* menggabungkan data peta topografi, data penggunaan lahan, peta aliran sungai, dan lain-lain. Tujuan dari metode ini untuk mencari lokasi yang memenuhi kriteria untuk implementasi kolam retensi guna reduksi banjir pada lokasi penelitian.

3.5 Simulasi HEC-HMS

3.5.1 Input Parameter

1. Memasukkan data curah hujan dengan input data curah hujan wilayah dan curah hujan rencana.
2. Memasukkan data topografi dan aliran sungai ke dalam model.
3. Memasukkan parameter SCS *Curve Number* (SCS CN), yaitu nilai *Curve Number* (CN) dan *Initial Abstraction* (Ia).
4. Memasukkan parameter SCS *Unit Hydrograph* (SCS UH) yaitu nilai *lag time*.
5. Memasukkan parameter *Baseflow Models* (Aliran dasar) menggunakan *constantly monthly*.
6. Memasukkan parameter *Routing Models* (Penelusuran) menggunakan Lag, Lag & K, Muskingum

3.5.2 Simulasi

1. Pembuatan model hujan (*Precipitation*) menggunakan data curah hujan untuk membuat model pola dan intensitas hujan yang terjadi.
2. Pembuatan Model Volume Aliran (*Volume Runoff Models*) untuk menghitung volume air yang mengalir dari suatu DAS.
3. Pembuatan Model Aliran Langsung (*Direct Runoff*) untuk memperkirakan aliran permukaan yang terjadi setelah hujan.
4. Pembuatan Model Aliran Dasar (*Baseflow Models*) untuk memodelkan komponen aliran sungai yang berasal dari tanah.
5. Pembuatan *Routing Models* untuk mensimulasikan arah pergerakan air pada DAS..

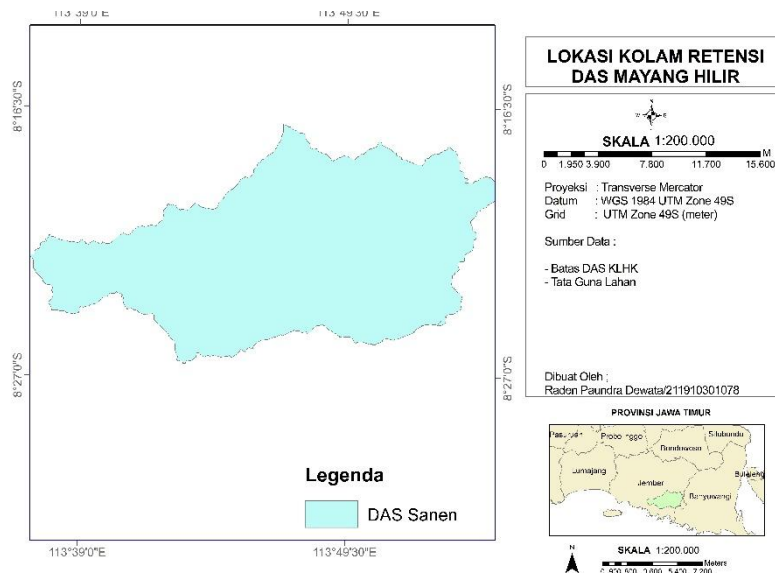
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Data Spasial

Analisis data spasial adalah metode yang digunakan untuk membuat model peta menggunakan data model elevasi digital (DEM). Dalam penelitian ini data DEM diolah menggunakan perangkat lunak Arc-GIS dengan tujuan untuk menghasilkan peta wilayah DAS, batas sub DAS, jaringan sungai, tata guna lahan, dan jenis tanah. Yang kemudian peta elevasi, tata guna lahan, dan jenis tanah dilakukan overlay untuk menentukan lokasi kolam retensi.

4.1.1. Batas Das

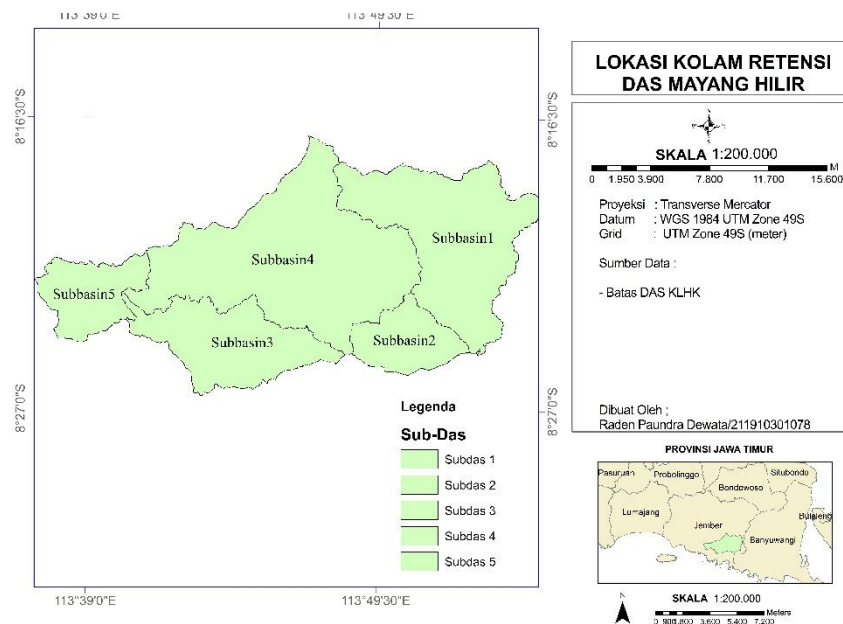
Batas DAS diidentifikasi melalui proses delineasi menggunakan perangkat lunak Arc-GIS dengan memanfaatkan data dari DEMNAS. Proses delineasi menghasilkan wilayah daerah tangkapan. Hasil delineasi DAS Mayang menggunakan program Arc-GIS memiliki luas $\pm 320 \text{ km}^2$ dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Batas DAS

4.1.2. Batas Sub-das

Batas sub DAS diidentifikasi melalui proses deliniasi menggunakan perangkat lunak Arc-GIS dengan memanfaatkan data dari DEMNAS. Proses deliniasi menghasilkan wilayah daerah tangkapan yang menghasilkan sub DAS. Hasil deliniasi sub DAS Mayang menggunakan program Arc-GIS dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Batas Sub-DAS

Berdasarkan peta Sub-DAS pada gambar 4.2 yang telah diproses menggunakan perangkat lunak Arc-GIS diperoleh luas wilayah dan persentase masing-masing Sub-DAS

Tabel 4. 1 Luas Wilayah Sub-DAS

No.	Sub-DAS	Luas (Km2)	Persentase (%)
1	Sub-DAS 1	86,78	27%
2	Sub-DAS 2	24,95	8%
3	Sub-DAS 3	50,43	16%
4	Sub-DAS 4	129,1	25%
5	Sub-DAS 5	27,97	9%
Total		319,23	100%

