

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN INTERNAL DOSEN
Progam Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknik



PENGARUH WADUK TERHADAP MODEL HIDROGRAF BANJIR
DALAM MEREDUKSI BANJIR PADA DAS PACAL KABUPATEN
BOJONEGORO

Tim Peneliti:

Yuliani Wahyu Sardana, ST., MT.

Dibiayai oleh:

Universitas Bojonegoro

Periode 1 Tahun Anggaran 2024/2025

Nomor Kontrak:

89/LPPM-LIT/UB/XI/2024

UNIVERSITAS BOJONEGORO

2024

HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN PENDANAAN PERGURUAN TINGGI

- 1. Judul Penelitian** : Pengaruh Waduk Terhadap Model Hidrograf Banjir Dalam Mereduksi Banjir Pada DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro
- 2. Ketua Peneliti**
- a. Nama Peneliti : Yuliani Wahyu Sardana, ST., MT.
 - b. NIDN : -
 - c. Program Studi : Teknik Sipil
 - d. E-mail : yulianiwahyusardana98@gmail.com
 - e. Bidang Keilmuan : Sumber Daya Air
- 3. Anggota Peneliti 1**
- a. Nama (Mahasiswa) : Bagas Pramudya Yudistira
 - b. NIDN/NIM : 22222011057
 - c. Program Studi : Teknik Sipil
 - d. E-mail : bagaspramudya836@gmail.com
 - e. Bidang Keilmuan : -
- Anggota Peneliti 2**
- a. Nama (Mahasiswa) : Jaka Setiana
 - b. NIDN/NIM : 22222011008
 - c. Program Studi : Teknik Sipil
 - d. E-mail : jakasetiana02gmail.com
 - e. Bidang Keilmuan : -
- Anggota Peneliti 3**
- a. Nama (Mahasiswa) : Roghib Afnani
 - b. NIDN/NIM : 22222011192
 - c. Program Studi : Teknik Sipil
 - d. E-mail : roghibafnani10@gmail.com
 - e. Bidang Keilmuan : -
4. Jangka Waktu Penelitian : 6 Bulan
6. Lokasi Penelitian : Kota Bojonegoro
7. Dana Diusulkan : Rp. 3.000.000

Bojonegoro, 21 Februari 2025

Mengetahui,

Ketua LPPM Universitas Bojonegoro

Pengusul,

Laily Agustina Rahmawati, S.Si., M.Sc.
NIDN 07 2108 8601

Yuliani Wahyu Sardana, ST., MT.
NIDN.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyusun proposal penelitian ini sebaik-baiknya. Proposal penelitian ini merupakan bagian dari kewajiban dan tanggung jawab dosen dalam Catur Darma Perguruan Tinggi di Universitas Bojonegoro. Hal ini sesuai dengan Standar Tenaga Pendidik yang tercantum dalam UU No.12 tahun 2012. Proposal penelitian ini berjudul “Pengaruh Waduk Terhadap Model Hidrograf Banjir Dalam Mereduksi Banjir Pada DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro”. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Rektor Universitas Bojonegoro dan semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam proses pelaksanaan kegiatan penelitian. Proposal ini dibuat berdasarkan buku panduan dalam pedoman pengabdian Masyarakat LPPM Universitas Bojonegoro. Namun demikian penulis menyadari bahwa kesempurnaan dalam pengabdian masyarakat ini belum tercapai dengan maksimal sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan pembuatan proposal selanjutnya. Harapan kami semoga penelitian ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
RINGKASAN	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Landasan Teori	4
2.2 Penelitian Terdahulu	13
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Lokasi Penelitian.....	17
3.2 Pengumpulan Data.....	17
3.3 Pengolahan dan Analisis Data	18
3.4 Tahapan Penelitian.....	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Tanah dan Tata Guna Lahan.....	20
4.2 Pemilihan Stasiun Hujan.....	22
4.3 Uji Konsistensi Data Hujan	26
4.4 Uji Ketidakadaan Tren Data Hujan	28
4.5 Perhitungan Curah Hujan Wilayah Rata-Rata	30
4.6 Analisis Frekuensi Untuk Mendapatkan Curah Hujan Rencana	34
4.7 Distribusi Hujan Jam-Jaman.....	35
4.8 Hidrograf Satuan Sintetik (HSS)	35

4.9	<i>Curve Number dan Impervious Area</i>	44
4.10	Penyiapan Model Simulasi	44
4.11	Debit Banjir Rencana.....	45
BAB V DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN.....		55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	14
Tabel 3.1 Data-Data Yang Dibutuhkan.....	18
Tabel 4.1 Luasan Penggunaan Lahan.....	22
Tabel 4.2 Luasan Jenis Tanah Berdasarkan HWSD	22
Tabel 4.3 Curah hujan harian maksimum tahunan	23
Tabel 4.4 Curah hujan tahunan stasiun hujan	26
Tabel 4.5 Perhitungan Uji Konsistensi Data Metode RAPS Stasiun Hujan Balen	27
Tabel 4.6 Nilai $Q/(n^{0,5})$ dan $R/(n^{0,5})$	28
Tabel 4.7 Rekapitulasi Hasil Uji Konsistensi Metode RAPS	28
Tabel 4.8 Perhitungan Koefisien Korelasi Peringkat Metode Spearman Data Curah Hujan Tahunan Stasiun Balen Tahun 2002-2021.....	29
Tabel 4.9 Rekapitulasi Hasil Uji Ketidakadaan Trend.....	29
Tabel 4.10 Nilai Luasan Pengaruh Curah Hujan pada DAS Pacal Metode Polygon Thiessen	30
Tabel 4.11 Perhitungan Curah Hujan Wilayah	31
Tabel 4.12 Curah Hujan Rencana Kala Ulang DAS Pacal	35
Tabel 4.13 Distribusi Hujan Rencana Jam-Jaman DAS Pacal.....	35
Tabel 4.14 Parameter Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu DAS Pacal	36
Tabel 4.15 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 1	36
Tabel 4.16 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 2	37
Tabel 4.17 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 3	38
Tabel 4.18 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 4	39
Tabel 4.19 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 5	39
Tabel 4.20 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 6	40
Tabel 4.21 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 7	41
Tabel 4.22 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 8	42
Tabel 4.23 Rekapitulasi Hasil Curve Number dan Imperviousness	44
Tabel 4.24 Debit banjir rencana eksisting (Tanpa Waduk) tiap kala ulang 100, 500, dan 1000 tahun DAS Pacal	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu	10
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian DAS Pacal	17
Gambar 3.2 Bagan Alir Tahapan Penelitian	19
Gambar 4.1 Peta penggunaan lahan DAS Pacal	20
Gambar 4.2 Peta jenis tanah berdasarkan HWSD (<i>Harmonized World Soil Database</i>) FAO Soils	21
Gambar 4.3 Peta jenis tanah berdasarkan HSGS (<i>Global Hydrologic Soil Groups</i>)	21
Gambar 4.4 Polygon Thiessen DAS Pacal.....	30
Gambar 4.5 HSS Nakayasu Sub-DAS Pacal.....	43
Gambar 4.6 Pemodelan basin DAS Pacal	45
Gambar 4.7 Hidrograf banjir rencana eksisting DAS Pacal	46
Gambar 4.11 Hidrograf Banjir Rencana Pada Outlet Kala Ulang 100 Tahun	47
Gambar 4.9 Hidrograf Banjir Rencana Pada Outlet Kala Ulang 500 Tahun	47
Gambar 4.10 Hidrograf Banjir Rencana Pada Outlet Kala Ulang 1000 Tahun	48
Gambar 4.11 Hidrograf <i>Inflow Outflow</i> Waduk Kala Ulang 100 Tahun.....	49
Gambar 4.12 Hidrograf <i>Inflow Outflow</i> Waduk Kala Ulang 500 Tahun.....	49
Gambar 4.13 Hidrograf <i>Inflow Outflow</i> Waduk Kala Ulang 1000 Tahun.....	50

RINGKASAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) Pacal mengalami banjir berkala yang disebabkan oleh curah hujan tinggi dan keadaan DAS yang memburuk karena faktor perubahan penggunaan lahan. Pengendalian Banjir dengan membuat tampungan air berupa waduk menjadi cara yang efektif untuk mereduksi banjir yang terjadi. Namun pembangunan waduk dapat mempengaruhi pola hidrograf banjir. Keberadaan Waduk Pacal dan Waduk Gongseng merupakan usaha penanganan banjir pada DAS Pacal. Tujuan Penelitian ini adalah untuk melakukan pemodelan hidrograf banjir terhadap adanya waduk dalam mereduksi banjir pada DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro. Proses pemodelan hidrograf banjir menggunakan perangkat lunak HEC-HMS dengan prosedur perubahan curah hujan menjadi limpasan permukaan yang digunakan adalah *loss method* menggunakan *SCS Curve Number*, *transform method* dengan HSS Nakayasu yang dimasukkan menggunakan *User-Specified Unit Hydrograph*, sedangkan *baseflow method* dan *route method* tidak diperhitungkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan waduk di DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro mampu mereduksi debit banjir dimana besar reduksi yang dihasilkan sebesar 320.9 m³/s (59.38%), 341.4 m³/s (58.32%), dan 379.6 m³/s (55.46%) untuk kala ulang 100, 500 dan 1000 Tahun. Waduk Pacal mampu mereduksi sebesar 163.1 m³/s, 174.8 m³/s dan 195.3 m³/s sedangkan Waduk Gongseng sebesar 107.2 m³/s, 110.5 m³/s dan 115.6 m³/s berturut-turut pada kala ulang 100, 500 dan 1000 Tahun.

Kata Kunci: Waduk, Hidrograf Banjir, HEC-HMS

BABI

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peran strategis Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai unit perencanaan akan terlihat ketika DAS tidak berfungsi secara optimal sebagai pengatur dan penjamin tata kelola air (Juwono dan Subagiyo, 2019). Kondisi tersebut disebabkan oleh meningkatnya intensitas aktivitas manusia sehingga berdampak pada perubahan tata guna lahan (Wang et al., 2021). Oleh karena itu, secara langsung hal ini akan menimbulkan bencana alam yang terkait dengan sumber daya air baik meningkatnya frekuensi banjir dan kekeringan, meningkatnya erosi atau sedimentasi dan tanah longsor di saat musim penghujan serta menurunnya kualitas dan pasokan air bersih (Asdak, 2020). Beberapa ahli telah menunjukkan bahwa banjir dan perubahan penggunaan lahan memiliki keterkaitan yang sangat erat. Aktivitas perubahan tata guna lahan seperti penggundulan hutan dapat meningkatkan risiko bencana banjir lokal. Deforestasi yang berlebihan tidak hanya merusak fungsi konservasi air dari lahan berhutan, tetapi menyebabkan daerah yang gundul menjadi iklim yang lebih basah dan lebih hangat, kemudian mempengaruhi kondisi hidrologi, menghasilkan lebih banyak limpasan ke sungai dan memperburuk bencana banjir di daerah hilir pada akhirnya (Wang et al., 2021).

Penanganan banjir dengan secara struktural masih menjadi cara yang efektif pada wilayah rural dan sub-urban (Prastica, Widyatmoko, and Kurniawan 2021). Waduk atau embung merupakan salah satu alternatif struktural yang berfungsi sebagai tampungan dan resapan air untuk dapat mengendalikan banjir (Asam and Ilir 2020). Analisis tentang hidrograf banjir sangat penting dalam perkiraan banjir, penetapan debit banjir rencana bagi bangunan air dan memprediksi potensi banjir dalam kaitannya dengan mitigasi banjir (Izmiaini 2022). Dalam studi yang dilakukan Sukerte menyatakan bahwa pembangunan sebuah waduk dapat merubah pola dari hidrograf banjir (Sukerte 2022). Studi kasus pada Sungai Huai di Tiongkok yang dilakukan oleh Xinyuwan et al

menemukan bahwa setiap reservoir memiliki dampak hidrograf banjir yang berbeda dimana waduk Meishan, Xianghongdian, Suyahu, Nanwan, Nianyushan dan Foziling memberikan pengaruh yang kuat pada hidrograf banjir sehingga merupakan cara yang penting untuk pengendalian banjir di Sungai Huai (Wan et al. 2018).

Indonesia menjadi negara yang berada di peringkat keenam dunia yang mengalami bencana banjir (BBC News Indonesia, 2011). Kementerian Agraria dan Tata Ruang menyatakan bahwa 20% dari luasan wilayah daratan Indonesia merupakan Kawasan Rawan Bencana (KRB) banjir (Adiyoso, 2018). Menurut data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menyebutkan kejadian banjir di Kabupaten Bojonegoro selama kurun waktu 1994-2021 terjadi sebanyak 146 kali kejadian. Hal tersebut merupakan kejadian bencana banjir paling banyak terekam di seluruh kabupaten/kota yang ada di provinsi Jawa Timur (Pusat Data Informasi dan Komunikasi Kebencanaan BNPB, 2021).

Kejadian banjir menjadi masalah secara berkala pada wilayah DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro (Mulyanti et al., 2020). Pada musim penghujan, luapan air sungai dapat menggenangi fasilitas umum, lahan persawahan, jalan lingkungan dan rumah (Wartaku.id, 2020). Kejadian banjir di Kali Pacal diakibatkan oleh berbagai penyebab, seperti terjadinya curah hujan yang tinggi dan lama, serta ditambah dengan kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS) yang tidak mampu menahan air hujan sehingga menimbulkan aliran permukaan yang besar (Subrata & Putuhena, 2012). Selain itu, pengaruh daerah tangkapan air wilayah Kali Pacal yang dalam perkembangannya telah terjadi kerusakan lingkungan akibat adanya perubahan tata guna lahan menyebabkan debit menjadi tinggi (Harjono & Widhiastuti, 2019).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang diuraikan, peneliti dapat merumuskan masalah berupa bagaimana model hidrograf banjir akibat adanya waduk dalam mereduksi banjir pada DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui model hidrograf banjir akibat adanya waduk dalam mereduksi banjir pada DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkait pengaruh waduk mereduksi banjir pada DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1. Daerah Aliran Sungai (DAS)

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 alamiah, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan (Kementerian Sekretariat Negara RI, 2019). DAS yang berfungsi dengan baik memiliki lima karakteristik penting (Tidwell et al., 2011) sebagai berikut.

1. Menyediakan integritas biotik yang tinggi, yang mencakup habitat yang mendukung komunitas hewan dan tumbuhan adaptif yang mencerminkan proses alami.
2. Memperlihatkan ketangguhan dan pulih dengan cepat dari gangguan alam dan manusia.
3. Menunjukkan tingkat konektivitas yang tinggi secara longitudinal sepanjang sungai, secara lateral melintasi dataran banjir dan dasar lembah, dan secara vertikal antara aliran permukaan dan bawah permukaan.
4. Menyediakan layanan ekosistem yang penting, seperti air berkualitas tinggi, pengisian ulang sungai dan akuifer, pemeliharaan komunitas riparian, dan moderasi variabilitas dan perubahan iklim.
5. Mempertahankan produktivitas tanah jangka panjang.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2019 menyatakan bahwa dari total DAS yang ada di Indonesia sebanyak 17.076 DAS dengan luasan sebesar 189.278.753 ha memiliki kategori yang dipertahankan dan perlu dipulihkan. Jumlah DAS yang dipertahankan yaitu sebanyak 14.931 DAS atau 87,44 % yang masih lebih besar jika dibandingkan dengan DAS yang dipulihkan yaitu sebanyak 2.145 DAS atau 12,56 %. Jika yang dibandingkan adalah luasan

DAS, maka luas DAS yang dipulihkan lebih luas dibanding luas DAS yang dipertahankan dimana total luas DAS sebesar dengan 106.884.471 ha merupakan luas DAS dipulihkan dan 82.394.282 ha merupakan luasan DAS yang dipertahankan (KLHK, 2021). Banyak DAS di dunia memiliki masalah yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Secara khusus, urbanisasi mendistorsi siklus hidrologi DAS dan, dalam kasus ekstrim, mengancam keberlanjutan DAS. Banyak DAS di dunia memiliki masalah yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Secara khusus, urbanisasi mendistorsi siklus hidrologi DAS dan, dalam kasus ekstrim, mengancam keberlanjutan DAS (Mawardi, 2010).

2.1.2. Tata Guna Lahan

Penggunaan lahan atau tata guna lahan (land use) merupakan upaya untuk memanfaatkan lahan pada suatu kawasan yang meliputi pembagian wilayah untuk pengkhususan tertentu misalnya untuk pemukiman, hutan konservasi, hutan lindung dan lain-lain (Da Costa et al., 2021). Tata guna lahan merupakan salah satu faktor penentu utama dalam pengelolaan lingkungan. Keseimbangan antara kawasan budidaya dan kawasan konservasi merupakan kunci dari pembangunan berkelanjutan yang berwawasan lingkungan. Pengelompokan jenis penggunaan lahan yang dilakukan oleh Badan Pertanahan Nasional dalam (Nasution & Ichwana, 2013) antara lain :

1. Hutan merupakan wilayah yang ditutupi oleh vegetasi pepohonan, baik alami maupun dikelola manusia dengan tajuk yang rimbun, besar dan lebat,
2. Perkebunan meliputi kebun campuran dan kebun sayuran merupakan daerah yang ditumbuhi vegetasi tahunan satu jenis maupun campuran, baik dengan pola acak maupun teratur sebagai pembatas tegalan,
3. Tegalan merupakan daerah yang ditanami oleh tanaman semusim, namun pada sebagian lahan tidak ditanami. Vegetasi yang sering dijumpai adalah padi gogo, singkong, jagung, kentang dan kacang tanah,
4. Sawah merupakan daerah pertanian yang ditanami padi sebagai tanaman utama dengan rotasi tertentu yang biasanya diiri sejak penanaman hingga beberapa hari sebelum panen,

5. Pemukiman merupakan kombinasi antara jalan bangunan, tegalan/pekarangan dan bangunan itu sendiri,
6. Semak belukar merupakan daerah yang ditutupi oleh pohon baik alami maupun yang dikelola dengan tajuk yang relative kurang rimbun,
7. Lahan terbuka, merupakan daerah yang tidak terdapat vegetasi maupun penggunaan lain akibat aktivitas manusia.

Perubahan penggunaan lahan/tutupan lahan baik untuk jangka waktu pendek maupun panjang di daerah tangkapan air sangat signifikan karena berimplikasi pada aspek hidrologis dan ekologis di dalam Kawasan DAS (Asdak, 2020; Worku et al., 2017). Perubahan tutupan lahan mempengaruhi hidrologi dan rezim aliran dalam beberapa cara, termasuk: perluasan permukaan kedap air, perambahan perkotaan ke dataran banjir yang ada, dan hilangnya kemampuan lahan basah untuk mengurangi dampak banjir (Cowles, 2021). Perubahan kelas penggunaan lahan/tutupan lahan misalnya pengurangan tutupan hutan, peningkatan area pemukiman, budidaya intensif dan penggembalaan yang berlebihan akibatnya mempengaruhi respon hidrologi keseluruhan daerah tangkapan. Sebagian besar perubahan kelas disebabkan oleh aktivitas manusia. Ekspansi pertanian, pembukaan hutan dan perkebunan untuk konsumsi kayu bakar, penggembalaan intensif, de-vegetasi dan urbanisasi adalah aktivitas manusia yang paling menonjol yang mengakibatkan perubahan penggunaan lahan/tutupan lahan. Dinamika perubahan penggunaan lahan/tutupan lahan merupakan ancaman lingkungan yang serius bagi DAS. Perubahan penggunaan lahan/tutupan lahan yang terus menerus harus mendapat perhatian lebih di daerah aliran sungai. Oleh karena itu, langkah-langkah konservasi DAS yang berkelanjutan, spesifik lokasi, berdasarkan permintaan dan terintegrasi diperlukan untuk menahan konsekuensi yang mengganggu dari dinamika perubahan penggunaan lahan/tutupan lahan (Worku et al., 2017)

Mempertahankan jumlah tutupan vegetasi yang lebih tinggi di daerah tangkapan air harus menjadi strategi utama dalam manajemen risiko bencana banjir. Kegiatan penggunaan lahan yang merusak tutupan vegetasi, dan meningkatkan permukaan yang dibangun harus diatur di dalam cekungan (Pabi et

al., 2021). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Erena dan Woroku terhadap risiko banjir di kota Dire Dawa menemukan bahwa salah satu penyebab yang ada adalah masalah tata guna lahan yang menimbulkan perubahan tutupan lahan dan topografi (Erena & Worku, 2018).

2.1.3. Banjir

Banjir merupakan salah satu bencana alam terkemuka di seluruh dunia baik dari segi frekuensi kejadian maupun kerusakan yang diakibatkannya terhadap kehidupan manusia, lingkungan, dan aset ekonomi (Erena & Worku, 2018; Pabi et al., 2021). Banjir adalah luapan atau letusan badan air besar di atas tanah yang biasanya tidak terendam. Hal tersebut merupakan penggenangan daerah yang biasanya tidak tertutup air, melalui kenaikan sementara di tingkat sungai, danau, atau laut, dan ketika curah hujan berlebih melebihi infiltrasi alami, penguapan, dan kemungkinan limpasan (Cirella et al., 2019). Secara global, bencana banjir sering terjadi di dataran rendah atau dataran banjir yang sangat berkembang. perubahan tutupan lahan atau penurunan vegetasi di DAS sungai mendorong intensitas dan meningkatkan frekuensi bahaya banjir (Pabi et al., 2021).

Banjir dan genangan yang terjadi di suatu lokasi diakibatkan antara lain oleh sebab-sebab tindakan manusia dan yang disebabkan oleh alam. Oleh karena itu, termasuk sebab-sebab banjir karena tindakan manusia adalah (Kodoatie & Sugiyanto, 2002):

1. Perubahan tata guna lahan (*land use*) di daerah aliran sungai (DAS)
2. Pembuangan sampah
3. Erosi dan sedimentasi
4. Kawasan kumuh di sepanjang sungai/drainase
5. Perencanaan system pengendalian banjir tidak tepat
6. Pengaruh fisiologi/geofisik sungai
7. Kapasitas sungai dan drainase yang tidak memadai
8. Penurunan tanah dan rob (genangan akibat pasang air laut)
9. Drainase lahan
10. Bendung dan bangunan air

11. Kerusakan bangunan pengendali banjir

Penyebab alami diantaranya adalah:

1. Curah hujan
2. Pengaruh fisiografi/geofisik sungai
3. Kapasitas sungai
4. Pengaruh air pasang
5. Penurunan tanah dan rob
6. Kerusakan bangunan pengendali banjir (oleh bencana alam)

2.1.4. Distribusi Hujan Jam-Jaman

Hujan rencana perlu didistribusikan kedalam hujan jam – jaman untuk perhitungan banjir rencana. Apabila data yang tersedia hanya data hujan harian, maka diperlukan metode atau model untuk mendapatkan hujan jam-jaman. Metode distribusi hujan yang digunakan untuk mengalihragamkan data hujan harian menjadi hujan jam – jaman ialah, ABM (*alternating block method*), Euler-II dan Huff-Q1. Penelitian yang dilakukan Soliman menyatakan bahwa hietograf metode ABM direkomendasikan untuk digunakan untuk penilaian bahaya banjir dan aplikasi sistem drainase air hujan (Soliman, 2022), sehingga dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode ABM.

Metode ABM (*alternating block method*) adalah cara sederhana untuk membuat hyetograph rencana dari kurva IDF. Metode *Modified Mononobe* digunakan untuk pengalihragaman intensitas hujan harian menjadi intensitas hujan jam-jaman. Pengurutan dalam pertamabahn hujan atau blok – blok dilakukan dengan cara intensitas hujan maksimum di letakkan di tengah – tengah dari durasi hujan T_d , kemudian dilanjutkan dengan ke sisi sebelah kanan lalu sebelah dari blok pertama. Dan dilakukan secara berurutan sampai selesai. Pendekatan durasi hujan dilakukan menggunakan waktu konsentrasi. Rumus waktu konsentrasi (t_c) yang digunakan pada penelitian ini adalah rumus *Australian Rainfall Runoff* (ARR), rumus ARR sangat beergantung dengan luas DAS. Berikut persamaan rumus *Modified Mononobe* dan rumus ARR.

Persamaan 2.1 menunjukkan persamaan *Modified Mononobe*

$$i_T^t = \frac{RT24}{T_c} \left(\frac{T_c}{t} \right)^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana

i_T^t : intensitas hujan pada durasi ke t dengan kala ulang T tahun (mm/hujan),

RT24 : hujan harian maksimum pada kala ulang T tahun (mm)

T_c : Waktu konsentrasi (jam)

t : durasi hujan (jam),

Persamaan ARR ditunjukkan pada Persamaan 2.2.

$$T_c = 0,76 \times A^{0,38} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana

T_c : Waktu konsentrasi (jam)

A : Luas DAS (km²)

2.1.5. Hidrograf Satuan

Sungai-sungai yang belum pernah terukur ataupun suatu DAS yang data pengukurannya (hujan dan debit) tidak mencukupi maka dalam menentukan debit banjir rencana adalah dengan memakai Hidrograf Satuan Sistetik (HSS) (Indarto, 2018). Langkah umum dalam melakukan perhitungan HSS antara lain (Syarifudin, 2017) :

1. Membuat hidrograf satuan sintetik masing-masing sungai
2. Menghitung curah hujan efektif
3. Mensuporsisi curah hujan efektif ke HSS
4. Memilih metode yang sesuai dan cocok dengan bentuk hidrograf aliran hasil pengamatan sungai yang bersangkutan.

Beberapa metode yang dapat digunakan seperti Hidrograf Satuan Gama I, Hidrograf Satuan Snyder, Hidrograf Satuan Nakayasu, dan Hidrograf Satuan ITB

1. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu pada dasarnya adalah percobaan atau penelitian dilokasi dimana konstanta-konstanta rumus tersebut dibuat yaitu Jepang. Bentuk hidrograf dapat dilihat pada Gambar 2.1. Sedangkan bila

diterapkan dilokasi lain perlu penyesuaian dengan karakteristik lokasi, terutama parameter yang berperan penting dalam metode ini adalah:

1. Panjang alur sungai (L), karena pengaruh L sangat besar pada perubahan time lag.
2. Time lag yang merupakan bagian dalam fungsi bilangan pembagi pada rumus debit puncak (Qp).

Rumus yang dipakai pada HSS Nakayasu seperti Persamaan 2.3.

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \left(\frac{A \cdot R_e}{0,3T_p + T_{0,3}} \right) \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana

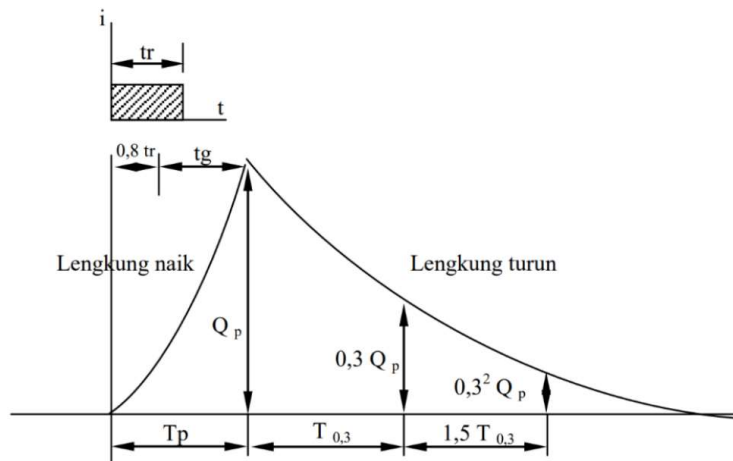
Qp : debit puncak pada kondisi banjir,

Re : curah hujan efektif (1 mm),

A : luasan DAS yang akan ditinjau (km²),

T_{0,3} : waktu dari puncak banjir – 0,3 kali dari debit puncak (jam),

Tp : waktu dari permukaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)



Gambar 2.1 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu
 Sumber : Hartono et al., 2022.

2.1.6. HEC-HMS ((Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System)

HEC-HMS adalah perangkat lunak komputer open source yang dikembangkan oleh *US Army Corps of Engineering* Pusat Rekayasa Hidrologi

yang membantu dalam mensimulasikan siklus hidrologi (presipitasi, evapotranspirasi, infiltrasi, limpasan permukaan dan aliran dasar) dari suatu daerah tangkapan dengan menggambarkan sifat fisik dan meteorologi. Berbagai pilihan model matematika untuk semua komponen hidrologi yang secara konseptual mewakili perilaku DAS tergabung dalam program ini. Program ini menggunakan model terpisah untuk mewakili setiap komponen proses limpasan seperti model untuk menghitung volume limpasan, model aliran limpasan langsung/aliran dasar/saluran serta model alternatif untuk memperhitungkan kerugian kumulatif misalnya: model kerugian SCS CN. Kemudian, menghitung volume limpasan dengan mengurangi kerugian (infiltrasi, penyimpanan, intersepsi, penguapan dll) dari curah hujan (Khadka & Bhaukajee, 2018).

- a. *Basin Models*: Area fisik cekungan dengan elemen hidrologi (*subbasin, junction, reach, reservoir*) dan jaringan drainase daerah tangkapan termasuk dalam model cekungan.
- b. *Meteorological Models*: Informasi mengenai komponen meteorologi seperti suhu, evapotranspirasi curah hujan, sinar matahari, kelembaban, pencairan salju didefinisikan dalam model meteorologi. HEC-HMS menyediakan berbagai pilihan untuk mendefinisikan setiap elemen meteorologi.
- c. *Control Specification*: Tanggal dan waktu mulai, tanggal dan waktu berakhir dan langkah waktu komputasi untuk simulasi ditentukan dalam spesifikasi kontrol.
- d. *Timeseries Data*: Data deret waktu nyata untuk semua elemen meteorologi yang ditentukan dalam model meteorologi dimasukkan ke bagian ini. Selain elemen meteorologi yang disebutkan di atas, data debit juga dapat diberikan untuk kalibrasi dan simulasi model yang dikembangkan. Ini dapat dipasok ke perangkat lunak secara manual atau dalam bentuk HEC-DSS, Sistem Penyimpanan Data Pusat Rekayasa Hidrologi.
- e. *Paired Data*: Data meteorologi dalam bentuk tabel/grafik disediakan sebagai data berpasangan.

Dalam HEC-HMS, prosedur hidrologi perubahan curah hujan menjadi limpasan telah diwakili oleh empat proses sebagai berikut :

1. *Loss method*

Model ini menghitung volume limpasan daerah tangkapan dengan menghitung kerugian melalui intersepsi, penyimpanan permukaan, infiltrasi, penguapan, transpirasi dan kemudian mengurangkannya ke curah hujan pada setiap langkah waktu. HEC-HMS menyediakan lima opsi untuk menghitung kerugian.

2. *Transform method*

Metode transformasi adalah suatu pendekatan untuk menghitung limpasan langsung di outlet daerah aliran sungai dari kelebihan curah hujan yang jatuh di atasnya dan ini dilakukan berdasarkan prinsip hidrograf satuan. Hidrograf satuan dapat didefinisikan sebagai hidrograf limpasan yang dihasilkan dari kelebihan curah hujan dengan satuan kedalaman yang terjadi di atas DAS. Teori hidrograf satuan adalah kelebihan curah hujan dan limpasan yang dihasilkan berbanding lurus satu sama lain, kelebihan curah hujan didistribusikan secara merata terhadap waktu dan ruang di atas daerah aliran sungai, dan limpasan yang dihasilkan dari kelebihan curah hujan tidak tergantung pada waktu kejadian dan preseden kadar air.

3. *Base-flow Method*

Aliran bawah permukaan di daerah tangkapan diilustrasikan oleh aliran dasar di HMS. Baseflow terdiri dari interflow dan flow di akuifer airtanah. Kontribusi aliran dasar yang tidak signifikan jika terjadi curah hujan pendek, sehingga dapat diabaikan. Sedangkan pada kejadian curah hujan yang panjang, aliran dasar memberikan kontribusi pada cabang resesi hidrograf dan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap volume banjir.

4. *Route Method*

Perutean banjir adalah suatu teknik penentuan hidrograf aliran pada titik hilir DAS dengan informasi yang baik mengenai hidrograf di hulunya. Ini adalah pendekatan untuk memperkirakan bagaimana besarnya dan kecepatan gelombang banjir bervariasi dari pada titik masuk saat bergerak di sepanjang daerah tangkapan. Rute banjir di sepanjang daerah tangkapan merupakan fungsi dari karakteristik cekungan seperti kemiringan dan panjang saluran, kekasaran saluran,

bentuk saluran, kontrol hilir dan kondisi aliran awal. Pemodelan hidrologi didasarkan pada persamaan kontinuitas sedangkan pemodelan hidrolis didasarkan pada kombinasi persamaan kontinuitas dan momentum yang dikenal sebagai persamaan Saint-Venant.

2.2 Penelitian Terdahulu

Beberapa hasil penelitian yang relevan dan yang pernah dilakukan sebelumnya serta dapat dijadikan referensi dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Penulis/ Tahun	Judul	Pendekatan (Metode)	Kesimpulan dan Rekomendasi
Oky Subrata dan William M. Putuhena / 2012	Pengelolaan Banjir Berbasis Masyarakat (Studi Kasus: Kabupaten Bojonegoro)	Metode yang digunakan adalah mengombinasikan dua teknik pendekatan yaitu kualitatif dan kuantitatif. Metode kuantitatif menggunakan teknik statistik deskriptif yang bersifat uraian atau penjelasan dengan membuat tabel atau grafik. Sedangkan metode kualitatif menggunakan teknik pengamatan dan wawancara dengan informan terpilih sebagai sumber informasi.	Desa Kedung Sumber berada di Hulu Kali Pacal dengan banjir bandangnya sedangkan Desa Semen Pinggir di Hilir Kali Pacal. Desa Kedung Sumber menerapkan “ <i>Participatory Rural Appraisal</i> ” (pedesaan), sedangkan Desa Semen Pinggir menerapkan “ <i>Participatory Urban Appraisal</i> ” (perkotaan). Kegiatan pengelolaan banjir ini terdiri dari identifikasi sejarah banjir, pembuatan peta ancaman banjir dan jalur evakuasinya, pembentukan organisasi siaga bencana, pembuatan prosedur tetap evakuasi korban banjir dan pengelolaan stasiun hujan telemetri yang mengirim SMS sebagai awal sistem peringatan dini banjir. metode pendekatan sosial yang tepat diperlukan dalam pelaksanaan survei sosial dan pelibatan masyarakat sebagai narasumber dan pelaku utama menjadi kunci keberhasilan kegiatan
Harjono dan Yulis Widhiastuti / 2019	Analisa Hidrologi Dan Hidrolika Pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Pacal Bojonegoro	Analisis hidrologi dan hidrolika menggunakan menggunakan 3 metode perhitungan yaitu metode Harpers, metode Rasional dan metode Melchoir	Hasil penelitian menemukan bahwa perhitungan Banjir kala ulang 5 tahun dengan metode Harpers menghasilkan debit 443,678 m ³ /s, metode Rasional menghasilkan 413,495 m ³ /s dan metode Melchoir menghasilkan 412,824 m ³ /s.