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

4.1.3. Peta Jaringan Sungai

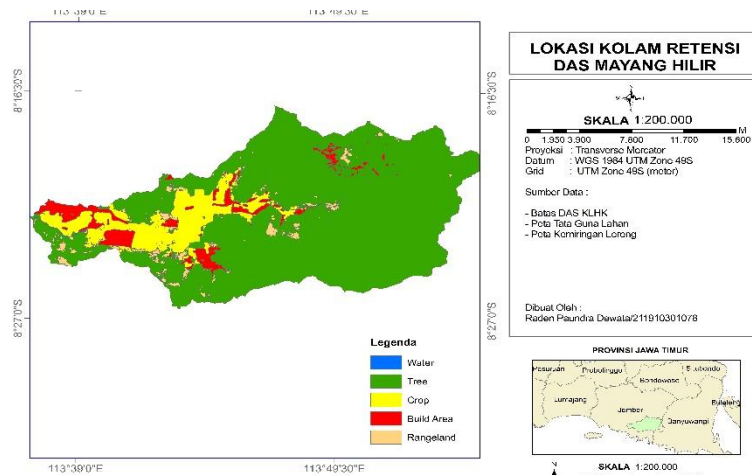
Jaringan sungai merupakan pola aliran air yang terbentuk secara alami di permukaan bumi, terdiri dari sungai utama dan anak-anak sungai yang saling terhubung. Jaringan sungai didapat melalui pengolahan data DEM menggunakan HEC-HMS dengan menganalisis karakteristik sungai, seperti panjang, pola jaringan, dan kemiringannya. Hasil dari pengolahan data menghasilkan panjang sungai terpanjang ± 45 km. Peta jaringan sungai dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Peta Jaringan Sungai

4.1.4. Peta Tata Guna Lahan

Klasifikasi tata guna lahan yang digunakan tahun 2022 dari ESRI. Tata guna lahan diolah menggunakan perangkat lunak ARC-GIS. Proses pengolahan ini untuk mengidentifikasi dan memetakan berbagai jenis penggunaan lahan di DAS Mayang. Hasil dari pengolahan data dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Peta Tata Guna Lahan

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan Arc-GIS diperoleh hasil luas wilayah dan persentase tata guna lahan dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4. 2 Luas dan Persentase Tata Guna Lahan

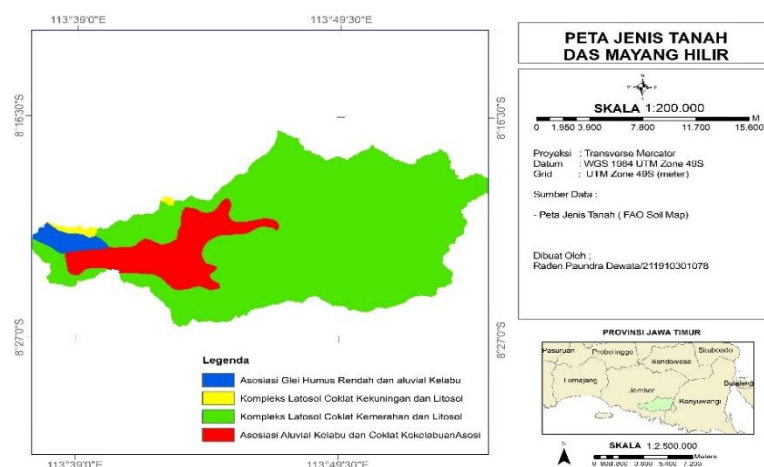
No.	Tata Guna Lahan	Luas (KM2)	Persentase(%)
1	Water	0,37	0%
2	Tree	257,72	81%
3	Crops	38,43	12%
4	Build Area	14,14	4%
5	Rangeland	8,56	3%
Jumlah		319,23	100%

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

Berdasarkan tabel 4.2 dapat diketahui bahwa tata guna lahan pada DAS Sanen didominasi oleh wilayah pepohonan dengan persentase sebesar (81%) ini membuktikan bahwa area tersebut memiliki tutupan pohon yang luas, wilayah pertanian dengan persentase sebesar (12%) seperti padi, jagung, dan kedelai. Lalu area terbangun dengan persentase (4%) seperti rumah, desa padat, jalan aspal, dan aspal. Lalu padang rumput dengan persentase (3%) seperti lapangan, dan savana dengan sedikit pepohonan. Dan juga wilayah air dengan persentase (0%) seperti sungai, kolam, dan lahan tergenang.

4.1.5. Peta Jenis Tanah

Klasifikasi jenis tanah diperoleh dari FAO Soil Map. Jenis tanah diolah menggunakan perangkat lunak Arc-GIS yang menghasilkan 6 jenis tanah yang



Gambar 4. 5 Peta Jenis Tanah

berada pada DAS Mayang. Hasil pengolahan jenis tanah menggunakan perangkat lunak Arc-GIS dapat dilihat pada gambar 4.5.

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan Arc-GIS diperoleh hasil luas wilayah dan persentase jenis tanah dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4. 3 Luas dan Persentase Jenis Tanah

No.	Jenis Tanah	Luas (Km ²)	Persentase (%)
1	Asosiasi Glei Humus Rendah dan aluvial Kelabu	11,3	4%
2	Kompleks Latosol Coklat Kekuningan dan Litosol	3,78	1%
3	Kompleks Latosol Coklat Kemerahan dan Litosol	237,14	74%
4	Asosiasi Aluvial Kelabu dan Coklat Kekelabuan	67,08	21%
Jumlah		319,23	100%

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

Berdasarkan tabel 4.3 diketahui bahwa jenis tanah pada DAS Sanen ini didominasi oleh Kompleks Latosol Coklat Kemerahan dan Litosol dengan persentase sebesar (74%) menunjukkan bahwa karakteristik tanah dengan potensi kesuburan yang beragam, Asosiasi Aluvial Kelabu dan Coklat Kekelabuan dengan persentase sebesar (21%) menunjukkan bahwa tanah cocok untuk pertanian seperti padi, jagung, dan palawija. Asosiasi Glei Humus Rendah dan aluvial Kelabu dengan persentase sebesar (4%) menunjukkan bahwa tanah memiliki tingkat kesuburan tinggi. Kompleks Latosol Coklat Kekuningan dan Litosol dengan persentase sebesar (1%) menandakan keberadaan tanah dengan kesuburan dan distribusi terbatas.

4.1.6. Penentuan Lokasi Kolam Retensi

Penentuan lokasi kolam retensi dilakukan menggunakan perangkat lunak Arc-GIS dengan metode overlay. Metode ini menggabungkan peta slope dan peta tata guna lahan, untuk menentukan titik lokasi yang tepat untuk penerapan kolam retensi. Sebelum dilakukan penggabungan terlebih dahulu menentukan skor untuk masing-masing kriteria guna mendapat skor optimal. Kriteria kolam retensi dapat dilihat pada Tabel 2.1

a. Skor Kemiringan Lereng.

Skor yang diberikan mulai dari 1-5 untuk masing-masing klasifikasi pada kemiringan lereng sesuai dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Pembangunan Rakyat No.41 Tahun 2007 (Ditjen Penataan Ruang, 2007). hasil dari pemberian skor kemiringan lereng dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Skor Kemiringan Lereng

No.	Klasifikasi Kemiringan Lereng	Skor
1	Datar	5
2	Landai	4
3	Agak Curam	3
4	Curam	2
5	Sangat Curam	1

Sumber : (Ramadhani, 2023)

b. Skor Tata Guna Lahan.