Marshall Indradifa Tp Hutagalung/ 2022	Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Karakteristik Banjir Daerah Aliran Sungai Pacal Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur	Perangkat lunak ArcGIS 10.3 digunakan untuk mencari Nilai <i>curve number</i> (CN) DAS Pacal kondisi tahun 2015-2020 sebagai perhitungan curah hujan efektif. Sementara itu untuk perangkat lunak HEC-HMS digunakan dalam model alihragam hujan aliran. Simulasi hidrograf banjir dilakukan dengan pemodelan hujan-aliran pada tiga sub-DAS, yang masing-masing ditentukan nilai CN-komposit dan hidrograf satuannya.	Pada DAS Pacal, terjadi perubahan penggunaan lahan selama 5 tahun antara tahun 2015-2020 yaitu pengurangan luas kawasan hutan 34,1%, pengurangan pertanian 6,8%, peningkatan perkebunan 31,3%. Peningkatan nilai CN komposit untuk rentang waktu sekitar 5 tahun tersebut berdampak pada meningkatnya debit puncak banjir di hilir DAS Pacal. Peningkatan debit puncak banjir pada CN komposit normal (CN II) yang paling signifikan adalah pada sub-DAS hulu tengah, yaitu 10,1%, 9,1% dan 8,7% untuk kala ulang 100, 500 dan 1000 tahun. Sementara peningkatan debit puncak banjir pada CN komposit basah (CN III) yang paling signifikan adalah sub-DAS hulu tengah, yaitu 5,0%, 4,4%, dan 4,1% untuk kala ulang 100, 500 dan 1000 tahun.
Prastica <i>et al</i> / 2020	Mitigasi banjir dan alternatif pemeliharaan infrastruktur keairan pada sub- DAS Code, DAS Opak, Yogyakarta, Indonesia	Metode analisis banjir dan pemodelan 2-D HEC-RAS untuk membuat visualisasi profil aliran sungai. Analisis banjir dilakukan menggunakan metode Thiessen dan Nakayasu, sedangkan visualisasi profil aliran sungai dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS.	Upaya struktural dalam pengendalian banjir adalah pembuatan grey infrastructure yaitu berupa bendungan dimodelkan sebagai upaya mitigasi bencana dan pemeliharaan infrastruktur keairan di daerah tinjauan. Kesimpulan penelitian ini adalah Sungai Code sangat rentan terhadap banjir yang terjadi. Banjir meluap di titik-titik tinjauan pemodelan dan pemeliharaan perlu dilakukan untuk mitigasi bencana banjir. Rencana desain bendungan diusulkan menggunakan grey infrastructure dengan pemodelan Geo-Studio dalam analisis seepage dan faktor keamanan.

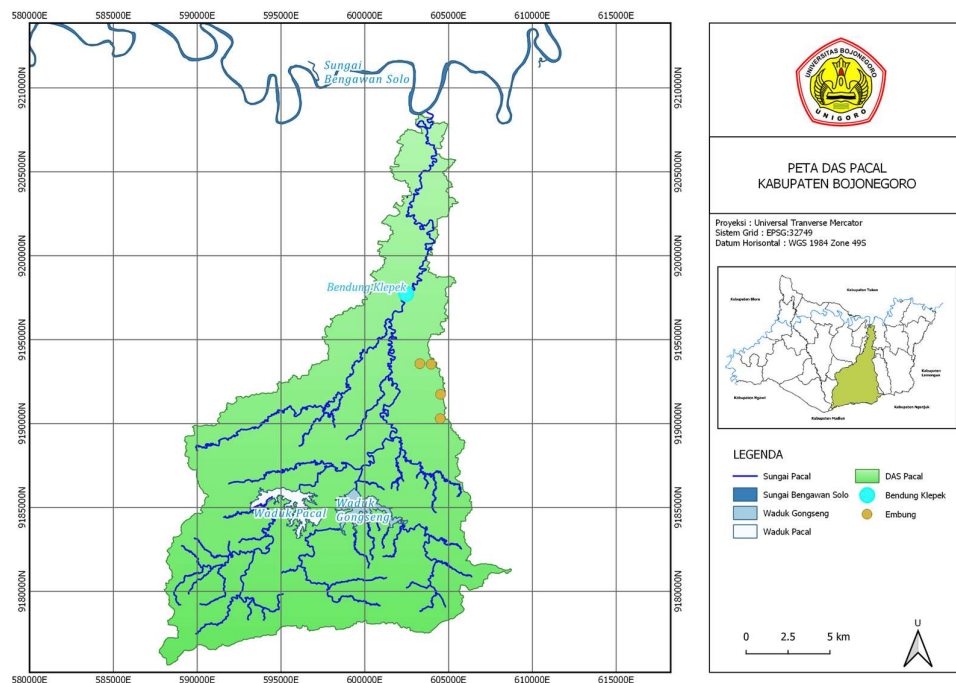
			Rancangan bendungan memiliki faktor keamanan yang mendukung sebesar 2,267. Dengan metode <i>flood routing</i> , kalkulasi persentase reduksi banjir yang terjadi dengan bendungan dapat mencapai 10%
Prastica <i>et al</i> / 2021	Mitigasi Banjir Struktural Menggunakan Model Hec-Ras Dan Geo-Studio Pada Wilayah Sungai Toba-Asahan, Sumatera Utara	Metode yang digunakan ialah dengan pemodelan HEC-RAS lebih jauh lagi analisis stabilitas lereng sungai yang ditinjau akan dianalisis menggunakan perangkat lunak Geo-Studio.	Analisis kapasitas hidrolika menggunakan perangkat lunak HEC-RAS adanya penurunan limpasan banjir dari kondisi eksisting ke kondisi normalisasi sungai. Begitu pula nilai <i>safety factor</i> lereng sungai pada lokasi tinjauan menggunakan perangkat lunak Geo-Studio yang naik sebesar 139%. Opsi usulan desain bendungan urugan juga dapat mereduksi banjir sebesar 24,83%. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa mitigasi struktural signifikan dalam pengendalian banjir. Namun, mitigasi struktural tidak bersifat <i>sustainable</i> bagi pemangku kepentingan, sehingga perlu ada simulasi menggunakan mitigasi non-struktural.

Sumber: Hasil penelitian sebelumnya diolah (2025)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi yang digunakan dalam penelitian ini ialah DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro dengan luas DAS sebesar 303,24 km². Lokasi ini dipilih karena Sungai Pacal yang merupakan sungai terpanjang di Kabupaten Bojonegoro dengan panjang sebesar 66 km serta melintasi beberapa kecamatan di Kabupaten Bojonegoro dimana letak hulu sungai terdapat di Kecamatan Gondang dan hilir sungai berada di Kecamatan Kapas, seperti terlihat pada Gambar. 3.1



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian DAS Pacal

3.2 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari beberapa dinas, instansi pemerintah dan lembaga terkait. Data sekunder yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data-Data Yang Dibutuhkan

Data	Sumber Data	Ketersediaan
Peta DEM	Website DEMNAS : DEMNAS (indonesia.go.id)	Resolusi 0.27 arc-second
Sistem sungai	Fitur plugin “QuickOSM” pada QGIS	Tahun 2015
Data curah hujan	UPT PSDA Kabupaten Bojonegoro	Tahun 2002-2021
Data tata guna lahan	PU Bina Marga Kabupaten Bojonegoro	Tahun 2021
Data jenis tanah	FAO Unesco	Tahun 2007
Data embung eksisting	PU SDA Kabupaten Bojonegoro	Tahun 2022
Data Waduk Pacal	BBWS Bengawan Solo	Tahun 2022
Data Waduk Gongseng	BBWS Bengawan Solo	Tahun 2022
Kedalaman Kejadian Banjir	BBWS Bengawan Solo	Tahun 2022

3.3 Pengolahan dan Analisis Data

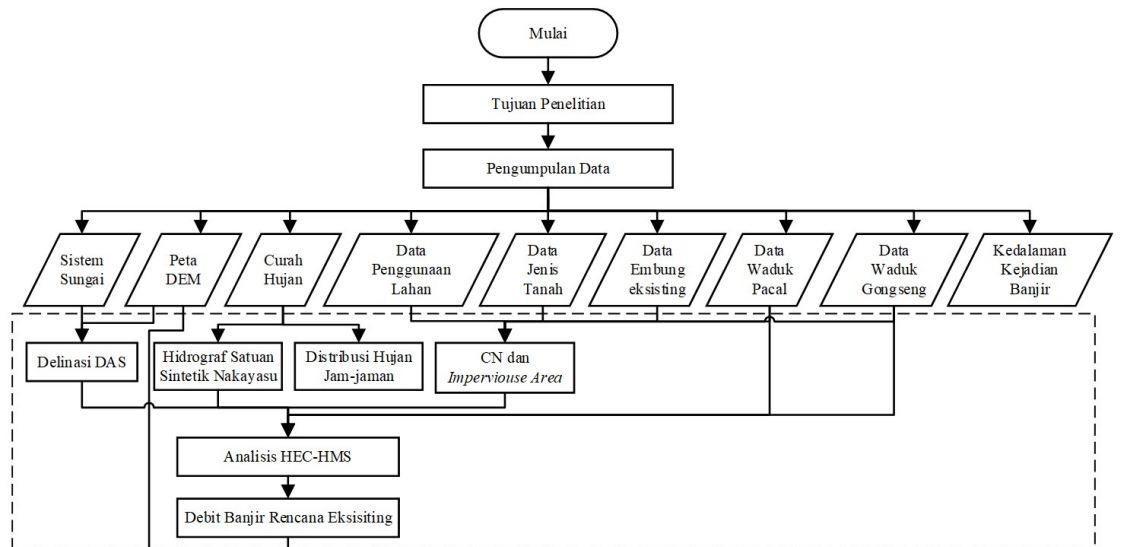
Penentuan debit banjir rencana dilakukan dengan bantuan HEC-HMS. Namun dikarenakan data yang didapatkan berupa data hujan harian maka perlu dilakukan pengolahan sebelum dimasukkan ke dalam perangkat lunak HEC-HMS. Berikut langkah-langkah yang dilakukan dalam penentuan debit banjir rencana :

1. Analisis curah hujan
 - a. Pemilihan stasiun hujan
 - b. Uji konsistensi data hujan
 - c. Uji ketiadaan tren data hujan
 - d. Perhitungan curah hujan wilayah rata-rata
 - e. Analisis frekuensi untuk mendapatkan curah hujan rencana
 - f. Distribusi hujan jam-jaman
2. Hidrograf satuan sintetik Nakayasu

3. Simulasi debit banjir rencana HEC-HMS
 - a. Penentuan *curve number* (CN) dan *impervious area*
 - b. Penyiapan model simulasi
 - c. Debit banjir rencana

3.4 Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini memerlukan suatu tahapan yang membantu dalam menentukan langkah-langkah penelitian. Dengan adanya tahapan penelitian diharapkan dapat memperlancar serta mempermudah dalam mencapai sasaran sesuai yang diharapkan. Berikut merupakan tahapan penelitian yang akan dilakukan oleh penulis yang tersaji pada bagan alir tahapan pada Gambar 3.2

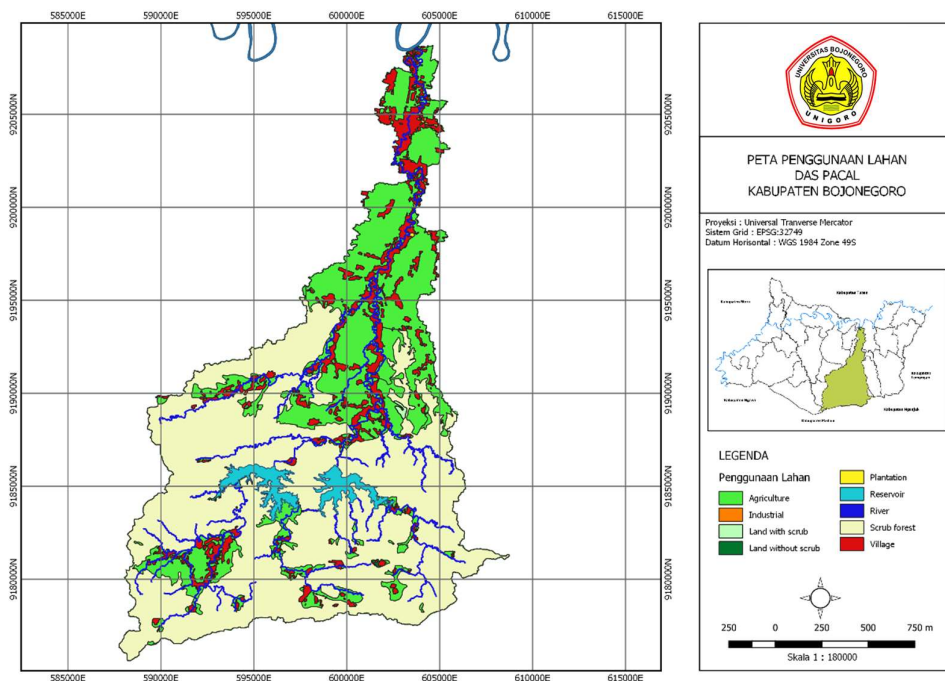


Gambar 3.2 Bagan Alir Tahapan Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

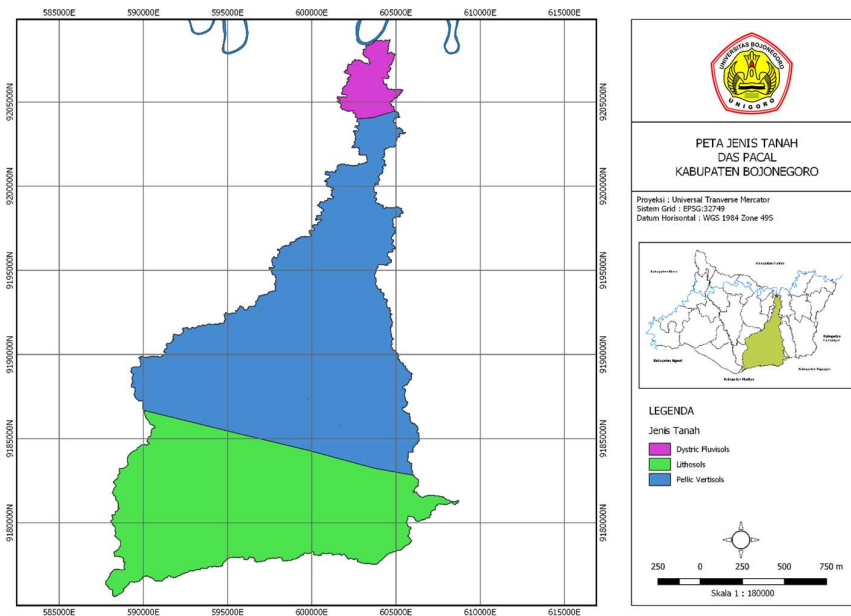
4.1 Tanah dan Tata Guna Lahan

Penggunaan lahan di DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro terdiri atas sawah (*agriculture*), hutan (*scrub forest*), perkebunan (*plantation*), permukiman (*village*), sungai (*river*), waduk/embung (*reservoir*), Kawasan industri (*Industrial*), semak belukar (*land with scrub*) dan tanah kosong (*land without scrub*). Berdasarkan FAO jenis tanah yang berada di DAS Pacal terdiri dari 3 jenis tanah yaitu *dystric fluvisols*, *lithosols*, *pellic vertisols* sedangkan berdasarkan klasifikasi HSGS dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis tanah yaitu B dan D. Secara spasial penggunaan lahan dan jenis tanah DAS Pacal disajikan dalam Gambar 4.1 sampai 4.3. sedangkan rincian luasan setiap jenis tataguna lahan dan tanah disajikan dalam Tabel 4.1 dan 4.2.



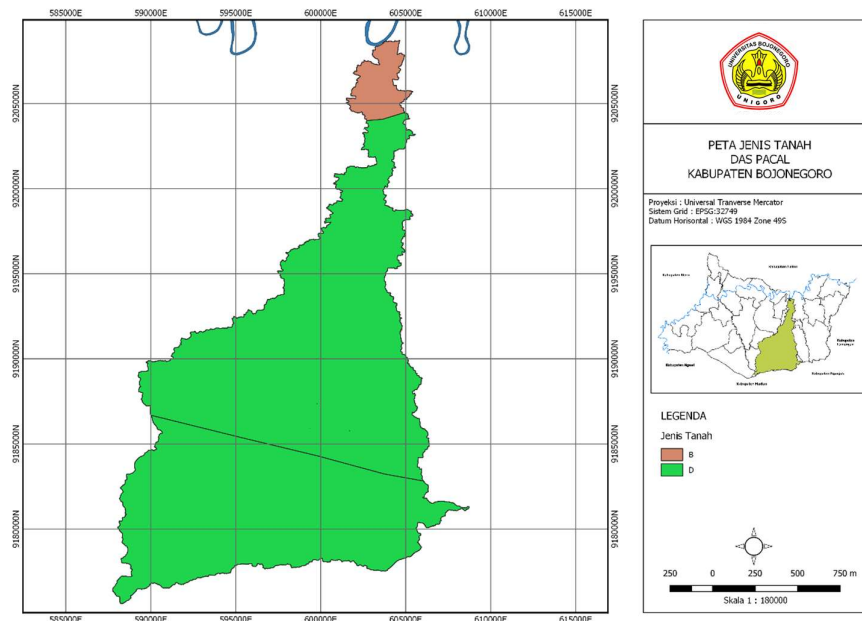
Gambar 4.1 Peta penggunaan lahan DAS Pacal

Sumber : Hasil Analisis, 2025



Gambar 4.2 Peta jenis tanah berdasarkan HWSD (*Harmonized World Soil Database*) FAO Soils

Sumber : Hasil Analisis, 2025



Gambar 4.3 Peta jenis tanah berdasarkan HSGS (*Global Hydrologic Soil Groups*)

Sumber : Hasil Analisis, 2025

Tabel 4.1 Luasan Penggunaan Lahan

No	Penggunaan Lahan	Luas (km ²)	Persentase (%)
1	<i>Agriculture</i>	84,69	27,93
2	<i>Industrial</i>	0,01	0,00
3	<i>Land with scrub</i>	0,30	0,10
4	<i>Land without scrub</i>	0,20	0,07
5	<i>Plantation</i>	0,86	0,28
6	<i>Reservoir</i>	6,73	2,22
7	<i>River</i>	1,86	0,61
8	<i>Scrub forest</i>	182,30	60,12
9	<i>Village</i>	26,29	8,67
Total		303,24	100,00

Sumber : Hasil Analisis, 2025

Tabel 4.2 Luasan Jenis Tanah Berdasarkan HWSO

No	Jenis Tanah	HSGS	Luas (m ²)	Persentase (%)
1	<i>Dystric Fluvisols</i>	B	105,69	3,49
2	<i>Lithosols</i>	D	126,48	41,71
3	<i>Pellic Vertisols</i>	D	166,19	54,80
Total			303,24	100,00

Sumber : Hasil Analisis, 2025

4.2 Pemilihan Stasiun Hujan

Stasiun hujan yang masuk kedalam area DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro sehingga terpilih sebagai stasiun hujan yang digunakan untuk perhitungan selanjutnya adalah stasiun hujan Balen, stasiun hujan Kapas, stasiun hujan Klepek, stasiun hujan Jatiblimbing, stasiun hujan Tretes, stasiun hujan Sukun, dan stasiun hujan Sugihan. Data curah hujan yang digunakan rentang waktu 20 tahun terakhir yaitu antara tahun 2002 sampai 2021. Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 berturut-turut menyajikan data curah hujan harian maksimum tahunan dan curah hujan kumulatif tahunan ke 7 stasiun yang ada.