Skor yang diberikan mulai dari 1-5 untuk masing-masing klasifikasi pada kemiringan lereng, hasil dari pemberian skor kemiringan lereng dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4. 5 Skor Tata Guna Lahan

No.	Tata Guna Lahan	Skor
1	Water	1
2	Tree	2
3	Crops	5
4	Build Area	3
5	Rangeland	4

Sumber : (Irmawati et al., 2023)

c. Jumlah Skor dan Klasifikasi

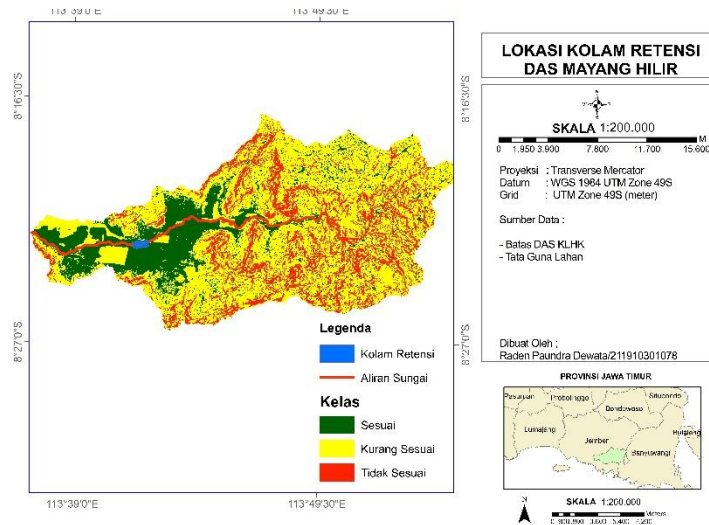
Setelah mendapat skor dari masing-masing kriteria selanjutnya kedua skor dijumlahkan dan dibuat klasifikasi terdapat 3 klasifikasi yang digunakan yaitu sesuai, kurang sesuai, dan tidak sesuai. Hasil dari penjumlahan skor dan pembuatan klasifikasi dapat dilihat pada tabel 4.6

Tabel 4. 6 Jumlah Skor dan Klasifikasi

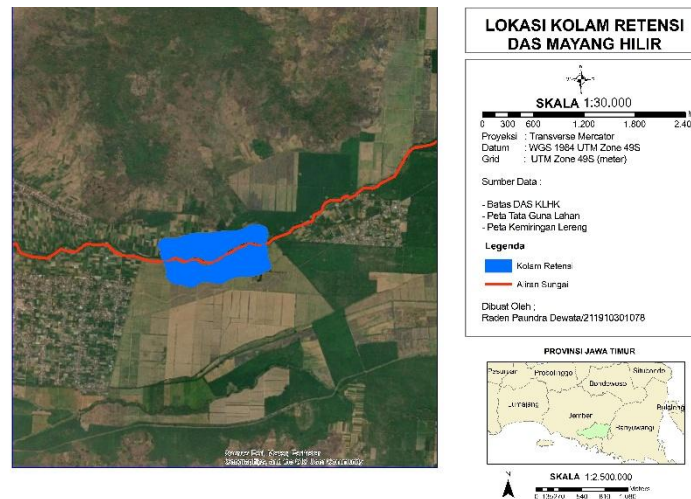
No.	Jumlah Skor	Kriteria	Klasifikasi
1	2		
2	3	≥ 2 dan ≤ 4	Tidak Sesuai
3	4		
4	5		
5	6	≥ 5 dan ≤ 7	Kurang Sesuai
6	7		
7	8		
8	9	≥ 8 dan ≤ 10	Sesuai
9	10		

(Sumber : Analisis Penulis, 2025).

Dari hasil penjumlahan skor dan pembuatan klasifikasi dapat menghasilkan peta klasifikasi yang diolah menggunakan Arc-GIS, selanjutnya penentuan lokasi kolam retensi menggunakan peta hasil overlay. Hasil overlay dan lokasi kolam retensi dapat dilihat pada gambar 4.6 dan 4.7.



Gambar 4. 6 Hasil Overlay



Gambar 4. 7 Lokasi Kolam Retensi

Berdasarkan hasil overlay seperti pada gambar 4.6 dan lokasi kolam retensi pada gambar 4.7 ditentukan bahwa lokasi kolam retensi berada pada Desa Wonoasri, Kec. Tempurejo.

4.2. Analisis Hidrologi

4.2.1. Cek Data Hidrologi

Berdasarkan pengecekan dari data 6 stasiun observasi hujan, tidak ditemukan adanya data curah hujan yang hilang atau tidak tercatat. Hal ini menunjukkan bahwa semua stasiun observasi tersebut berhasil merekam data curah

hujan secara lengkap. Hasil rekapitulasi curah hujan maksimal dapat dilihat pada tabel 4.7.

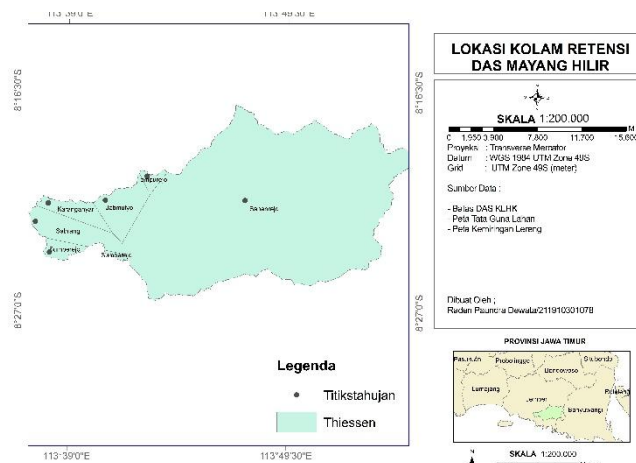
Tabel 4. 7 Data Hujan Maksimum Tahunan

Tahun	Data Hujan Maksimum Tahunan (mm)					
	Sabrang	Jatimulyo	Sumberejo	Karanganyar	Tempurejo	Sanenrejo
2014	84	140	160	79	196	148
2015	63	72	85	59	63	119
2016	79	95	90	117	90	97
2017	98	104	110	88	67	84
2018	93	104	110	122	171	235
2019	72	92	126	91	65	87
2020	43	52	55	59	102	86
2021	75	90	84	92	103	120
2022	91	75	61	76	91	75
2023	59	50	55	64	96	73

(Sumber : Analisis Penulis, 2025).

4.2.2 Curah Hujan Wilayah

Curah hujan wilayah yang digunakan dalam penelitian ini ditentukan menggunakan metode *Poligon Thiessen*, dengan menggunakan alat bantu *software* Arc-GIS. Metode ini membagi area kajian menjadi beberapa poligon berdasarkan kedekatan setiap titik di wilayah tersebut dengan stasiun pengamatan hujan terdekat. Proses perhitungan dilakukan dengan memanfaatkan data koordinat stasiun hujan, sehingga setiap poligon merepresentasikan wilayah pengaruh satu stasiun hujan tertentu. Hasil pengolahan *Poligon Thiessen* dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4. 8 Poligon Thiessen

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan Arc-GIS diperoleh hasil luas wilayah dan persentase *Poligon Thiessen* dapat dilihat pada tabel 4.8

Tabel 4. 8 Luas dan Persentase *Poligon Thiessen*

No.	Poligon Thiessen	Luas (Km ²)	Persentase (%)
1	Sabrang	5,18	2%
2	Jatimulyo	8,46	3%
3	Sumberejo	14,19	4%
4	Karanganyar	15,71	5%
5	Tempurejo	273,32	86%
6	Sanenrejo	2,36	1%
Jumlah		319,23	100%

(Sumber : Analisis Penulis, 2025).

a. Konsistensi Data

Uji konsistensi data dengan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) bertujuan untuk mengevaluasi kehomogenan data dalam seri waktu. Metode ini sering digunakan dalam analisis hidrologi untuk memastikan bahwa data curah hujan, aliran sungai, atau data hidrologi lainnya konsisten dan bebas dari perubahan sistematis yang dapat mempengaruhi hasil analisis. Hasil uji konsistensi data dapat dilihat pada tabel 4.9

Tabel 4. 9 Uji Konsistensi Data

STA	Q dan R Hitung		Q dan R Kritis, $\alpha = 5\%$		Keterangan
	Q/(n ^{0,5})	R/(n ^{0,5})	Q/(n ^{0,5})	R/(n ^{0,5})	
Sabrang	0,75	0,84	1,14	1,28	Konsisten
Jatimulyo	1,03	1,03	1,14	1,28	Konsisten
Sumberejo	1,18	1,18	1,14	1,28	Konsisten
Karanganyar	0,72	1,19	1,14	1,28	Konsisten
Tempurejo	0,68	0,68	1,14	1,28	Konsisten
Sanenrejo	0,82	0,83	1,14	1,28	Konsisten

(Sumber : Analisis Penulis, 2025).

b. Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi pola pengulangan suatu kejadian berdasarkan periode ulang dan probabilitasnya, misalnya untuk 10 tahun, 20 tahun, dan seterusnya yang akan datang. Dalam perhitungan parameter statistik data hujan diurutkan dari nilai tertinggi hingga terendah. Hasil perhitungan parameter statistik untuk setiap distribusi disajikan pada tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Analisis Frekuensi

No.	Tahun	R	\bar{R}	$R-\bar{R}$	$(R-\bar{R})^2$	$(R-\bar{R})^3$	$(R-\bar{R})^4$
1	2014	216,76	108,40	108,36	11741,90	1272352,20	137872122,60
2	2015	143,23	108,40	34,83	1213,44	42269,77	1472447,67
3	2016	115,02	108,40	6,62	43,81	290,00	1919,55
4	2017	111,63	108,40	3,23	10,41	33,60	108,42
5	2018	96,39	108,40	-12,01	144,16	-1730,92	20782,67
6	2019	87,06	108,40	-21,34	455,34	-9716,25	207331,40
7	2020	85,97	108,40	-22,43	502,93	-11278,70	252936,82
8	2021	81,29	108,40	-27,11	734,92	-19923,11	430102,53
9	2022	75,70	108,40	-32,70	1069,07	-34943,97	1142909,74
10	2023	70,94	108,40	-37,46	1403,48	-52578,86	1969767,38
Jumlah		1083,99			17319,46	1184762,76	143480428,78

(Sumber : Analisis Penulis, 2025).

Berdasarkan tabel 4.10. diperoleh parameter yang dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Nilai Parameter

No.	Parameter	Simbol	Nilai
1	Nilai rata-rata (mean)	\bar{R}	108,40
2	Standard deviasi (standart deviation)	S	43,87
3	Koefisien kemencengan (coefficient of skewness)	Cs	1,95
4	Koefisien ketajaman (coefficient of kurtosis)	Ck	4,12

(Sumber : Analisis Penulis, 2025).

Dari perhitungan tabel 4.8 menunjukkan nilai kemencengan (Cs) = 1,95 dan nilai koefisien ketajaman (Ck) = 4,12. Berdasarkan persyaratan pemilihan distribusi frekuensi pada tabel 2.5, maka pada penelitian ini, distribusi yang dipakai adalah distribusi Log Pearson III.

4.2.3 Curah Hujan Rencana

Analisis hujan rencana yang digunakan adalah data hujan dengan periode kala ulang 2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun. Penggambaran kala ulang ini bertujuan untuk menggambarkan berbagai tingkat kemungkinan kejadian hujan ekstrem sesuai dengan kebutuhan perencanaan. Hasil perhitungan hujan rencana untuk masing-masing kala ulang dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Perhitungan Curah Hujan Rencana

No	Thiessen	Log X_i	(Log X_i - Log X) ²	(Log X_i - Log X) ³
1	216,7590	2,3360	0,1063	0,0347
2	143,2335	2,1560	0,0214	0,0031
3	115,0181	2,0608	0,0026	0,0001
4	111,6258	2,0478	0,0014	0,0001
5	96,3922	1,9840	0,0007	0,0000
6	87,0604	1,9398	0,0049	-0,0003
7	85,9729	1,9344	0,0057	-0,0004
8	81,2896	1,9100	0,0100	-0,0010
9	75,7023	1,8791	0,0171	-0,0022
10	70,9359	1,8509	0,0253	-0,0040

(Sumber : Analisis Penulis, 2025).

Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Hujan Rencana

Kala Ulang (Tahun)	2	5	10
p	0,5	0,2	0,1
w	1,18	1,79	2,15
z	0,00	0,84	1,28
K_T	-0,21	0,71	1,33
Log X	1,98	2,11	2,21
X	95,38	130,31	160,63

(Sumber : Analisis Penulis, 2025).

a. Chi Square

Chi-square atau *chi-kuadrat* adalah pengujian perbedaan antara distribusi probabilitas dan data sampel (Soewarno, 1995). Hasil perhitungan *Chi-square* dapat dilihat pada tabel 4.14

Tabel 4. 14 Uji *Chi Square*

Kelas	Interval	E_r	O_r	$O_r - E_r$	$(O_r - E_r)^2 / E_r$
1	<001	2	2	0,0	0,00
2	001-002	2	3	1,0	0,50
3	002-003	2	1	-1,0	0,50
4	003-004	2	2	0,0	0,00
5	>004	2	2	0,0	0,00
Σ	0	10	10	X^2	1

(Sumber : Analisis Penulis, 2025).

Dari tabel 4.14 diperoleh nilai $X^2 = 1$. Berdasarkan hasil perhitungan menghasilkan derajat kebebasan (dk) = 2 dan derajat kepercayaan (α) = 5 %, didapatkan nilai $Xh^2 = 5,99$. Berdasarkan perhitungan diperoleh bahwa $X^2 < Xh^2$ yaitu $1 < 5,99$, sehingga persamaan Log Pearson III diterima.

b. *Smirnov-Kolmogorov*

Uji *Smirnov Kolmogorov* (uji data horizontal) digunakan untuk menguji simpangan secara mendatar (Soewarno, 1995). Hasil perhitungan *Smirnov Kolmogorov* dapat dilihat pada tabel 4.15

Tabel 4. 15 *Smirnov-Kolmogorov*

No.	Thiessen	Log Xi	P (Xi)	F (t)	P' (Xi)	ΔP
1	216,76	2,34	0,09	2,21	0,01	0,077
2	143,23	2,16	0,18	0,99	0,16	0,021
3	115,02	2,06	0,27	0,35	0,36	0,092
4	111,63	2,05	0,36	0,26	0,40	0,035
5	96,39	1,98	0,45	-0,18	0,57	0,115
6	87,06	1,94	0,55	-0,48	0,68	0,137
7	85,97	1,93	0,64	-0,51	0,70	0,060
8	81,29	1,91	0,73	-0,68	0,75	0,024
9	75,70	1,88	0,82	-0,89	0,81	0,006
10	70,94	1,85	0,91	-1,08	0,86	0,049

(Sumber : Analisis Penulis, 2025).

Dari tabel 4.10 diperoleh nilai maksimal $\Delta P_i = 0,1019$. Berdasarkan hasil perhitungan menghasilkan $\Delta P = 0,41$. Berdasarkan perhitungan diperoleh bahwa $\Delta P_i < \Delta P$ yaitu $0,1019 < 0,41$, sehingga persamaan Log Pearson III diterima.