Tabel 4.3 Curah hujan harian maksimum tahunan

Tahun	Tanggal	Data Curah Hujan Maksimum Tahunan (mm)						
		Stasiun CH Balen	Stasiun CH Kapas	Stasiun CH Jati Blimbing	Stasiun CH Klepek	Stasiun CH Tretes	Stasiun CH Sukun	Stasiun CH Sugihan
2002	02-Mar	61	51	59	27	2	0	0
	26-Dec	54	78	52	19	15	8	16
	28-Mar	11	0	87	41	30	0	0
	03-Dec	51	52	3	72	55	15	85
	24-Mar	11	0	0	0	85	0	0
	05-Apr	45	21	13	26	55	75	0
	03-Dec	51	52	3	72	55	15	85
2003	02-Feb	98	54	12	13	4	2	4
	17-Okt	35	94	85	29	0	0	0
	14-Feb	0	36	102	129	99	9	37
	14-Feb	0	36	102	129	99	9	37
	14-Feb	0	36	120	129	99	9	37
	04-Dec	35	42	45	57	56	62	68
	26-Jan	0	2	0	0	41	54	95
2004	29-Mar	122	128	63	122	83	24	55
	29-Mar	122	128	63	122	83	24	55
	12-Jan	52	121	97	59	6	0	22
	29-Mar	122	128	63	122	83	24	55
	29-Mar	122	128	63	122	83	24	55
	23-Jan	27	60	16	13	18	80	17
	14-Jan	0	0	0	0	29	21	85
2005	13-Dec	67	63	42	4	0	0	6
	08-Mar	58	93	23	11	0	3	0
	06-Mei	0	0	108	57	0	0	0
	21-Dec	53	50	79	86	56	8	0
	04-Feb	0	18	7	28	86	17	13
	19-Feb	0	0	0	0	0	111	0
	14-Mar	8	0	0	3	32	43	80
2006	26-Feb	86	49	28	25	28	13	21
	27-Dec	34	52	9	37	20	38	0
	10-Apr	26	6	68	11	12	7	13
	03-Mei	0	25	23	93	39	65	0
	06-Feb	14	11	9	16	94	12	33
	03-Mei	0	25	23	93	39	65	0
	12-Feb	16	28	22	0	0	10	76
2007	04-Dec	87	36	90	148	43	29	41
	11-Dec	35	82	39	37	22	4	0
	04-Dec	87	36	90	148	43	29	41
	04-Dec	87	36	90	148	43	29	41
	17-Mar	20	60	28	35	70	20	21
	19-Mar	5	0	29	0	53	45	76
	19-Mar	5	0	29	0	53	45	76
2008	09-Okt	116	93	142	95	68	29	57
	06-Apr	71	96	15	21	0	0	13
	09-Okt	116	93	142	95	68	29	57
	17-Dec	66	94	94	96	29	8	0
	31-Jan	118	14	16	20	108	32	80
	21-Mar	39	62	28	70	68	47	36

Tabel 4.3 Curah hujan harian maksimum tahunan (lanjutan)

Tahun	Tanggal	Data Curah Hujan Maksimum Tahunan (mm)						
		Stasiun CH Balen	Stasiun CH Kapas	Stasiun CH Jati Blimbing	Stasiun CH Klepek	Stasiun CH Tretes	Stasiun CH Sukun	Stasiun CH Sugihan
	29-Mar	0	3	0	0	0	0	99
2009	25-Feb	90	76	54	133	82	27	58
	24-Feb	40	102	60	52	19	25	43
	22-Nov	8	14	90	25	7	0	2
	25-Feb	90	76	54	113	82	27	58
	24-Mar	61	0	0	0	94	17	59
	09-Jan	19	23	27	0	18	51	23
	29-Jan	0	0	0	0	0	0	81
2010	08-Mar	116	55	0	68	18	20	13
	05-Des	87	105	74	54	10	8	17
	25-Agu	84	82	98	69	35	8	0
	15-Feb	69	76	59	109	26	6	26
	24-Feb	0	0	21	0	82	3	31
	17-Apr	25	5	35	29	20	39	31
	02-Feb	2	8	66	15	25	33	75
2011	16-Des	99	69	27	62	10	3	0
	08-Mar	73	74	4	2	0	2	0
	09-Nov	36	42	83	2	18	13	0
	08-Nov	8	0	0	78	0	0	0
	01-Feb	83	65	51	58	123	28	51
	04-Nov	8	8	27	18	30	45	31
	30-Jan	41	12	10	1	64	39	85
2012	28-Feb	91	42	27	56	102	13	45
	26-Mar	16	103	5	90	22	0	0
	19-Nov	64	21	77	0	17	11	18
	26-Mar	16	103	5	90	22	0	0
	28-Feb	91	42	27	56	102	13	45
	14-Jan	37	34	63	20	40	71	26
	05-Des	6	17	73	13	87	15	86
2013	08-Des	99	31	39	18	50	50	75
	07-Apr	27	66	60	70	18	3	9
	08-Mar	46	48	95	41	9	0	0
	17-Feb	11	61	11	88	14	26	36
	06-Apr	50	0	26	6	134	59	56
	06-Apr	50	0	26	6	134	59	56
	02-Feb	10	0	8	3	48	4	99
2014	29-Dec	67	0	0	0	0	0	0
	20-Dec	33	95	65	113	0	0	0
	16-Feb	29	52	82	72	20	15	9
	23-Apr	19	30	37	121	72	5	39
	14-Feb	4	0	3	0	111	0	0
	19-Dec	7	7	8	0	0	60	18
	23-Feb	52	29	17	20	71	23	108
2015	07-Feb	85	105	68	56	6	2	0
	07-Feb	85	105	68	56	6	2	0
	22-Feb	12	6	70	15	0	0	0
	01-Apr	4	4	12	65	18	0	25
	31-Dec	0	26	0	41	94	48	94

Tabel 4.3 Curah hujan harian maksimum tahunan (lanjutan)

Tahun	Tanggal	Data Curah Hujan Maksimum Tahunan (mm)						
		Stasiun CH Balen	Stasiun CH Kapas	Stasiun CH Jati Blimbing	Stasiun CH Klepek	Stasiun CH Tretes	Stasiun CH Sukun	Stasiun CH Sugihan
	30-Des	63	34	32	40	48	63	69
	12-Feb	3	0	2	0	0	34	139
2016	16-Nov	98	58	20	100	44	18	28
	24-Nov	95	78	28	65	2	6	0
	14-Agu	37	34	82	31	0	0	0
	16-Nov	98	48	20	100	44	18	28
	20-Jan	3	11	7	29	93	31	21
	10-Nov	6	7	11	7	92	70	64
	03-Okt	0	37	31	35	0	0	97
2017	23-Feb	108	49	0	109	0	3	0
	14-Nov	67	72	90	85	4	0	0
	14-Nov	67	72	90	85	4	0	0
	23-Feb	108	49	0	109	0	3	0
	22-Nov	51	60	27	8	80	35	0
	28-Feb	10	6	0	19	0	125	0
	15-Feb	0	3	4	4	29	77	97
2018	13-Des	54	0	18	13	9	8	21
	20-Jan	52	54	106	33	11	22	12
	22-Feb	14	0	133	54	85	0	35
	22-Feb	14	0	133	54	85	0	35
	22-Feb	14	0	133	54	85	0	35
	25-Feb	39	11	57	31	18	73	0
	11-Des	3	0	10	17	59	15	72
2019	22-Jan	83	7	15	38	7	0	0
	21-Jan	0	75	42	6	2	0	0
	06-Mar	79	3	133	77	0	37	88
	29-Apr	30	0	0	84	0	10	0
	09-Feb	14	6	0	10	87	0	31
	03-Nov	0	0	4	3	38	88	0
	06-Mar	79	3	133	77	0	37	88
2020	04-Mar	98	49	4	7	0	0	0
	30-Nov	88	73	121	57	17	0	51
	30-Nov	88	73	121	57	17	0	51
	04-Feb	63	47	45	93	68	66	83
	01-Nov	18	21	23	23	86	51	22
	25-Jan	16	54	19	56	65	112	41
	04-Feb	63	47	45	93	68	66	83
2021	21-Jan	114	117	125	72	24	54	6
	21-Jan	114	117	125	72	24	54	6
	21-Jan	114	117	125	72	24	54	6
	12-Des	39	75	0	120	88	25	0
	05-Nov	65	54	30	45	123	93	95
	03-Mar	0	56	49	89	75	114	99
	03-Mar	0	56	49	89	75	114	99

Sumber : DPU SDA Bojonegoro, 2022.

Tabel 4.4 Curah hujan tahunan stasiun hujan

No	Tahun	Data Curah Hujan Tahunan (mm)						
		Stasiun CH Balen	Stasiun CH Kapas	Stasiun CH Jati Blimbing	Stasiun CH Klepek	Stasiun CH Tretes	Stasiun CH Sukun	Stasiun CH Sugihan
1	2002	1239	1338	1236	1403	1523	693	982
2	2003	1476	1888	1729	1508	1356	1048	1389
3	2004	1427	1844	1498	1884	1811	1271	1586
4	2005	1759	1600	1915	2271	1905	1065	1306
5	2006	1674	1354	1293	1509	1921	896	1957
6	2007	1470	1597	1706	1911	1917	1131	2823
7	2008	1817	1660	1790	1804	1838	1054	3983
8	2009	1571	1693	1807	1823	1886	1060	2885
9	2010	3244	3268	3161	3079	2090	1402	4039
10	2011	2104	1942	1989	2526	1818	1089	2012
11	2012	1932	1717	1711	1740	1495	966	914
12	2013	2548	1979	2254	2053	2302	1112	2278
13	2014	1914	1856	1896	2489	2159	998	2252
14	2015	1185	1328	1402	1391	996	975	1480
15	2016	1948	2054	1888	2470	2080	1387	2739
16	2017	2248	2015	2001	2626	1677	1796	1801
17	2018	1101	860	1534	1058	1492	1393	1314
18	2019	1182	1217	1464	1354	1423	1383	1125
19	2020	2395	2142	2208	2167	2014	2282	1924
20	2021	2368	2143	2200	2457	2071	2189	1948

Sumber : DPU SDA Bojonegoro, 2025.

4.3 Uji Konsistensi Data Hujan

Uji konsistensi data dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat penyimpangan data pada data hujan yang tersedia, sehingga dapat diketahui apakah data tersebut layak digunakan dalam analisa hidrologi selanjutnya atau tidak. Uji konsistensi dilakukan dengan menggunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Perhitungan Uji konsistensi untuk stasiun hujan Balen disajikan dalam Tabel 4.5 dan Rekapitulasi ketujuh stasiun dapat dilihat pada Tabel 4.7. Dari hasil perhitungan ketujuh stasiun didapatkan hasil data yang konsisten pada data hujan sehingga dapat disimpulkan bahwa data curah hujan pada semua stasiun masih dalam batas konsisten dan dapat digunakan untuk analisis selanjutnya.

Tabel 4.5 Perhitungan Uji Konsistensi Data Metode RAPS Stasiun Hujan Balen

No	Tahun	CH Tahunan Stasiun Balen (mm)	Sk*	Dy ²	Sk**	[Sk**]
1	2002	1239	-591,10	17469,96	-1,11	1,11
2	2003	1476	-354,10	6269,34	-0,67	0,67
3	2004	1427	-403,10	8124,48	-0,76	0,76
4	2005	1759	-71,10	252,76	-0,13	0,13
5	2006	1674	-156,10	1218,36	-0,29	0,29
6	2007	1470	-360,10	6483,60	-0,68	0,68
7	2008	1817	-13,10	8,58	-0,02	0,02
8	2009	1571	-259,10	3356,64	-0,49	0,49
9	2010	3244	1413,90	99955,66	2,66	2,66
10	2011	2104	273,90	3751,06	0,52	0,52
11	2012	1932	101,90	519,18	0,19	0,19
12	2013	2548	717,90	25769,02	1,35	1,35
13	2014	1914	83,90	351,96	0,16	0,16
14	2015	1185	-645,10	20807,70	-1,22	1,22
15	2016	1948	117,90	695,02	0,22	0,22
16	2017	2248	417,90	8732,02	0,79	0,79
17	2018	1101	-729,10	26579,34	-1,37	1,37
18	2019	1182	-648,10	21001,68	-1,22	1,22
19	2020	2395	564,90	15955,60	1,06	1,06
20	2021	2368	537,90	14466,82	1,01	1,01
Jumlah		36602,00	Jumlah	281768,8	Sk** maks	2,66
Rerata		1830,10	Rerata	14088,44	Sk** min	-1,37

Sumber : Hasil Analisis, 2023.

$$Sk^* = \sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})^2 = 1239 - 1830,10 = -591,10$$

$$D_y^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} = (-591,10)^2 / 20 = 17469,96$$

$$Dy = \sqrt{\sum D_y^2} = 530,82$$

$$Sk^{**} = Sk^* / Dy = -591,10 / 530,82 = -1,11$$

$$|Sk^{**}| = |-1,11| = 1,11$$

$$Sk^{**} \text{ maks} = 2,66 \quad Sk^{**} \text{ min} = -1,37$$

$$Q = \text{maks } |Sk^{**}| \text{ untuk } 0 \leq k \leq n$$

$$= 2,66$$

$$R = \text{maks } Sk^{**} - \text{min } Sk^{**}$$

$$= 2,66 - (-1,37) = 4,04$$

Tabel 4.6 Nilai $Q/(n^{0.5})$ dan $R/(n^{0.5})$

n	Q/(n ^{0.5})			R/(n ^{0.5})	
	90%	95%	99%	90%	95%
10	1,05	1,14	1,29	1,21	1,28
20	1,10	1,22	1,42	1,34	1,43
30	1,12	1,24	1,46	1,40	1,50
40	1,13	1,26	1,50	1,42	1,53
50	1,14	1,27	1,52	1,44	1,55
100	1,17	1,29	1,55	1,50	1,62
	1,22	1,36	1,63	1,62	1,75

Sumber : Hasil Analisis, 2025.

$$Q/(n^{0.5}) = 0,60 < 1,10 \text{ (90\% Data Konsisten)}$$

$$R/(n^{0.5}) = 0,90 < 1,37 \text{ (90\% Data Konsisten)}$$

Tabel 4.7 Rekapitulasi Hasil Uji Konsistensi Metode RAPS

Nama Stasiun Hujan	Uji Konsistensi Metode RAPS				Hasil Uji
	Q/n ^{0.5} hitung < Q/n ^{0.5} tabel dan R/n ^{0.5} hitung < R/n ^{0.5} tabel				
	Q/n ^{0.5} hitung	Q/n ^{0.5} tabel	R/n ^{0.5} hitung	R/n ^{0.5} tabel	
Sta. Balen	0,6	1,10	0,9	1,37	Data Konsisten
Sta. Kapas	0,7	1,10	1,13	1,37	Data Konsisten
Sta. Jati Blimbing	0,71	1,10	1,03	1,37	Data Konsisten
Sta. Klepek	0,48	1,10	0,88	1,37	Data Konsisten
Sta. Tretes	0,37	1,10	0,93	1,37	Data Konsisten
Sta. Sukun	0,57	1,10	0,89	1,37	Data Konsisten
Sta. Sugihan	0,52	1,10	0,81	1,37	Data Konsisten

Sumber : Hasil Analisis, 2025.

4.4 Uji Ketidakadaan Tren Data Hujan

Data curah hujan tahunan stasiun penakar hujan yang tersedia dapat diketahui ada atau tidaknya trend. Pada studi ini, data curah hujan tahunan stasiun hujan diuji ketidakadaan trend dengan metode Spearman, karena metode tersebut lebih sederhana dan tidak terdapat ketentuan khusus. Perhitungan uji ketidakadaan tren data hujan pada stasiun hujan Balen disajikan pada Tabel 4.8 dan hasil rekapitulasi ketujuh stasiun hujan disajikan pada Tabel 4.9. Semua hasil yang ditunjukkan dari ketujuh stasiun hujan menampilkan bahwa data bersifat independent dimana menandakan ketidakadaan tren pada data hujan ke semua stasiun hujan, sehingga data dapat diterima untuk digunakan analisis selanjutnya.

Tabel 4.8 Perhitungan Koefisien Korelasi Peringkat Metode Spearman Data Curah Hujan Tahunan Stasiun Balen Tahun 2002-2021

No	Tahun	Peringkat Tt	Curah Hujan Tahunan (mm)	Peringkat Rt	dt	dt ²
1	2002	1	1239	17	16	256
2	2003	2	1476	14	12	144
3	2004	3	1427	16	13	169
4	2005	4	1759	11	7	49
5	2006	5	1674	12	7	49
6	2007	6	1470	15	9	81
7	2008	7	1817	10	3	9
8	2009	8	1571	13	5	25
9	2010	9	3244	1	-8	64
10	2011	10	2104	6	-4	16
11	2012	11	1932	8	-3	9
12	2013	12	2548	2	-10	100
13	2014	13	1914	9	-4	16
14	2015	14	1185	18	4	16
15	2016	15	1948	7	-8	64
16	2017	16	2248	5	-11	121
17	2018	17	1101	20	3	9
18	2019	18	1182	19	1	1
19	2020	19	2395	3	-16	256
20	2021	20	2368	4	-16	256
JUMLAH						1710

Sumber : Hasil Analisis, 2025.

$$P = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (dt)^2}{n^3 - n}$$

$$= 1 - \frac{6 \times 1710}{20^3 - 20} = -0,2857$$

$$t = KP \left[\frac{n-2}{1-KP^2} \right]^{\frac{1}{2}} = -0,2857 \left[\frac{20-2}{1-(-0,2857)^2} \right]^{\frac{1}{2}} = -1,264911 < 1,725 \text{ (Data Independent)}$$

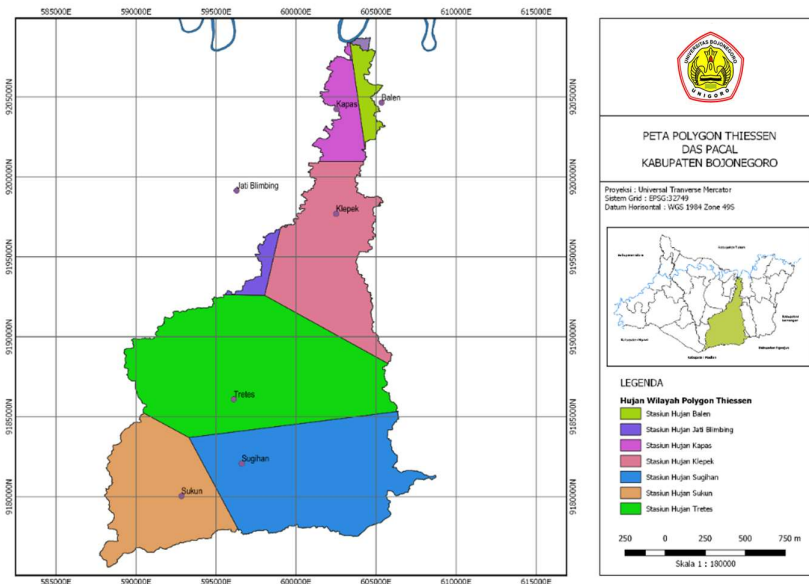
Tabel 4.9 Rekapitulasi Hasil Uji Ketidakadaan Trend

Nama Stasiun Hujan	Uji Ketidakadaan Tren		Hasil Uji
	(t hitung < t tabel)		
	Nilai t hitung	Nilai t tabel	
Sta. Balen	-1,265	1,725	Data Independent
Sta. Kapas	-1,115	1,725	Data Independent
Sta. Jati Blimbing	-1,673	1,725	Data Independent
Sta. Klepek	-0,692	1,725	Data Independent
Sta. Tretes	-0,547	1,725	Data Independent
Sta. Sukun	-3,375	1,725	Data Independent
Sta. Sugihan	-0,013	1,725	Data Independent

Sumber : Hasil Analisis, 2025.

4.5 Perhitungan Curah Hujan Wilayah Rata-Rata

Dalam studi ini, analisis curah hujan daerah menggunakan metode poligon Thiessen, karena metode tersebut memberikan proposi luasan daerah pengaruh penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakteraturan jarak. Meskipun belum dapat memberikan bobot yang tepat sebagai sumbangan satu stasiun penakar hujan untuk hujan daerah, namun metode ini telah memberikan bobot tertentu kepada masing-masing stasiun sebagai fungsi jarak stasiun penakar hujan. Hasil polygon thiessen ditampilkan pada Gambar 4.4 dan nilai luasan pengaruh curah hujan pada DAS Pacal metode polygon thiessen ditunjukkan pada Tabel 4.10.



Gambar 4.4 Polygon Thiessen DAS Pacal

Sumber : Hasil Analisis, 2025.

Tabel 4.10 Nilai Luasan Pengaruh Curah Hujan pada DAS Pacal Metode Polygon Thiessen

No.	Nama Stasiun Hujan	Luasan (m ²)	%
1	Sta. Balen	6,684	2,20
2	Sta. Kapas	10,702	3,53
3	Sta. Jati Blimbing	3,940	1,30
4	Sta. Klepek	53,803	17,74
5	Sta. Tretes	104,361	34,42
6	Sta. Sukun	47,833	15,77
7	Sta. Sugihan	75,915	25,03
Total		303,24	100,00

Sumber : Hasil Analisis, 2025.

Perhitungan dilakukan untuk mendapatkan curah hujan rencana pada tahun 2002-2021 di tujuh stasiun hujan dengan menggunakan rumus hujan wilayah metode polygon thiessen. Tabel 4.11 menunjukkan hasil perhitungan curah hujan harian maksimum yang telah dikalikan dengan besarnya luasan pada setiap stasiun hujan yang berpengaruh di masing-masing tahun.

Tabel 4.11 Perhitungan Curah Hujan Wilayah

Tahun	Tanggal	Data Curah Hujan (mm)							Total	Rh	Rh Max (mm)
		Stasiun CH Balen	Stasiun CH Kapas	Stasiun CH Jati Blimbing	Stasiun CH Klepek	Stasiun CH Tretes	Stasiun CH Sukun	Stasiun CH Sugihan			
2002	02-Mar	407,74	545,80	232,45	1452,68	208,72	0,00	0,00	2847,39	9	58
	26-Dec	360,95	834,75	204,87	1022,25	1565,42	382,67	1214,63	5585,54	18	
	28-Mar	73,53	0,00	342,76	2205,92	3130,83	0,00	0,00	5753,04	19	
	03-Dec	340,90	556,50	11,82	3873,80	5739,86	717,50	6452,74	17693,12	58	
	24-Mar	73,53	0,00	0,00	0,00	8870,69	0,00	0,00	8944,21	29	
	05-Apr	300,79	224,74	51,22	1398,87	5739,86	3587,51	0,00	11302,99	37	
	03-Dec	340,90	556,50	11,82	3873,80	5739,86	717,50	6452,74	17693,12	58	
2003	02-Feb	655,06	577,90	47,28	699,44	417,44	95,67	303,66	2796,45	9	70
	17-Okt	233,95	1005,98	334,88	1560,28	0,00	0,00	0,00	3135,10	10	
	14-Feb	0,00	385,27	401,86	6940,57	10331,74	430,50	2808,84	21298,78	70	
	14-Feb	0,00	385,27	401,86	6940,57	10331,74	430,50	2808,84	21298,78	70	
	14-Feb	0,00	385,27	472,78	6940,57	10331,74	430,50	2808,84	21369,69	70	
	04-Dec	233,95	449,48	177,29	3066,76	5844,22	2965,67	5162,19	17899,56	59	
	26-Jan	0,00	21,40	0,00	0,00	4278,80	2583,01	7211,88	14095,09	46	
2004	29-Mar	815,48	1369,84	248,21	6563,95	8661,96	1148,00	4175,30	22982,75	76	76
	29-Mar	815,48	1369,84	248,21	6563,95	8661,96	1148,00	4175,30	22982,75	76	
	12-Jan	347,58	1294,93	382,16	3174,37	626,17	0,00	1670,12	7495,33	25	
	29-Mar	815,48	1369,84	248,21	6563,95	8661,96	1148,00	4175,30	22982,75	76	
	29-Mar	815,48	1369,84	248,21	6563,95	8661,96	1148,00	4175,30	22982,75	76	
	23-Jan	180,48	642,11	63,04	699,44	1878,50	3826,67	1290,55	8580,78	28	
2005	14-Jan	0,00	0,00	0,00	0,00	3026,47	1004,50	6452,74	10483,71	35	41
	13-Dec	447,85	674,22	165,47	215,21	0,00	0,00	455,49	1958,24	6	
	08-Mar	387,69	995,28	90,62	591,83	0,00	143,50	0,00	2208,91	7	
	06-Mei	0,00	0,00	425,50	3066,76	0,00	0,00	0,00	3492,26	12	
	21-Dec	354,27	535,10	311,25	4627,04	5844,22	382,67	0,00	12054,54	40	
	04-Feb	0,00	192,63	27,58	1506,48	8975,05	813,17	986,89	12501,80	41	
	19-Feb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5309,51	0,00	5309,51	18	
2006	14-Mar	53,47	0,00	0,00	161,41	3339,55	2056,84	6073,16	11684,44	39	46
	26-Feb	574,85	524,39	110,31	1345,07	2922,11	621,83	1594,21	7692,78	25	
	27-Dec	227,27	556,50	35,46	1990,71	2087,22	1817,67	0,00	6714,82	22	
	10-Apr	173,79	64,21	267,91	591,83	1252,33	334,83	986,89	3671,80	12	
	03-Mei	0,00	267,55	90,62	5003,66	4070,08	3109,17	0,00	12541,08	41	
	06-Feb	93,58	117,72	35,46	860,85	9809,94	574,00	2505,18	13996,72	46	
	03-Mei	0,00	267,55	90,62	5003,66	4070,08	3109,17	0,00	12541,08	41	
12-Feb	106,95	299,65	86,68	0,00	0,00	478,33	5769,51	6741,12	22		

Tabel 4.11 Perhitungan Curah Hujan Wilayah (Lanjutan)

Tahun	Tanggal	Data Curah Hujan (mm)							Total	Rh	Rh Max (mm)
		Stasiun CH Balen	Stasiun CH Kapas	Stasiun CH Jati Blimbing	Stasiun CH Klepek	Stasiun CH Tretes	Stasiun CH Sukun	Stasiun CH Sugihan			
2007	04-Des	581,53	385,27	354,58	7962,82	4487,52	1387,17	3112,50	18271,39	60	60
	11-Des	233,95	877,56	153,65	1990,71	2295,94	191,33	0,00	5743,14	19	
	04-Des	581,53	385,27	354,58	7962,82	4487,52	1387,17	3112,50	18271,39	60	
	04-Des	581,53	385,27	354,58	7962,82	4487,52	1387,17	3112,50	18271,39	60	
	17-Mar	133,69	642,11	110,31	1883,10	7305,27	956,67	1594,21	12625,36	42	
	19-Mar	33,42	0,00	114,25	0,00	5531,13	2152,50	5769,51	13600,82	45	
	19-Mar	33,42	0,00	114,25	0,00	5531,13	2152,50	5769,51	13600,82	45	
2008	09-Okt	775,38	995,28	559,45	5111,27	7096,55	1387,17	4327,13	20252,22	67	69
	06-Apr	474,58	1027,38	59,10	1129,86	0,00	0,00	986,89	3677,81	12	
	09-Okt	775,38	995,28	559,45	5111,27	7096,55	1387,17	4327,13	20252,22	67	
	17-Des	441,16	1005,98	370,34	5165,07	3026,47	382,67	0,00	10391,69	34	
	31-Jan	788,74	149,83	63,04	1076,06	11270,99	1530,67	6073,16	20952,49	69	
	21-Mar	260,69	663,52	110,31	3766,20	7096,55	2248,17	2732,92	16878,36	56	
	29-Mar	0,00	32,11	0,00	0,00	0,00	0,00	7515,54	7547,65	25	
2009	25-Feb	601,58	813,35	212,75	7155,78	8557,60	1291,50	4403,04	23035,61	76	76
	24-Feb	267,37	1091,59	236,39	2797,75	1982,86	1195,84	3264,33	10836,12	36	
	22-Nov	53,47	149,83	354,58	1345,07	730,53	0,00	151,83	2785,31	9	
	25-Feb	601,58	813,35	212,75	6079,72	8557,60	1291,50	4403,04	21959,55	72	
	24-Mar	407,74	0,00	0,00	0,00	9809,94	813,17	4478,96	15509,80	51	
	09-Jan	127,00	246,14	106,37	0,00	1878,50	2439,51	1746,03	6543,56	22	
	29-Jan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6149,08	6149,08	20	
2010	08-Mar	775,38	588,60	0,00	3658,59	1878,50	956,67	986,89	8844,63	29	41
	05-Des	581,53	1123,70	291,55	2905,35	1043,61	382,67	1290,55	7618,96	25	
	25-Agu	561,48	877,56	386,10	3712,40	3652,64	382,67	0,00	9572,84	32	
	15-Feb	461,21	813,35	232,45	5864,51	2713,39	287,00	1973,78	12345,68	41	
	24-Feb	0,00	0,00	82,74	0,00	8557,60	143,50	2353,35	11137,19	37	
	17-Apr	167,11	53,51	137,89	1560,28	2087,22	1865,50	2353,35	8224,87	27	
	02-Feb	13,37	85,62	260,03	807,04	2609,03	1578,50	5693,59	11047,17	36	
2011	16-Des	661,74	738,43	106,37	3335,78	1043,61	143,50	0,00	6029,44	20	75
	08-Mar	487,95	791,94	15,76	107,61	0,00	95,67	0,00	1498,92	5	
	09-Nov	240,63	449,48	327,00	107,61	1878,50	621,83	0,00	3625,06	12	
	08-Nov	53,47	0,00	0,00	4196,62	0,00	0,00	0,00	4250,10	14	
	01-Feb	554,79	695,62	200,93	3120,56	12836,40	1339,34	3871,64	22619,30	75	
	04-Nov	53,47	85,62	106,37	968,45	3130,83	2152,50	2353,35	8850,60	29	
	30-Jan	274,06	128,42	39,40	53,80	6679,10	1865,50	6452,74	15493,03	51	
2012	28-Feb	608,27	449,48	106,37	3012,96	10644,82	621,83	3416,16	18859,90	62	62
	26-Mar	106,95	1102,30	19,70	4842,26	2295,94	0,00	0,00	8367,14	28	
	19-Nov	427,79	224,74	303,37	0,00	1774,14	526,17	1366,46	4622,67	15	
	26-Mar	106,95	1102,30	19,70	4842,26	2295,94	0,00	0,00	8367,14	28	
	28-Feb	608,27	449,48	106,37	3012,96	10644,82	621,83	3416,16	18859,90	62	
	14-Jan	247,32	363,86	248,21	1076,06	4174,44	3396,17	1973,78	11479,84	38	
05-Des	40,11	181,93	287,61	699,44	9079,41	717,50	6528,65	17534,64	58		

Tabel 4.11 Perhitungan Curah Hujan Wilayah (Lanjutan)

Tahun	Tanggal	Data Curah Hujan (mm)							Total	Rh	Rh Max (mm)
		Stasiun CH Balen	Stasiun CH Kapas	Stasiun CH Jati Blimbing	Stasiun CH Klepek	Stasiun CH Tretes	Stasiun CH Sukun	Stasiun CH Sugihan			
2013	08-Des	661,74	331,76	153,65	968,45	5218,05	2391,67	5693,59	15418,92	51	72
	07-Apr	180,48	706,33	236,39	3766,20	1878,50	143,50	683,23	7594,62	25	
	08-Mar	307,48	513,69	374,28	2205,92	939,25	0,00	0,00	4340,62	14	
	17-Feb	73,53	652,82	43,34	4734,65	1461,05	1243,67	2732,92	10941,98	36	
	06-Apr	334,21	0,00	102,44	322,82	13984,38	2822,17	4251,22	21817,23	72	
	06-Apr	334,21	0,00	102,44	322,82	13984,38	2822,17	4251,22	21817,23	72	
	02-Feb	66,84	0,00	31,52	161,41	5009,33	191,33	7515,54	12975,97	43	
2014	29-Des	447,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	447,85	1	61
	20-Des	220,58	1016,68	256,09	6079,72	0,00	0,00	0,00	7573,07	25	
	16-Feb	193,84	556,50	323,06	3873,80	2087,22	717,50	683,23	8435,17	28	
	23-Apr	127,00	321,06	145,77	6510,14	7513,99	239,17	2960,67	17817,80	59	
	14-Feb	26,74	0,00	11,82	0,00	11584,07	0,00	0,00	11622,63	38	
	19-Des	46,79	74,91	31,52	0,00	0,00	2870,01	1366,46	4389,69	14	
	23-Feb	347,58	310,36	66,98	1076,06	7409,63	1100,17	8198,77	18509,54	61	
2015	07-Feb	568,16	1123,70	267,91	3012,96	626,17	95,67	0,00	5694,56	19	72
	07-Feb	568,16	1123,70	267,91	3012,96	626,17	95,67	0,00	5694,56	19	
	22-Feb	80,21	64,21	275,79	807,04	0,00	0,00	0,00	1227,25	4	
	01-Apr	26,74	42,81	47,28	3497,18	1878,50	0,00	1897,86	7390,37	24	
	31-Des	0,00	278,25	0,00	2205,92	9809,94	2296,00	7135,97	21726,07	72	
	30-Des	421,11	363,86	126,07	2152,11	5009,33	3013,51	5238,10	16324,10	54	
	12-Feb	20,05	0,00	7,88	0,00	0,00	1626,34	10552,12	12206,39	40	
2016	16-Nov	655,06	620,71	78,80	5380,28	4591,88	861,00	2125,61	14313,34	47	60
	24-Nov	635,01	834,75	110,31	3497,18	208,72	287,00	0,00	5572,98	18	
	14-Agu	247,32	363,86	323,06	1667,89	0,00	0,00	0,00	2602,14	9	
	16-Nov	655,06	513,69	78,80	5380,28	4591,88	861,00	2125,61	14206,32	47	
	20-Jan	20,05	117,72	27,58	1560,28	9705,57	1482,84	1594,21	14508,25	48	
	10-Nov	40,11	74,91	43,34	376,62	9601,21	3348,34	4858,53	18343,06	60	
	03-Okt	0,00	395,97	122,13	1883,10	0,00	0,00	7363,71	9764,92	32	
2017	23-Feb	721,90	524,39	0,00	5864,51	0,00	143,50	0,00	7254,30	24	47
	14-Nov	447,85	770,54	354,58	4573,24	417,44	0,00	0,00	6563,65	22	
	14-Nov	447,85	770,54	354,58	4573,24	417,44	0,00	0,00	6563,65	22	
	23-Feb	721,90	524,39	0,00	5864,51	0,00	143,50	0,00	7254,30	24	
	22-Nov	340,90	642,11	106,37	430,42	8348,88	1674,17	0,00	11542,86	38	
	28-Feb	66,84	64,21	0,00	1022,25	0,00	5979,18	0,00	7132,49	24	
	15-Feb	0,00	32,11	15,76	215,21	3026,47	3683,17	7363,71	14336,43	47	
2018	13-Des	360,95	0,00	70,92	699,44	939,25	382,67	1594,21	4047,43	13	50
	20-Jan	347,58	577,90	417,62	1775,49	1147,97	1052,34	910,97	6229,88	21	
	22-Feb	93,58	0,00	524,00	2905,35	8870,69	0,00	2657,01	15050,62	50	
	22-Feb	93,58	0,00	524,00	2905,35	8870,69	0,00	2657,01	15050,62	50	
	22-Feb	93,58	0,00	524,00	2905,35	8870,69	0,00	2657,01	15050,62	50	
	25-Feb	260,69	117,72	224,57	1667,89	1878,50	3491,84	0,00	7641,20	25	
2019	11-Des	20,05	0,00	39,40	914,65	6157,30	717,50	5465,85	13314,75	44	
2019	22-Jan	554,79	74,91	59,10	2044,51	730,53	0,00	0,00	3463,84	11	