4.2.4 Alternatif Block Method (ABM)

ABM (*Alternatif Block Method*) digunakan untuk mengubah intensitas hujan harian menjadi hujan jam-jaman. Metode ini dilakukan untuk memungkinkan pemodelan menghasilkan output dengan interval waktu yang lebih kecil dan lebih terperinci. Hasil perhitungan serta hidrograf hujan jam-jaman menggunakan metode Alternating Block dapat dilihat pada tabel 4.16.

Tabel 4. 16 Hasil perhitungan ABM

Waktu (Jam)	Interval	ABM Kala Ulang		
		2	5	10
1	0 - 1	6,40	7,09	7,48
2	1 - 2	9,52	10,43	11,12
3	2 - 3	52,24	57,82	60,99
4	3 - 4	13,58	15,03	15,85
5	4 - 5	7,58	8,39	8,85
6	5 - 6	5,60	6,20	6,53

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

4.3 Pemodelan HEC-HMS

Pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak HEC-HMS digunakan untuk analisis hidrologi pada DAS Sanen dengan pendekatan hidrologi. Proses simulasi menghasilkan *output* berupa grafik hidrograf di setiap titik kontrol dan informasi debit pada keseluruhan DAS Sanen. Hasil pemodelan DAS Sanen menggunakan HEC-HMS dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Hasil Deliniasi HEC-HMS

4.3.1 *Volume Runoff Models*

Pada penelitian ini, perhitungan *Volume Runoff Models* (Volume Limpasan) dilakukan dengan *Loss Method*, yang dikombinasikan dengan metode *SCS Curve Number* (SCS CN). Untuk memastikan hasil simulasi yang akurat, penentuan parameter model hidrologi dengan HEC-HMS adalah langkah penting. Parameter CN (*Curve Number*), *Initial Abstraction* (Ia), dan *Impervious Area* yang diperoleh dari pengolahan data lapangan adalah bagian dari parameter ini.

a. *Curve Number*

Nilai *Curve Number* (CN) ditentukan dengan melakukan klasifikasi peta jenis tanah dan peta tata guna lahan pada DAS Sanen. Pengolahan nilai *Curve Number* dilakukan menggunakan perangkat lunak Arc-GIS menggunakan peta jenis tanah dan peta tata guna lahan. Hasil pengolahan dapat dilihat pada tabel 4.17

Tabel 4. 17 Nilai CN

No.	Sub-DAS	CN
		2022
1	Sub-DAS 1	81
2	Sub-DAS 2	79,48
3	Sub-DAS 3	80,68
4	Sub-DAS 4	80,14
5	Sub-DAS 5	83,06

(Sumber : Analisis Penulis, 2025).

Dalam penelitian ini, tidak tersedianya data debit observasi di lokasi studi menjadi kendala dalam proses kalibrasi parameter hidrologi secara langsung. Oleh karena itu, dilakukan pendekatan regionalisasi parameter dengan mengacu pada studi sebelumnya di wilayah sejenis, yaitu Sub DAS Talang, yang merupakan bagian dari DAS Mayang dan memiliki kemiripan dalam kondisi penggunaan lahan, topografi, dan iklim dengan lokasi penelitian ini.

(Putri et al., 2021) melakukan pemodelan hidrologi menggunakan HEC-HMS pada Sub DAS Talang dengan metode SCS Unit Hydrograph, di mana parameter *Curve Number* (CN) diturunkan dari kombinasi tata guna lahan dan jenis tanah melalui perhitungan CN komposit. Berdasarkan data tahun 2018, nilai CN

komposit untuk Subbasin 1, yang mencerminkan dominasi tutupan hutan, kebun, ladang, dan pemukiman, diperoleh sebesar 72,619. Dalam penelitian ini, nilai CN digunakan dengan mengacu dan disesuaikan terhadap nilai yang dihasilkan pada Sub DAS Talang. Proses penyesuaian dilakukan dengan mempertimbangkan:

- Kemiripan jenis penggunaan lahan (misalnya dominasi kebun, ladang, dan pemukiman)
- Kemiripan jenis tanah dan kondisi morfometrik DAS
- Kategori hidrologi tanah yang diasumsikan sebanding berdasarkan data sekunder

Dengan pendekatan ini, nilai CN yang digunakan dalam model ditetapkan dalam rentang yang setara (sekitar 70–80), mengikuti pola nilai CN yang diperoleh dalam jurnal referensi. Penyesuaian ini diharapkan dapat memberikan simulasi debit yang representatif secara hidrologi, dengan parameter yang telah dikalibrasi pada penelitian sebelumnya.

Tabel 4.18 Parameter CN Pembanding

No.	Sub-DAS	CN
1	Sub-DAS 1	72,61
2	Sub-DAS 2	70,74
3	Sub-DAS 3	77,10
4	Sub-DAS 4	79,03
5	Sub-DAS 5	80,28
6	Sub-DAS 6	81,19
7	Sub-DAS 7	68,11
8	Sub-DAS 8	77,43
9	Sub-DAS 9	75,37

Sumber : (Putri et al., 2021)

b. *Initial Abstraction* (Ia)

Penentuan nilai *Initial Abstraction* (Ia) dilakukan untuk identifikasi jumlah air hujan yang hilang sebelum terjadi aliran permukaan, seperti melalui proses infiltrasi, penguapan, dan intersepsi. Sebelum memperoleh nilai Ia, nilai kapasitas retensi maksimum (S) dihitung dengan metode Soil Conservation Service (SCS).

Nilai *Initial Abstraction* (Ia) dihitung dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Hasil nilai Ia dapat dilihat pada tabel 4.18

Tabel 4. 18 Nilai Ia

Sub-DAS	S	Initial Abstraction (mm)
Subdas 1	59,58	11,92
Subdas 2	65,58	13,12
Subdas 3	60,81	12,16
Subdas 4	62,94	12,59
Subdas 5	51,82	10,36

(Sumber : Analisis Penulis,2025).

c. *Imprevious Area*

Nilai Imprevious Area ditentukan untuk melihat presentase wilayah yang tidak dapat menyerap air hujan seperti jalan beraspal, rumah, dan permukaan keras lainnya. Nilai ini dihitung berdasarkan analisis tata guna lahan yang diolah menggunakan perangkat lunak Arc-GIS. Hasil nilai Imprevious Area dapat dilihat pada tabel 4.19

Tabel 4. 19 Nilai *Imprevious Area*

Sub Catchment	Luas (Km)	Imp (%)
Subdas 1	86,78	1,81
Subdas 2	24,95	0,00
Subdas 3	50,43	7,07
Subdas 4	129,08	4,76
Subdas 5	27,97	21,28

(Sumber : Analisis Penulis,2025)

4.3.2 *Direct Runoff Models* (Limpasan Langsung)

Perhitungan *Direct Runoff Models* (Limpasan langsung) pada penelitian ini menggunakan *Transform Method* dengan metode *SCS Unit Hydrograph* (SCS UH). Metode ini untuk menghitung waktu jeda antara pusat massa hujan berlebih dan

puncak aliran dalam unit hidrograf, yang dikenal sebagai *Lag Time*. *Lag Time* merupakan interval waktu yang mencerminkan respons sistem aliran sungai terhadap kelebihan curah hujan, sehingga menjadi parameter penting dalam prediksi aliran puncak. Hasil perhitungan *Lag Time* dapat dilihat pada tabel 4.20.

Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan *Lag Time*

Sub Catchment	Luas (Km)	Max Flow Length (km)	Tc	Lag Time (Jam)	Lag Time (Menit)
Subdas 1	86,78	13,88	4,78	2,87	172,22
Subdas 2	24,95	6,60	1,15	0,69	41,56
Subdas 3	50,43	16,29	1,43	0,86	51,35
Subdas 4	129,08	25,77	4,43	2,66	159,50
Subdas 5	27,97	15,13	3,01	1,81	108,41

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

4.3.3 *Baseflow Models* (Aliran Dasar)

Perhitungan Model Aliran Dasar dalam penelitian ini menggunakan metode *Constant Monthly*. Pendekatan ini dipilih karena kemudahannya dalam menggambarkan aliran dasar yang konsisten sepanjang bulan, sehingga sangat sesuai untuk mengevaluasi kontribusi aliran dasar terhadap total debit di DAS Sanen. Nilai aliran dasar dihitung dengan membagi luas setiap Sub-DAS dengan luas keseluruhan Sub-DAS, kemudian dikalikan dengan debit minimum aliran setiap bulanan. Hasil perhitungan aliran dasar dapat dilihat pada tabel 4.21

Tabel 4. 21 Hasil Aliran Dasar

Sub DAS	Debit (m3/s)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sub-DAS 1	0,70	0,71	0,80	0,96	0,76	0,74	0,55	0,55	0,55	0,51	1,09	0,77
Sub-DAS 2	0,20	0,21	0,23	0,28	0,22	0,21	0,16	0,16	0,16	0,15	0,31	0,22
Sub-DAS 3	0,41	0,42	0,47	0,56	0,44	0,43	0,32	0,32	0,32	0,30	0,64	0,45
Sub-DAS 4	1,04	1,06	1,19	1,42	1,13	1,10	0,82	0,82	0,82	0,76	1,63	1,15
Sub-DAS 5	0,23	0,23	0,26	0,31	0,25	0,24	0,18	0,18	0,18	0,16	0,35	0,25

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

4.3.4 Routing Models (Penelusuran)

Perhitungan Model Rute (Penelusuran) dalam studi ini diterapkan menggunakan *Muskingum*. Metode ini memiliki keuntungan utama berupa kesederhanaan dan penerapannya untuk merepresentasikan transfer debit dan penyimpanan. Parameter metode muskingum dihitung dengan menggunakan pendekatan empiris. Hasil dari perhitungan *parameter muskingum* dapat dilihat pada tabel 4.22

Tabel 4. 22 Hasil Perhitungan Parameter Muskingum

Sungai	Panjang (km)	Panjang (m)	Kecepatan Aliran (m/s)	X	K (Detik)	K (Jam)
1	6,699	6699	1,5	0,3	6699,00	1,861
2	25,698	25698	1,5	0,3	25698,00	7,138

(Sumber : Analisis Penulis, 2025).

4.4 Simulasi Kolam Retensi

Kolam Retensi direncanakan di Desa Wonoasri, Kec. Tempurejo dengan luas area sebesar $\pm 314.872 \text{ m}^2$ dan kedalaman 5 meter dengan volume total tampungan sebesar $1.574.360 \text{ m}^3$, penempatan kolam retensi dapat dilihat pada gambar 4.7. Penentuan lokasi tersebut dipilih karena terdapat beberapa faktor yang terdapat pada tabel 2.1 seperti:

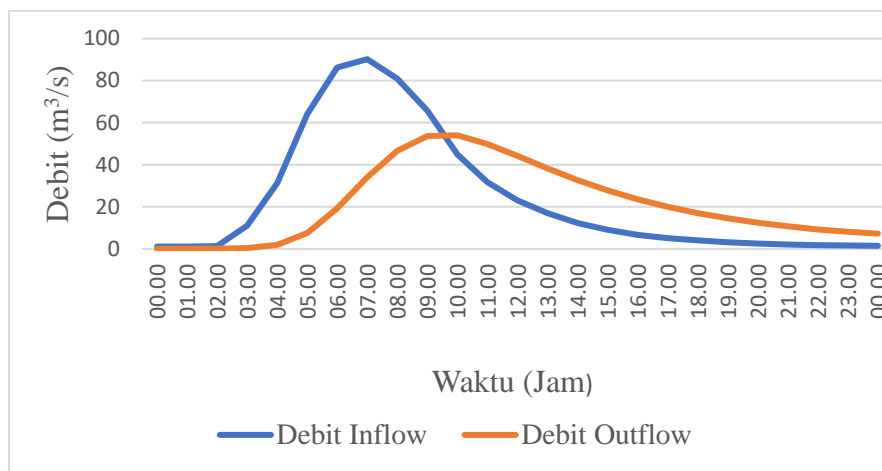
1. Kolam berada pada lahan yang datar agar air dapat tertampung dengan baik.
2. Lahan tidak dipengaruhi oleh aktifitas pembangunan atau kegiatan lainnya, dan mempunyai akses yang mudah untuk pembangunan dan pemeliharaan.
3. Kolam berada di dekat aliran sungai, sehingga air dapat masuk ke dalam tampungan dan disalurkan kembali ke sungai sesuai kebutuhan.

Selanjutnya dilakukan simulasi kolam retensi menggunakan HEC-HMS, untuk mengetahui dampak kolam retensi terhadap debit aliran. Hasil perhitungan debit pada DAS Sanen setelah penerapan kolam retensi dapat dilihat pada tabel 4.23

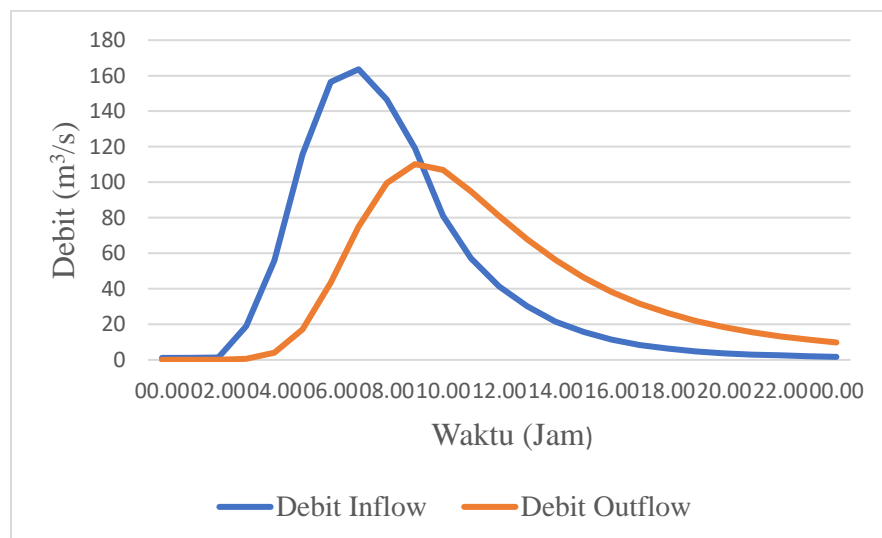
Tabel 4. 23 Debit Setelah Implementasi Kolam retensi

Kala Ulang (Tahun)	Sebelum ada Kolam Retensi (m ³ /s)	Sesudah ada Kolam Retensi (m ³ /s)	Reduksi (m ³ /s)	Persentase (%)
2	57,2	43	14,2	25
5	102,8	82,7	20,1	20
10	146,8	122,9	23,9	16