Tabel 4.11 Perhitungan Curah Hujan Wilayah (Lanjutan)

Tahun	Tanggal	Data Curah Hujan (mm)							Total	Rh	Rh Max (mm)
		Stasiun CH Balen	Stasiun CH Kapas	Stasiun CH Jati Blimbing	Stasiun CH Klepek	Stasiun CH Tretes	Stasiun CH Sukun	Stasiun CH Sugihan			
2019	21-Jan	0,00	802,64	165,47	322,82	208,72	0,00	0,00	1499,65	5	45
	06-Mar	528,06	32,11	524,00	4142,82	0,00	1769,84	6680,48	13677,30	45	
	29-Apr	200,53	0,00	0,00	4519,44	0,00	478,33	0,00	5198,30	17	
	09-Feb	93,58	64,21	0,00	538,03	9079,41	0,00	2353,35	12128,58	40	
	03-Nov	0,00	0,00	15,76	161,41	3965,72	4209,34	0,00	8352,23	28	
	06-Mar	528,06	32,11	524,00	4142,82	0,00	1769,84	6680,48	13677,30	45	
2020	04-Mar	655,06	524,39	15,76	376,62	0,00	0,00	0,00	1571,83	5	75
	30-Nov	588,22	781,24	476,72	3066,76	1774,14	0,00	3871,64	10558,71	35	
	30-Nov	588,22	781,24	476,72	3066,76	1774,14	0,00	3871,64	10558,71	35	
	04-Feb	421,11	502,99	177,29	5003,66	7096,55	3157,01	6300,91	22659,52	75	
	01-Nov	120,32	224,74	90,62	1237,47	8975,05	2439,51	1670,12	14757,81	49	
	25-Jan	106,95	577,90	74,86	3012,96	6783,47	5357,34	3112,50	19025,97	63	
	04-Feb	421,11	502,99	177,29	5003,66	7096,55	3157,01	6300,91	22659,52	75	
2021	21-Jan	762,01	1252,12	492,48	3873,80	2504,66	2583,01	455,49	11923,57	39	92
	21-Jan	762,01	1252,12	492,48	3873,80	2504,66	2583,01	455,49	11923,57	39	
	21-Jan	762,01	1252,12	492,48	3873,80	2504,66	2583,01	455,49	11923,57	39	
	12-Dec	260,69	802,64	0,00	6456,34	9183,77	1195,84	0,00	17899,28	59	
	05-Nov	434,48	577,90	118,19	2421,13	12836,40	4448,51	7211,88	28048,50	92	
	03-Mar	0,00	599,31	193,05	4788,45	7827,08	5453,01	7515,54	26376,44	87	
	03-Mar	0,00	599,31	193,05	4788,45	7827,08	5453,01	7515,54	26376,44	87	

Sumber : Hasil Analisis, 2025.

4.6 Analisis Frekuensi Untuk Mendapatkan Curah Hujan Rencana

Perhitungan hujan harian wilayah dapat dilakukan maksimum DAS pada Tabel 4.11. Data hujan yang dipergunakan merupakan data hujan harian maksimum tiap tahun dari tahun 2002 sampai 2021. Menurut uji Chi-Kuadrat diperoleh hasil distribusi terbaik untuk hujan rencana DAS Pacal menggunakan distribusi *Log Pearson Type III* dengan nilai Chi-Kritik sebesar 9,488 dan nilai Chi-Kuadrat sebesar 3,400. Menurut uji Smirnov-Kolmogorov diperoleh hasil distribusi terbaik menggunakan distribusi Log-Pearson III dengan nilai Delta Kritik sebesar 0,34 dan nilai Delta Maksimum sebesar 0,1003. Parameter statistik hujan harian DAS Pacal adalah sebagai berikut: nilai rata-rata sebesar 1,785, simpangan baku sebesar 0,101, koefisien skewness sebesar -0,335 dan koefisien kurtosis 1,855. Hasil analisis statistik untuk hujan rencana disajikan pada Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.12 Curah Hujan Rencana Kala Ulang DAS Pacal

Periode (Tahun)	R24 (mm)
2	61,701
5	74,338
10	81,355
25	89,108
50	94,250
100	98,924
500	103,254
1000	112,474

Sumber : Hasil Analisis, 2025.

4.7 Distribusi Hujan Jam-Jaman

Data hujan yang tersedia adalah data hujan harian. Hujan harian tersebut setelah diolah dengan metode poligon Thiessen menjadi hujan DAS. Proses masukan data hujan pada perangkat lunak HEC-HMS diperlukan hujan jam-jaman, sehingga hujan DAS dengan kala ulang tertentu (hujan harian rencana) perlu didistribusikan menjadi hujan jam-jaman. Durasi hujan rancangan dihitung menggunakan metode *Australian Rainfall Runoff (ARR)* yang memberikan hasil sebesar 7 jam. Pada penelitian ini, banjir kala ulang yang digunakan adalah 50, 100, 500, dan 1000 tahun. Hasil perhitungan distribusi hujan rancangan menggunakan metode ABM ditunjukkan dalam Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Distribusi Hujan Rencana Jam-Jaman DAS Pacal

Jam	Distribusi hujan jam-jaman (mm)							
	P2	P5	P10	P25	P50	P100	P500	P1000
1	3,14	3,78	4,14	4,54	4,80	5,04	5,26	5,73
2	4,02	4,84	5,30	5,80	6,14	6,44	6,72	7,33
3	5,98	7,20	7,88	8,63	9,13	9,58	10,00	10,90
4	32,78	39,50	43,23	47,35	50,08	52,56	54,86	59,76
5	8,52	10,27	11,24	12,31	13,02	13,66	14,26	15,53
6	4,76	5,73	6,27	6,87	7,27	7,63	7,96	8,67
7	3,51	4,23	4,63	5,07	5,37	5,63	5,88	6,40

Sumber : Hasil Analisis, 2025.

4.8 Hidrograf Satuan Sintetik (HSS)

Pengalih-ragaman (transform) hujan menjadi aliran pada studi ini menggunakan hidrograf satuan sintetik (HSS). Pada penelitian ini HSS yang digunakan adalah HSS Nakayasu. Penggunaan HSS ini berdasarkan atas tidak tersedianya data tinggi muka air sungai dari peralatan AWLR pada titik tinjau.

HSS tersebut akan diinputkan pada permodelan hidrologi HEC-HMS sesuai dengan area yang telah dihasilkan. Pada Tabel 4.14 berisikan parameter hidrograf satuan sintetik Nakayasu sedangkan untuk perhitungan HSS masing-masing Sub DAS ditampilkan pada Tabel 4.15 sampai Tabel 4.22 serta Gambar 4.5 memperlihatkan hidrograf satuan sintetik Nakayasu ke semua Sub DAS.

Tabel 4.14 Parameter Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu DAS Pacal

Parameter	Satuan	DAS Pacal							
		Sub DAS 1	Sub DAS 2	Sub DAS 3	Sub DAS 4	Sub DAS 5	Sub DAS 6	Sub DAS 7	Sub DAS 8
Luas DAS (A)	km ²	74,289	66,644	13,778	3,069	45,170	38,737	12,057	49,493
Panjang Sungai (L)	km	18,166	20,000	11,772	3,605	20,390	21,606	9,790	40,686
Debit Puncak (Qp)	m ³ /dtk	5,819	5,159	1,706	0,772	3,747	3,240	1,636	3,073
Waktu Puncak (Tp)	jam	2,326	2,496	1,888	0,824	2,532	2,645	1,659	4,416
Waktu Resesi 0,3 (T0,3)	jam	2,849	2,840	1,677	0,857	2,589	2,528	1,549	3,148
Waktu Konsentrasi (tg)	jam	1,454	1,560	1,180	0,515	1,583	1,653	1,037	2,760
Satuan Waktu (Tr)	jam	1,090	1,170	0,885	0,386	1,187	1,240	0,778	2,070

Sumber : Hasil Analisis, 2025.

Tabel 4.15 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 1

Waktu	UH	UH terkoreksi
0,000	0,000	0,000
1,000	0,767	1,052
2,000	4,051	5,550
2,330	5,819	7,973
3,000	4,376	5,996
4,000	2,868	3,929
5,000	1,879	2,575
5,180	1,746	2,392
6,000	1,383	1,895
7,000	1,044	1,430
8,000	0,787	1,079
9,000	0,594	0,814
9,456	0,524	0,718
10,000	0,466	0,638
11,000	0,377	0,517
12,000	0,305	0,418
13,000	0,247	0,339
14,000	0,200	0,274
15,000	0,162	0,222
16,000	0,131	0,180
17,000	0,106	0,145
18,000	0,086	0,118

Sumber : Hasil Analisis, 2023.

Tabel 4.15 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 1 (Lanjutan)

Waktu	UH	UH terkoreksi
19,000	0,070	0,095
20,000	0,056	0,077
21,000	0,046	0,062
22,000	0,037	0,051
23,000	0,030	0,041
24,000	0,024	0,033
25,000	0,020	0,027
26,000	0,016	0,022
27,000	0,013	0,018
28,000	0,010	0,014
29,000	0,008	0,012
30,000	0,007	0,009
31,000	0,006	0,008
32,000	0,004	0,006
33,000	0,004	0,005
34,000	0,003	0,004
35,000	0,002	0,003
Jumlah	28,262	38,739
A*1000/3600	20,636	
Faktor Koreksi	1,370	

Sumber : Hasil Analisis, 2023.

Tabel 4.16 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 2

Waktu	UH	UH terkoreksi
0,000	0,000	0,000
1,000	0,648	0,888
2,000	3,419	4,685
2,503	5,819	7,973
3,000	4,166	5,708
4,000	2,726	3,736
5,000	1,784	2,445
5,346	1,548	2,120
6,000	1,283	1,757
7,000	0,967	1,325
8,000	0,729	0,999
9,000	0,549	0,753
9,610	0,464	0,636
10,000	0,426	0,584
11,000	0,345	0,472
12,000	0,279	0,382
13,000	0,226	0,309
14,000	0,183	0,250
15,000	0,148	0,202
16,000	0,119	0,164
17,000	0,097	0,132

Sumber : Hasil Analisis, 2025.

Tabel 5.16 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 2 (Lanjutan)

Waktu	UH	UH terkoreksi
18,000	0,078	0,107
19,000	0,063	0,087
20,000	0,051	0,070
21,000	0,041	0,057
22,000	0,033	0,046
23,000	0,027	0,037
24,000	0,022	0,030
25,000	0,018	0,024
26,000	0,014	0,020
27,000	0,012	0,016
28,000	0,009	0,013
29,000	0,008	0,010
30,000	0,006	0,008
31,000	0,005	0,007
32,000	0,004	0,006
33,000	0,003	0,004
34,000	0,003	0,004
35,000	0,002	0,003
Jumlah	26,317	36,068
A*1000/3600	18,512	
Faktor Koreksi	1,422	

Sumber : Hasil Analisis, 2023.

Tabel 4.17 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 3

Waktu	UH	UH terkoreksi
0,000	0,000	0,000
1,000	0,371	0,509
1,888	1,706	2,337
2,000	1,574	2,156
3,000	0,768	1,052
3,565	0,512	0,701
4,000	0,416	0,569
5,000	0,258	0,353
6,000	0,160	0,219
6,081	0,154	0,210
7,000	0,110	0,151
8,000	0,077	0,106
9,000	0,054	0,074
10,000	0,038	0,052
11,000	0,026	0,036
12,000	0,018	0,025
13,000	0,013	0,018
14,000	0,009	0,012
15,000	0,006	0,009
16,000	0,004	0,006

Sumber : Hasil Analisis, 2023.

Tabel 4.17 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 3 (Lanjutan)

Waktu	UH	UH terkoreksi
17,000	0,003	0,004
18,000	0,002	0,003
19,000	0,001	0,002
Jumlah	6,279	8,603
A*1000/3600	3,827	
Faktor Koreksi	1,641	

Sumber : Hasil Analisis, 2023.

Tabel 4.18 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 4

Waktu	UH	UH terkoreksi
0,000	0,000	0,000
0,824	0,772	1,058
1,000	0,603	0,827
1,682	0,232	0,317
2,000	0,172	0,236
2,967	0,069	0,095
3,000	0,068	0,093
4,000	0,034	0,046
5,000	0,017	0,023
6,000	0,008	0,011
7,000	0,004	0,006
8,000	0,002	0,003
9,000	0,001	0,001
Jumlah	1,982	2,715
A*1000/3600	0,853	
Faktor Koreksi	2,324	

Sumber : Hasil Analisis, 2023.

Tabel 4.19 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 5

Waktu	UH	UH terkoreksi
0,000	0,000	0,000
1,000	0,403	0,552
2,000	2,127	2,914
2,532	3,747	5,134
3,000	3,014	4,130
4,000	1,893	2,594
5,000	1,189	1,629
5,121	1,124	1,540
6,000	0,856	1,173
7,000	0,628	0,860
8,000	0,460	0,631
9,000	0,338	0,463
9,005	0,337	0,462
10,000	0,268	0,367

Sumber : Hasil Analisis, 2023.

**Tabel 4.19 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 5
(Lanjutan)**

Waktu	UH	UH terkoreksi
11,000	0,212	0,291
12,000	0,168	0,230
13,000	0,133	0,183
14,000	0,106	0,145
15,000	0,084	0,115
16,000	0,066	0,091
17,000	0,053	0,072
18,000	0,042	0,057
19,000	0,033	0,045
20,000	0,026	0,036
21,000	0,021	0,028
22,000	0,016	0,023
23,000	0,013	0,018
24,000	0,010	0,014
25,000	0,008	0,011
26,000	0,006	0,009
27,000	0,005	0,007
28,000	0,004	0,006
29,000	0,003	0,004
30,000	0,003	0,004
31,000	0,002	0,003
32,000	0,002	0,002
33,000	0,001	0,002
Jumlah	17,402	23,843
A*1000/3600	12,547	
Faktor Koreksi	1,387	

Sumber : Hasil Analisis, 2023.

Tabel 4.20 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 6

Waktu	UH	UH terkoreksi
0,000	0,000	0,000
1,000	0,314	0,430
2,000	1,656	2,269
2,645	3,240	4,439
3,000	2,736	3,748
4,000	1,699	2,328
5,000	1,055	1,446
5,173	0,972	1,332
6,000	0,747	1,024
7,000	0,544	0,746
8,000	0,396	0,543
8,965	0,292	0,399
9,000	0,289	0,396
10,000	0,228	0,312

Sumber : Hasil Analisis, 2023.

**Tabel 4.20 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 6
(Lanjutan)**

Waktu	UH	UH terkoreksi
11,000	0,180	0,246
12,000	0,142	0,194
13,000	0,112	0,153
14,000	0,088	0,120
15,000	0,069	0,095
16,000	0,055	0,075
17,000	0,043	0,059
18,000	0,034	0,046
19,000	0,027	0,037
20,000	0,021	0,029
21,000	0,017	0,023
22,000	0,013	0,018
23,000	0,010	0,014
24,000	0,008	0,011
25,000	0,006	0,009
26,000	0,005	0,007
27,000	0,004	0,005
28,000	0,003	0,004
29,000	0,002	0,003
30,000	0,002	0,003
31,000	0,002	0,002
32,000	0,001	0,002
33,000	0,001	0,001
Jumlah	15,012	20,568
A*1000/3600	10,760	
Faktor Koreksi	1,395	

Sumber : Hasil Analisis, 2023.

Tabel 4.21 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 7

Waktu	UH	UH terkoreksi
0,000	0,000	0,000
1,000	0,485	0,665
1,659	1,636	2,242
2,000	1,255	1,720
3,000	0,577	0,791
3,208	0,491	0,673
4,000	0,326	0,446
5,000	0,194	0,266
5,532	0,147	0,202
6,000	0,123	0,168
7,000	0,083	0,114
8,000	0,056	0,077
9,000	0,038	0,052
10,000	0,026	0,036

Sumber : Hasil Analisis, 2023.