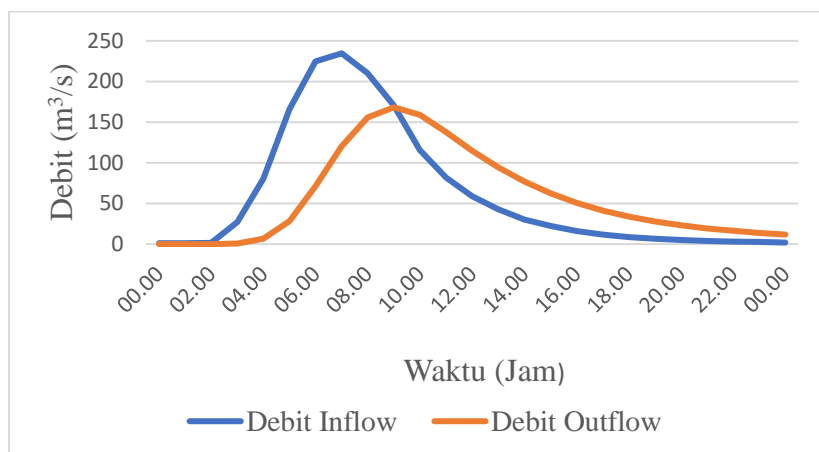
(Sumber : Analisis Penulis, 2025).



Gambar 4. 10 Perubahan Debit Kala Ulang 2 Tahun



Gambar 4. 11 Perubahan Debit Kala Ulang 5 Tahun



Gambar 4. 12 Perubahan Debit Kala Ulang 10 Tahun

Hasil simulasi kolam retensi menunjukkan efektivitas kolam retensi dalam mengurangi debit puncak aliran pada beberapa kala ulang yang berbeda. Debit aliran pada DAS Sanen mengalami penurunan setelah implementasi kolam retensi, dengan penurunan debit meningkat seiring kala ulang. Pada tabel 4.23 nilai reduksi pada kala ulang 2 tahun sebesar 14,2 m³/s (25%), pada kala ulang 5 tahun sebesar 20,1 m³/s (20%), dan pada kala ulang 10 tahun mengalami reduksi sebesar 66,4 m³/s (16%). Untuk presentase relatif mengalami penurunan karena kapasitas kolam retensi mendekati nilai maksimum pada kala ulang yang lebih besar.

Berdasarkan hasil pemodelan hidrologi menggunakan sistem kolam retensi, dapat ditarik kesimpulan bahwa debit puncak aliran pada DAS Sanen aliran kali sanen mengalami kenaikan signifikan, yang mengindikasikan perlunya mitigasi risiko banjir melalui penerapan kolam retensi. Penempatan kolam retensi direncanakan berada di Desa Wonoasri Kec. Tempurejo dengan luas ±314.872 m² dan volume tampungan 1.574.360 m³. Setelah diterapkan dalam model simulasi, kolam retensi terbukti mampu mengurangi debit puncak secara efektif, yaitu sebesar 25% pada kala ulang 2 tahun, 20% pada kala ulang 5 tahun, dan 16% pada kala ulang 10 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa kolam retensi efektif dalam mengurangi risiko banjir.

Penelitian ini melakukan penyesuaian parameter hidrologi dengan merujuk pada penelitian sebelumnya yang dilakukan pada lokasi berdekatan dan memiliki

karakteristik serupa, yaitu DAS Mayang oleh (Putri et al., 2021). Penyesuaian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan konsep regionalisasi, yang bertujuan untuk mengadopsi parameter dari wilayah sejenis guna mengatasi keterbatasan data observasi di lokasi penelitian. Salah satu parameter utama yang disesuaikan adalah Curve Number (CN), yang merepresentasikan tingkat kehilangan air akibat infiltrasi dan evapotranspirasi berdasarkan jenis tutupan lahan dan tanah. Nilai CN yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan hasil studi (Putri et al., 2021), di mana parameter tersebut telah melalui proses kalibrasi dan validasi, sehingga dapat dianggap representatif untuk wilayah sejenis. Dengan demikian, penyesuaian parameter melalui pendekatan regionalisasi ini dapat diterima secara ilmiah karena bersumber dari hasil pemodelan yang telah tervalidasi, serta mempertimbangkan kesamaan karakteristik hidrologi dan fisiografi antarwilayah.

Penelitian sistem kolam retensi untuk pengendalian banjir pernah dilakukan di Kota Kendari, debit puncak periode 2 tahun sebelum adanya kolam retensi sebesar $117,9 \text{ m}^3/\text{s}$ tereduksi 23,07% menjadi $90,7 \text{ m}^3/\text{s}$, periode 5 tahun sebelum adanya kolam retensi sebesar $163,3 \text{ m}^3/\text{s}$ tereduksi 21,74% menjadi $127,8 \text{ m}^3/\text{s}$, periode 10 tahun sebelum adanya kolam retensi sebesar $196,3 \text{ m}^3/\text{s}$ tereduksi 19,66% menjadi $157,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (Mulyanto & Madrapriya, 2021b). Penelitian eektivitas Kolam Retensi DAS Ciliwung hulu menunjukkan bahwa penambahan kolam retensi di Bendungan Ciawi dan Sukamahi Hulu mampu meredam banjir sebesar 18% dan penambahan waktu konsentrasi (T_c) selama 50 menit (Mardjono et al., 2022).

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil dari penentuan lokasi kolam retensi menggunakan metode *overlay* pada aplikasi Arc-GIS, dengan menggabungkan peta kemiringan lereng dan tata guna lahan, lalu diberikan skoring pada masing-masing kriteria menghasilkan lokasi kolam retensi berada di Desa Wonoasri, Kec. Tempurejo.
2. Hasil simulasi menggunakan HEC-HMS pada DAS Sanen menunjukkan bahwa nilai debit yang didapatkan mengalami kenaikan untuk berbagai kala ulang. Pada kala ulang 2 tahun sebesar 57,2 m³/s, pada kala ulang 5 tahun sebesar 102,8 m³/s, dan pada kala ulang 10 tahun sebesar 146,8 m³/s. Data ini dapat menjadi acuan untuk pengelolaan dan pengendalian risiko banjir di wilayah tersebut.
3. Berdasarkan hasil simulasi kolam retensi menggunakan HEC-HMS, dengan rencana kolam retensi memiliki tampungan sebesar 1.574.360 m³ menunjukkan penurunan debit puncak kala ulang 2 tahun sebelum adanya kolam retensi sebesar 57,2 m³/s tereduksi 14,2 m³/s (25%) menjadi 43 m³/s, kala ulang 5 tahun sebelum adanya kolam retensi sebesar 103,8 m³/s tereduksi 20,1 m³/s (20%) menjadi 82,7 m³/s, kala ulang 10 tahun sebelum adanya kolam retensi sebesar 146,8 m³/s tereduksi 66,4 m³/s (16%) menjadi 122,9 m³/s.

Pemodelan menggunakan HEC-HMS memiliki keterbatasan dalam mengakomodasi kompleksitas teknis dan geometris kolam retensi, termasuk dalam penerapan metode routing Muskingum. Dalam HEC-HMS, parameter K dan X metode Muskingum ditentukan secara numerik atau melalui pendekatan kalibrasi, namun tidak secara langsung mempertimbangkan dimensi fisik kolam retensi seperti luas tampungan dan bentuk.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Mencari data debit lapangan untuk melakukan kalibrasi dan validasi agar hasil pemodelan dapat merepresentasikan kondisi sebenarnya di lapangan dan model dapat digunakan untuk memprediksi aliran pada kondisi yang lain dengan akurasi yang dapat diterima.
2. Menentukan lokasi kolam retensi lebih dari satu titik untuk melihat tingkat reduksi debit banjir menggunakan kombinasi dari beberapa kolam retensi pada satu wilayah.
3. Analisis yang dilakukan hanya membahas aspek hidrologi menggunakan model HEC-HMS. Untuk penelitian mendatang, disarankan untuk melakukan analisis hidrolika pada kolam retensi. Metode ini akan memberikan gambaran tentang kinerja kolam retensi dalam mengurangi risiko banjir.
4. Sebagai pengembangan dari penelitian ini, disarankan untuk melakukan pemodelan hidrodinamika menggunakan HEC-RAS guna mendapatkan gambaran yang lebih rinci mengenai perilaku aliran sungai dan efektivitas infrastruktur pengendali banjir, seperti kolam retensi, dalam skala spasial dan temporal yang lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- Bruijnzeel, L. A. (2004). Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? In *Agriculture, Ecosystems and Environment* (Vol. 104, Issue 1). <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.015>
- Dasanto, B., & Risyanto. (2006). Evaluasi Dampak Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Volume Limpasan Studi Kasus: DAS Ciliwung Hulu, Jawa Barat. *J. Agromet Indonesia*, 20(2), 1–13.
- Ditjen Penataan Ruang. (2007). *Pedoman Kriteria Teknis Kawasan Budi Daya: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 41/PRT/M/2007. 41*, 1–60.
- Durin, B., Kranjčić, N., Kanga, S., Singh, S. K., Sakač, N., Pham, Q. B., Hunt, J., Dogančić, D., & Di Nunno, F. (2022). Application of Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS) method in hydrology – an overview. *Advances in Civil and Architectural Engineering*, 13(25), 58–72. <https://doi.org/10.13167/2022.25.6>
- Ehrmann, S., Seppelt, R., & Meyer, C. (2020). Harmonise and integrate heterogeneous areal data with the R package arealDB. *Environmental Modelling and Software*, 133(iDiv), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104799>
- Hidayah, E., Putri, A. P. P., & Saifurridzal, S. (2024). Analisis Potensi Penerapan Sistem Rainwater Harvesting di Daerah Aliran Sungai Bedadung Kabupaten Jember. *Jurnal Teknik Sipil*, 30(2), 233–244. <https://doi.org/10.5614/jts.2023.30.2.11>
- Ikhsan, M., Refiyanni, M., & Nazimi, D. (2018). Studi Penelusuran Aliran Pada Sungai Krueng Meureubo Kecamatan Meurebo Kabupaten Aceh Barat. *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi*, 4(1), 52–61. <https://doi.org/10.35308/jts-utu.v4i1.589>
- Irmawati, V., Cahyono, O., Mujiyo, Maro'ah, S., Istiqomah, N. M., & Romadhon, M. R. (2023). Flood Susceptibility Index Analysis Using Overlay Method and GIS-based. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 12(2), 553–561. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v12i2.52737>
- Kurniawan, B., Ruhiat, Y., & Septiyanto, R. F. (2019). Penerapan Metode Thiessen Polygon untuk Mendeteksi Sebaran Curah Hujan di Kabupaten Tangerang. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Fisika Untirta*, 2(1), 122–130.
- Limantara, L. M. (2018). *Rekayasa Hidrologi*. ANDI.
- Listyarini, D., Hidayat, Y., & Tjahjono, B. (2018). Mitigasi Banjir Das Citarum Hulu Berbasis Model Hec-Hms. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 20(1), 40–48. <https://doi.org/10.29244/jitl.20.1.40-48>
- Mardjono, A., Juwono, P. T., Limantara, L. M., & Suhartanto, E. (2022). Model of Flood Attenuation by Combining Dry Dam and Retention Pond Distribution. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 49(8), 25–31. <https://doi.org/10.55463/issn.1674-2974.49.8.4>
- Mishra, S.K., & Singh, V. P. (2003). *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. Springer.
- Mulyanto, T., & Madrapriya, F. (2021). Studi Perencanaan Kolam Retensi Sebagai Usaha Mereduksi Banjir Kota Kendari Menggunakan HEC-HMS. *Seminar*

- Nasional Dan Diseminasi Tugas Akhir*, 2021.
- Nawawi, I. (2022, November 29). *Dalam Dua Hari, 4 Kecamatan di Jember Dilanda Banjir Akibat Luapan Air Sungai*. TrinunJember.Com. <https://surabaya.kompas.com/read/2022/12/29/140317778/banjir-dan-longsor-landa-kabupaten-jember-4-kecamatan-terdampak>
- Pelealu, R. H., Sembel, A. S., & Warouw, F. (2022). Potensi Lokasi Penerapan Infrastruktur Hijau pada Daerah Aliran Sungai Tondano di Kota Manado. *Sabua : Jurnal Lingkungan Binaan Dan Arsitektur*, 11(2), 1–10. <https://doi.org/10.35793/sabua.v11i2.45968>
- Priambodo, S., & Hamzah, Y. S. (2024). Kajian terhadap Pengendalian Puncak Banjir dengan Menggunakan Kolam Retensi pada DAS Bekala di Kota Medan. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(2).
- Putri, D. A. I., Widiarti, W. Y., & Halik, G. (2021). Dampak Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Puncak Di Sub Das Talang Kabupaten Jember. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(1), 30–38. <https://doi.org/10.24002/jts.v16i1.4216>
- Ramadhani, S. (2023). *Analisis Tingkat Kerawanan Bencana Banjir Pada Kawasan Perkotaan Di Kecamatan Rasanae Barat Kota Bima*. 37.
- Rossmann, L. A., & Huber, W. C. (2016). Storm water management model reference manual – Volume I Hydrology (Revised). *Environmental Protection Agency*, I(EPA/600/R-17/111), 231.
- Saragih, D. F., Medan, P. N., Abdullah, R., & Ahamad, M. S. S. (2020). *UNTUK PENGELOLAAN AIR HUJAN PERKOTAAN MENGGUNAKAN METODE GIS - MCDA and A HP berkurangnya area yang dapat menyerap air hujan . Kolam retensi adalah salah*. 129(May).
- Shuaibu, A., Mujahid Muhammad, M., Bello, A. A. D., Sulaiman, K., & Kalin, R. M. (2023). Flood Estimation and Control in a Micro-Watershed Using GIS-Based Integrated Approach. *Water (Switzerland)*, 15(24), 1–20. <https://doi.org/10.3390/w15244201>
- Soemarto, C. (1999). *Hidrologi Teknik*. Erlangga.
- Soewarno. (1995). *HIDROLOGI : Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*. Nova.
- Tuda, G. E., Sumarauw, J. S. F., & Supit, C. J. (2020). Analisis Kapasitas Penampang Sungai Londola Tilawat Kecamatan Tombatu Untuk Pengendalian Banjir. *Jurnal Sipil Statik*, 8(5), 709–716.
- USACE. (2000). Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*, March, 148.
- Z, S. (2022). Kolam Retensi Sebagai Upaya Pengendalian Banjir Pada Daerah Aliran Sungai Batang Pangian. *Rang Teknik Journal*, 5(1), 124–136. <https://doi.org/10.31869/rtj.v5i1.2856>

LAMPIRAN

1. Lampiran Data Spasial



2. Lampiran HEC-HMS



3. Lampiran Analisis Hidrologi