Tabel 4.21 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 7 (Lanjutan)

Waktu	UH	UH terkoreksi
11,000	0,018	0,024
12,000	0,012	0,016
13,000	0,008	0,011
14,000	0,005	0,008
15,000	0,004	0,005
16,000	0,003	0,003
17,000	0,002	0,002
18,000	0,001	0,002
Jumlah	5,491	7,523
A*1000/3600	3,349	
Faktor Koreksi	1,639	

Tabel 4.22 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 8

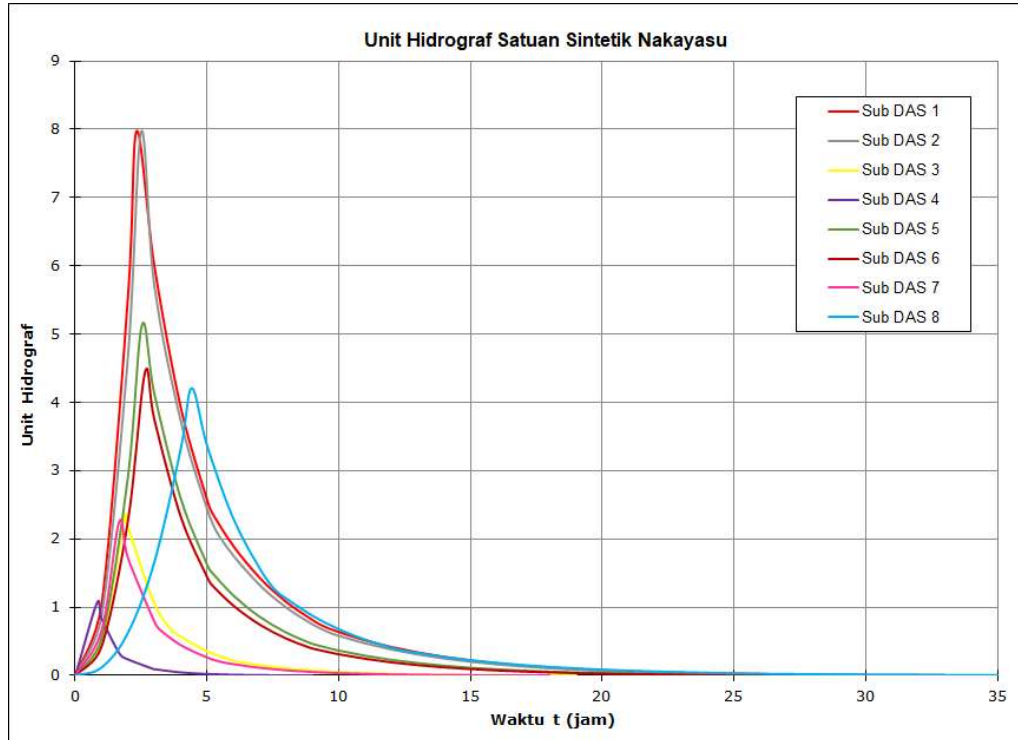
Waktu	UH	UH terkoreksi
0.000	0.000	0.000
1.000	0.087	0.119
2.000	0.459	0.629
3.000	1.215	1.665
4.000	2.424	3.322
4.417	3.073	4.211
5.000	2.458	3.368
6.000	1.677	2.298
7.000	1.144	1.567
7.565	0.922	1.263
8.000	0.825	1.130
9.000	0.639	0.876
10.000	0.496	0.679
11.000	0.384	0.526
12.000	0.298	0.408
12.288	0.277	0.379
13.000	0.241	0.331
14.000	0.199	0.273
15.000	0.165	0.226
16.000	0.136	0.186
17.000	0.112	0.154
18.000	0.093	0.127
19.000	0.077	0.105
20.000	0.063	0.087
21.000	0.052	0.072
22.000	0.043	0.059

Sumber : Hasil Analisis, 2023.

**Tabel 4.22 Perhitungan HSS Nakayasu Sub DAS 8
(Lanjutan)**

Waktu	UH	UH terkoreksi
23.000	0.036	0.049
24.000	0.029	0.040
25.000	0.024	0.033
26.000	0.020	0.028
27.000	0.017	0.023
28.000	0.014	0.019
29.000	0.011	0.016
30.000	0.009	0.013
31.000	0.008	0.011
32.000	0.006	0.009
33.000	0.005	0.007
34.000	0.004	0.006
35.000	0.004	0.005
36.000	0.003	0.004
37.000	0.002	0.003
Jumlah	17,753	21,911
A*1000/3600	13,748	
Faktor Koreksi	1,291	

Sumber : Hasil Analisis, 2023.



Gambar 4.5 HSS Nakayasu Sub-DAS Pacal

Sumber : Hasil Analisis, 2025.

4.9 *Curve Number dan Impervious Area*

CN (*Curve Number*) merupakan representasi potensi limpasan dari penggunaan lahan dan karakteristik kompleks tanah. Untuk DAS dengan sub DAS yang memiliki tipe lahan dan penggunaan lahan yang berbeda, maka nilai CN merupakan nilai komposit dari masing-masing tipe lahan dan penggunaan lahan di luasan tersebut. Nilai CN didapatkan dengan melakukan overlay data penggunaan lahan dan data jenis tanah, kemudian pada masing-masing sub DAS ditentukan nilai CN komposit. Persentase *impervious area* juga dipengaruhi oleh jenis penggunaan lahan pada masing-masing luasan. Retensi maksimum (S) dipengaruhi oleh nilai CN yang ada sedangkan *Initial Abstraction* (Ia) didapatkan dari 0,2S. Tabel 4.23 menunjukkan rekapitulasi nilai CN, persentase *impervious area*, Retensi maksimum (S), dan *Initial Abstraction* (Ia).

Tabel 4.23 Rekapitulasi Hasil Curve Number dan Impervious

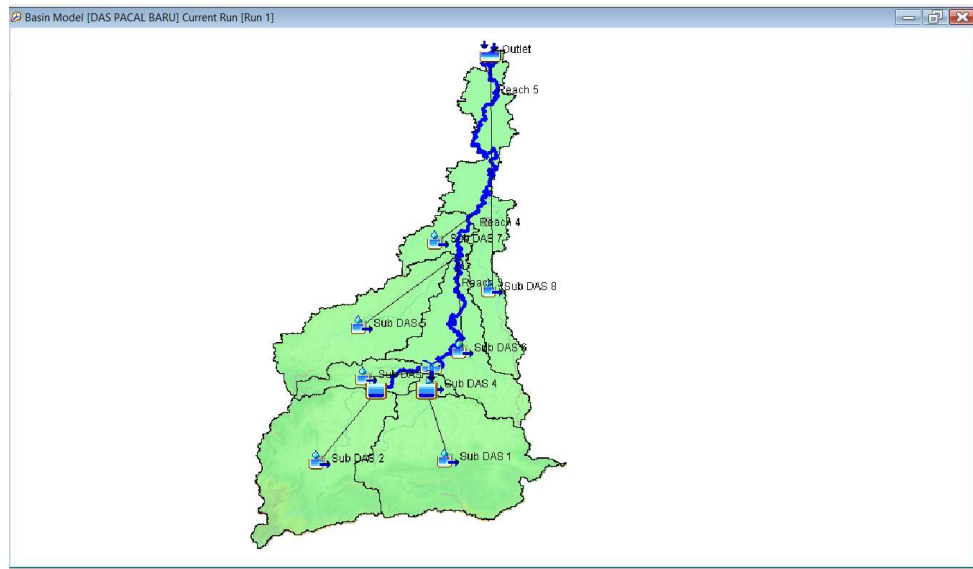
No	Sub DAS	CN	Impervious	S	Ia
1	Sub DAS 1	71,63	7,23	100,58	20,12
2	Sub DAS 2	73,09	8,97	93,52	18,70
3	Sub DAS 3	68,32	2,58	117,77	23,55
4	Sub DAS 4	68,49	2,75	116,83	23,37
5	Sub DAS 5	73,99	5,91	89,30	17,86
6	Sub DAS 6	80,67	11,50	60,87	12,17
7	Sub DAS 7	89,53	16,94	29,72	5,94
8	Sub DAS 8	86,13	17,87	40,90	8,18

Sumber : Hasil Analisis, 2025.

4.10 *Penyiapan Model Simulasi*

Perhitungan simulasi untuk mendapatkan debit banjir rencana menggunakan HEC-HMS 4.8. Proses penyiapan model dimulai dengan memasukkan data DEM pada perangkat lunak kemudian dilakukan penentuan batas DAS dan pembagian masing-masing Sub DAS pada menu GIS. Setelah mendapatkan elemen sub DAS, reach, junction, dan outlet diperlukan penambahan input secara manual berupa reservoir yang berada di DAS Pacal. Hasil penyiapan model simulasi mendapatkan pembagian sub DAS menjadi 8 yaitu Sub DAS 1, Sub DAS 2, Sub DAS 3, Sub DAS 4, Sub DAS 5, Sub DAS 6, Sub DAS 7, dan Sub DAS 8. Sedangkan reach yang didapatkan berjumlah 5 yaitu

Reach 1, Reach 2, Reach 3, Reach 4, dan Reach 5. Terdapat 1 junction dan 2 Reservoir yang ada pada model. Model deliniasi sub DAS inilah yang menjadi acuan dalam pengolahan data sebelumnya. Hasil pemodelan disajikan pada Gambar 5.3 berikut.



Gambar 4.6 Pemodelan basin DAS Pacal

Sumber : Pemodelan HEC-HMS, 2025.

Prosedur perubahan curah hujan menjadi limpasan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *loss method* menggunakan *SCS Curve Number*, *transform method* dengan HSS Nakayasu yang dimasukkan menggunakan *User-Specified Unit Hydrograph*. Untuk *baseflow method* dan *route method* tidak diperhitungkan. Komponen *control specification*, *meteorologic*, *paired datas*, dan *time series datas* diisi sesuai dengan parameter yang digunakan untuk simulasi permodelan banjir.

4.11 Debit Banjir Rencana

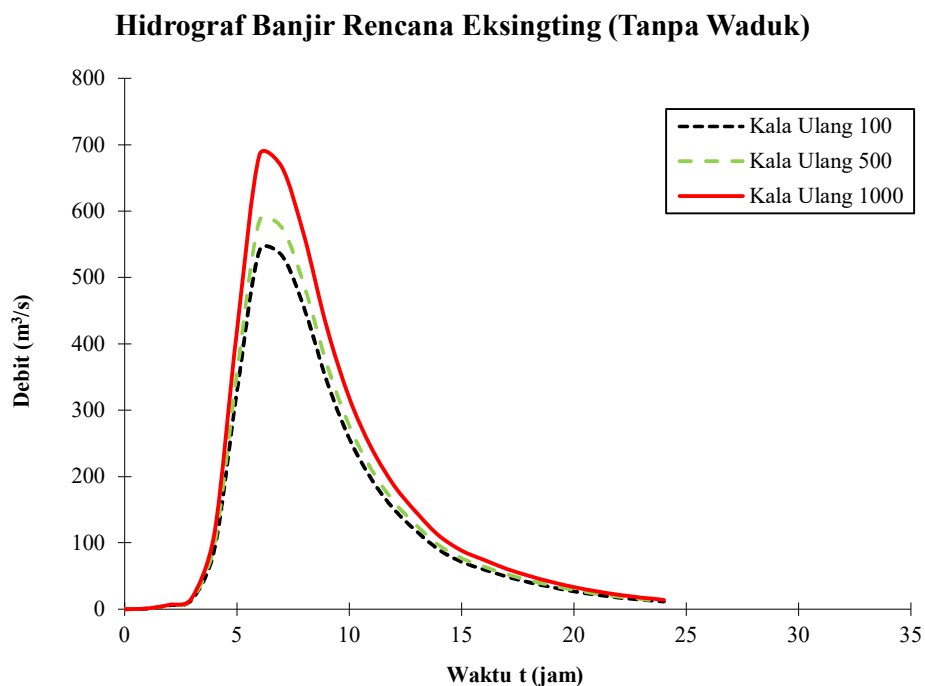
Hasil perhitungan debit banjir rencana DAS Pacal dengan kala ulang yang telah ditentukan menggunakan HEC-HMS. Tabel 4.24 menampilkan debit banjir rencana masing-masing kala ulang hasil simulasi yang ditinjau dari Outlet. Sedangkan Hidrograf banjir rencana untuk outlet DAS Pacal yang merupakan

akumulasi hidrograf banjir rencana dari semua Sub-DAS ditampilkan pada Gambar 4.7.

Tabel 4.24 Debit banjir rencana eksisting (Tanpa Waduk) tiap kala ulang 100, 500, dan 1000 tahun DAS Pacal

Kala ulang (tahun)	Debit (m^3/s)
100	540,4
500	585,4
1000	684,5

Sumber : Hasil Analisis, 2025.

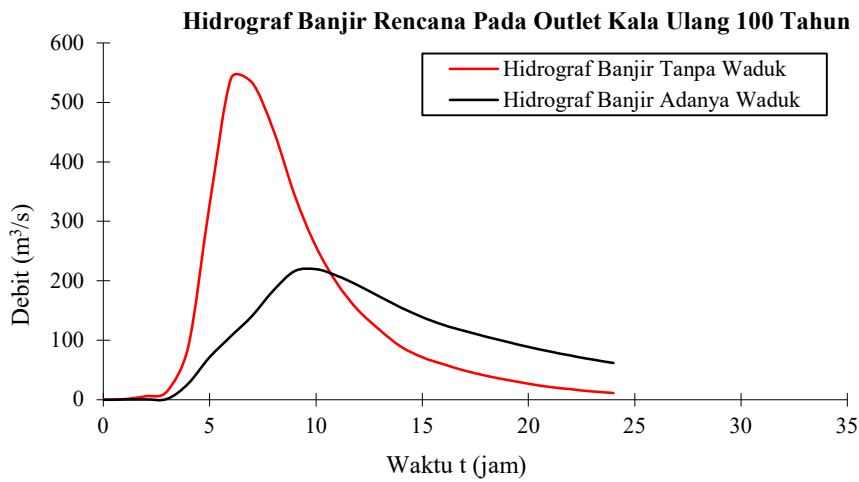


Gambar 4.7 Hidrograf banjir rencana eksisting DAS Pacal

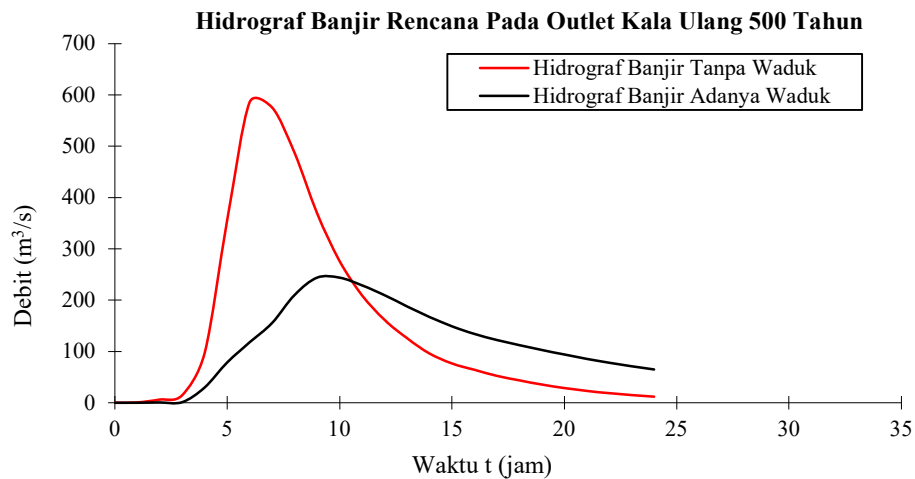
Sumber : Hasil Analisis, 2025.

Hasil simulasi yang ditinjau dari outlet didapatkan hasil debit puncak pada hidrograf banjir kala ulang 100 Tahun sebelum adanya waduk diperoleh sebesar 540.4 m^3/s di jam ke 6 sedangkan setelah adanya waduk debit puncak pada hidrograf banjir dihasilkan sebesar 258.2 m^3/s di jam ke 9. Pada kala ulang 500 Tahun debit puncak pada hidrograf sebelum adanya waduk diperoleh sebesar

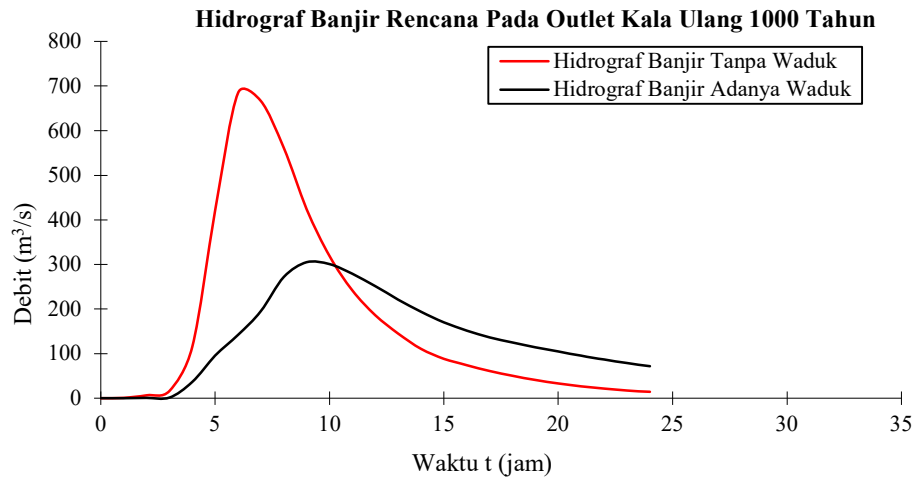
585.4 m³/s di jam ke 6 sedangkan setelah adanya waduk debit puncak menjadi 285.6 m³/s di jam ke 9. Kala ulang 1000 tahun debit puncak didapatkan sebesar 684.5 m³/s di jam ke 6 dan setelah adanya waduk debit puncak berubah menjadi 344 m³/s di jam ke 9. Hasil simulasi hidrograf pada masing-masing kala ulang ditampilkan pada Gambar 4.8 sampai Gambar 4.10.



Gambar 4.8 Hidrograf Banjir Rencana Pada Outlet Kala Ulang 100 Tahun



Gambar 4.9 Hidrograf Banjir Rencana Pada Outlet Kala Ulang 500 Tahun

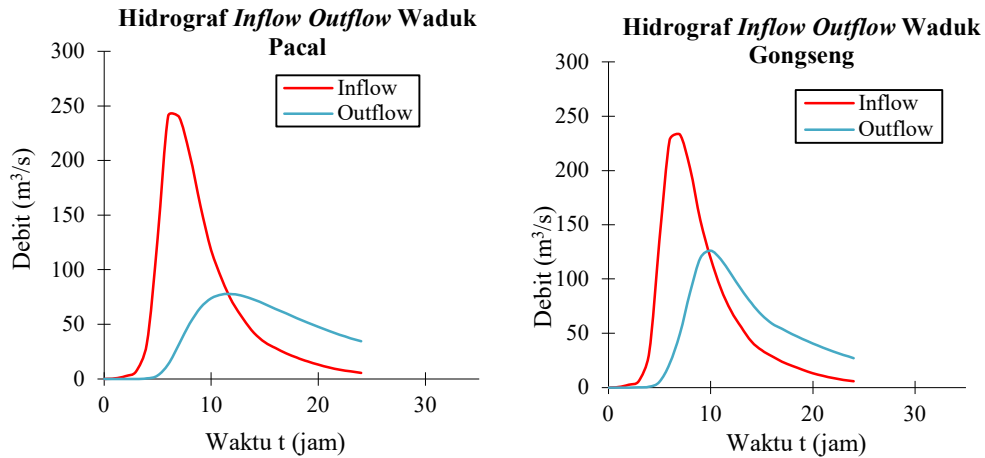


Gambar 4.10 Hidrograf Banjir Rencana Pada Outlet Kala Ulang 1000 Tahun

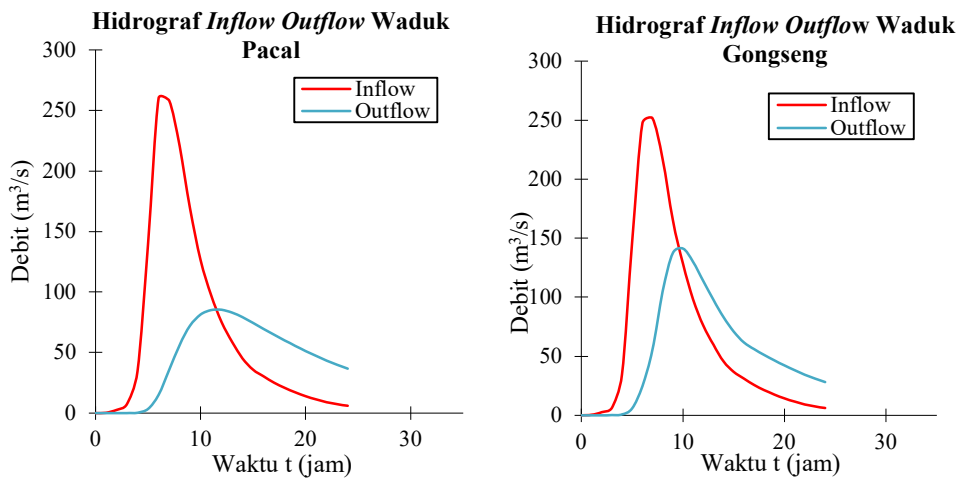
Simulasi yang ditinjau dari outlet Waduk yaitu Waduk Pacal dan Waduk Gongseng mendapatkan hasil untuk debit *inflow* maksimum pada Waduk Pacal di kala ulang 100 Tahun sebesar $240.8 \text{ m}^3/\text{s}$ terjadi pada jam ke 6, dengan jumlah air yang tertampung sebesar $15978.1 \text{ m}^3/\text{s}$, elevasi tinggi air dalam waduk 113.3 m dan debit *outflow* maksimum yang dikeluarkan dari waduk sebesar $77.7 \text{ m}^3/\text{s}$ pada jam ke 12. Debit *inflow* maksimum pada Waduk Gongseng di kala ulang 100 Tahun diperoleh sebesar $233.2 \text{ m}^3/\text{s}$ terjadi pada jam ke 7, dengan jumlah air yang tertampung sebesar $12599.5 \text{ m}^3/\text{s}$, elevasi tinggi air dalam waduk 88.9 m dan debit *outflow* maksimum yang dikeluarkan dari waduk sebesar $126 \text{ m}^3/\text{s}$ pada jam ke 10. Hidrograf *Inflow Outflow* Waduk Pacal dan Waduk Gongseng dengan kala ulang 100 Tahun disajikan pada Gambar 4.11.

Simulasi untuk kala ulang 500 Tahun debit *inflow* maksimum pada Waduk Pacal sebesar $260.1 \text{ m}^3/\text{s}$ yang terjadi pada jam ke 6, dengan jumlah air yang tertampung sebesar $16057.4 \text{ m}^3/\text{s}$, elevasi tinggi air dalam waduk 113.3 m dan debit *outflow* maksimum yang dikeluarkan dari waduk sebesar $85.3 \text{ m}^3/\text{s}$. Sedangkan debit *inflow* maksimum pada Waduk Gongseng sebesar $251.8 \text{ m}^3/\text{s}$ yang terjadi pada jam ke 7, dengan jumlah air yang tertampung sebesar $12731.9 \text{ m}^3/\text{s}$, elevasi tinggi air dalam waduk 89 m dan debit *outflow* maksimum yang dikeluarkan dari waduk sebesar $141.3 \text{ m}^3/\text{s}$ pada jam ke 10. Hidrograf *Inflow*

Outflow Waduk Pacal dan Waduk Gongseng dengan kala ulang 500 Tahun disajikan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.11 Hidrograf *Inflow Outflow* Waduk Kala Ulang 100 Tahun

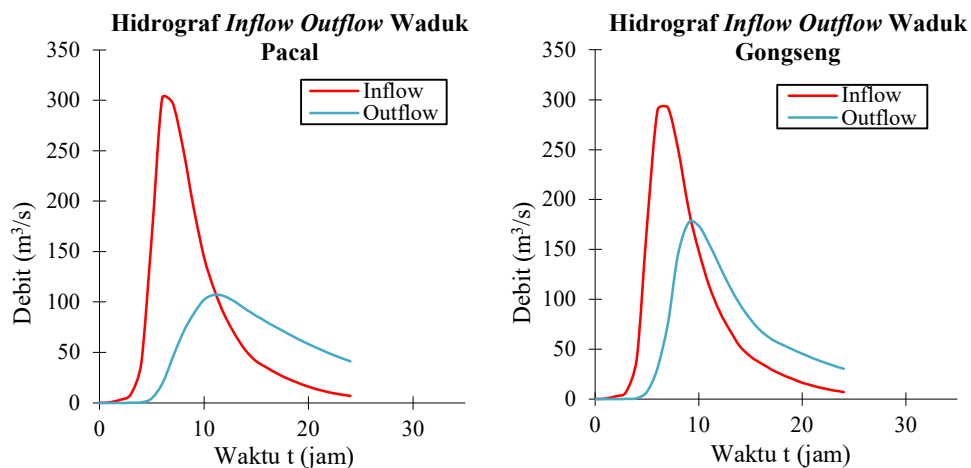


Gambar 4.12 Hidrograf *Inflow Outflow* Waduk Kala Ulang 500 Tahun

Simulasi untuk kala ulang 1000 Tahun debit *inflow* maksimum pada Waduk Pacal sebesar 302.5 m³/s yang terjadi pada jam ke 6, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 16232.7 m³, elevasi tinggi air dalam waduk 113.4 m dan debit *outflow* maksimum yang dikeluarkan dari waduk sebesar 107.2 m³/s. Sedangkan debit *inflow* maksimum pada Waduk Gongseng sebesar 292.3 m³/s

yang terjadi pada jam ke 7, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 13019.3 m³/s, elevasi tinggi air dalam waduk 89.1 m dan debit *outflow* maksimum yang dikeluarkan dari waduk sebesar 176.7 m³/s pada jam ke 9. Hidrograf *Inflow* *Outflow* Waduk Pacal dan Waduk Gongseng dengan kala ulang 500 Tahun disajikan pada Gambar 4.13.

Besar reduksi yang dihasilkan dari adanya waduk di outlet berturut-turut pada kala ulang 100, 500 dan 1000 Tahun yaitu 59.38%, 58.32% dan 55.46% atau sebesar 320.9 m³/s, 341.4 m³/s, dan 379.6 m³/s. Dengan adanya waduk debit yang keluar menjadi tereduksi dan waktu puncak menjadi tertahan, Untuk kala ulang 100 Tahun dengan adanya Waduk Pacal banjir yang tereduksi sebesar 163.1 m³/s dan menahan waktu sebesar 6 jam sedangkan Waduk Gongseng banjir yang tereduksi sebesar 107.2 m³/s dan menahan waktu sebesar 3 jam. Kala ulang 500 Tahun dengan adanya Waduk Pacal banjir yang tereduksi sebesar 174.8 m³/s dan menahan waktu sebesar 6 jam sedangkan Waduk Gongseng banjir yang tereduksi sebesar 110.5 m³/s dan menahan waktu sebesar 3 jam. Kala ulang 1000 Tahun diperoleh hasil dengan adanya Waduk Pacal banjir yang tereduksi sebesar 195.3 m³/s dan menahan waktu sebesar 5 jam sedangkan Waduk Gongseng banjir yang tereduksi sebesar 115.6 m³/s dan menahan waktu sebesar 2 jam.



Gambar 4.13 Hidrograf *Inflow* *Outflow* Waduk Kala Ulang 1000 Tahun

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adanya waduk terbukti dapat mereduksi debit banjir yang ada di DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro. Hal tersebut dibuktikan pada penelitian ini dengan menurunnya bentuk hidrograf banjir pada kala ulang 100, 500 dan 100 Tahun yang telah disimulasikan. Reduksi debit banjir yang dihasilkan oleh Waduk Pacal dan Waduk Gongseng berturut-turut adalah sebesar 320.9 m³/s (59.38%), 341.4 m³/s (58.32%), dan 379.6 m³/s (55.46%) pada masing-masing kala ulang. Waduk Pacal berturut-turut mampu mereduksi sebesar 163.1 m³/s, 174.8 m³/s dan 195.3 m³/s untuk kala ulang 100, 500 dan 100 Tahun. Sedangkan Waduk Gongseng mampu mereduksi sebesar 107.2 m³/s, 110.5 m³/s dan 115.6 m³/s pada kala ulang 100, 500 dan 100 Tahun.

5.2 Saran

Saran yang bisa diberikan untuk penelitian-penelitian selanjutnya berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diatas adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan nilai CN dan impervious dilakukan dengan langsung menggunakan bantuan software yang langsung memfasilitasi overlaying secara otomatis dari data tanah dan data tata guna lahan.
2. Data tanah yang digunakan sebaiknya merupakan data hasil pengukuran primer atau data tanah yang memiliki skala lebih kecil lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiyoso, W. (2018). *Manajemen Bencana: Pengantar dan Isu-Isu Strategis - Wignyo Adiyoso - Google Books* (R. A. Kusumaningtyas (ed.); Pertama). Bumi Aksara.
- Asam, G. B., & Ilir, O. (2020). *Efektifitas Pengendalian Banjir Dengan Embung : 4247(April)*, 57–62.
- Asdak, C. (2020). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press.
- BBC News Indonesia. (2011, August 10). *Indonesia negara rawan bencana*. https://www.bbc.com/indonesia/berita_indonesia/2011/08/110810_indonesia_tsunami
- BNPB. (2016). *Risiko bencana indonesia*.
- BNPB. (2022). Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI). Dilihat 25 Februari 2022. < <http://dibi.bnpb.go.id/>>
- Cirella, G. T., Iyalomhe, F. O., & Adekola, P. O. (2019). Determinants of flooding and strategies for mitigation: Two-year case study of Benin city. *Geosciences (Switzerland)*, 9(3), 1–15. <https://doi.org/10.3390/geosciences9030136>
- Cowles, A. G. (2021). *Effects of Historical Land-use Change on Surface Runoff and Flooding in the Amite River Basin, Louisiana, USA Using Coupled 1D/2D HEC-RAS–HEC-HMS Hydrological Modeling*. Louisiana State University and Agricultural & Mechanical College.
- Da Costa, A. da C., Arafah, W., Taki, H. M., & Sugihartoyo, S. (2021). Kajian Perubahan Penggunaan Lahan di Kawasan Malioboro. *Jurnal Bhuwana, November*, 53–67. <https://doi.org/10.25105/bhuwana.v1i1.9276>
- Erena, S. H., & Worku, H. (2018). Flood risk analysis: causes and landscape based mitigation strategies in Dire Dawa city, Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-018-0110-8>
- Harjono, H., & Widhiastuti, Y. (2019). Analisa Hidrologi dan Hidrolika Pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Pacal Bojonegoro. *Rekayasa Sipil*, 13(1),

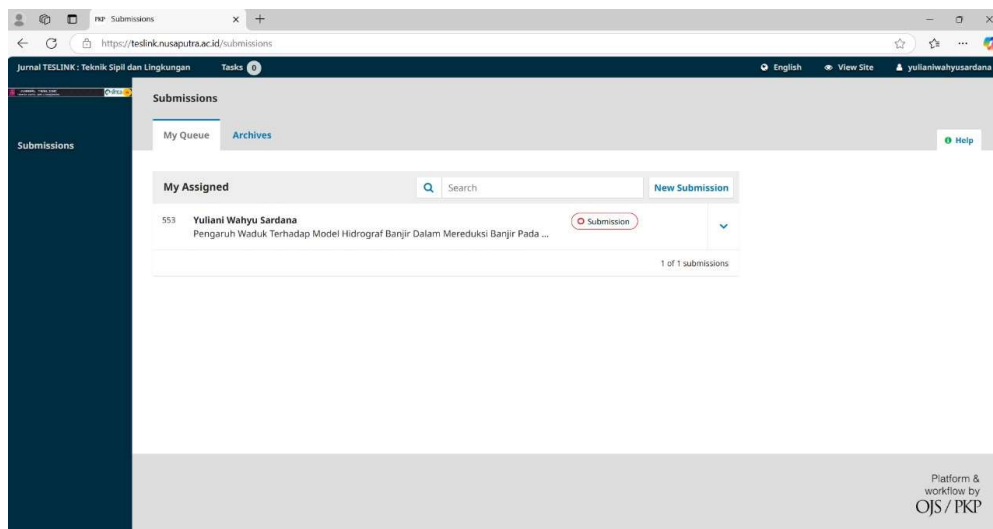
- 16–23. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2019.013.01.3>
- Indarto. (2018). *Hidrologi Metode Analisis dan Tool untuk Interpretasi Hidrograf Aliran ppSungai* (S. B. Hastuti (ed.)). Bumi Aksara.
- Juwono, Pitojo Tri dan Subagiyo, A. (2019). *Integrasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dengan Wilayah Pesisir*. UB Press.
- Kementerian Sekretariat Negara RI. (2007). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana. In *Jdih BPK Ri Database Peraturan*. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/39901/uu-no-24-tahun-2007>.
- Kementerian Sekretariat Negara RI. (2019). Undang-undang (UU) Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air. In *Jdih Bpk Ri Database Peraturan* (Issue 011594, p. 50). <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/122742/uu-no-17-tahun-2019> Using HEC-HMS and HEC-RAS Models : Case Studies from Nepal and Sweden. *Lund University*, 1–69. www.tvrl.lth.se
- Khadka, J., & Bhaukajee, J. (2018). Rainfall-Runoff Simulation and Modelling Using HEC-HMS and HEC-RAS Models : Case Studies from Nepal and Sweden. *Lund University*, 1–69. www.tvrl.lth.se
- KLHK. (2021). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. *Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan*, 15, 7777. <https://www.menlhk.go.id/site/post/101>
- Kodoatie, R. J., & Sugiyanto. (2002). *Banjir Beberapa Penyebab Dan Metode Pengendalian Dalam Presepelesif Lingkungan*.
- Mawardi, I. (2010). Kerusakan daerah aliran sungai dan penurunan daya dukung sumberdaya air di pulau jawa serta upaya penanganannya. *Jurnal Hidrosfir Indonesia*, 5(2), 1–11.
- Mulyanti, H., Harjono, H., & Rendra, M. I. (2020). Penurunan Intensitas Hujan Ekstrem di Bengawan Solo Hilir dan Hubungannya dengan ENSO. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(1), 73–81. <https://doi.org/10.14710/jil.18.1.73-81>
- Nasution, Z., & Ichwana, D. (2013). Land Use Change and Simulation of Hydrological Response using Integrated NRCS Model and Base flow for Ecohydrological Concept at Krueng Peusangan Watershed, Aceh,

- Indonesia. *Journal of Environmental Science and Water Resources, journal citation report*, 2(7), 210-220.
- Pabi, O., Egyir, S., & Attua, E. M. (2021). Flood hazard response to scenarios of rainfall dynamics and land use and land cover change in an urbanized river basin in Accra, Ghana. *City and Environment Interactions*, 12, 100075. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2021.100075>
- Prastica, R. M. S., Widyatmoko, A., & Kurniawan, R. (2021). Mitigasi Banjir Struktural Menggunakan Model Hec-Ras Dan Geo-Studio Pada Wilayah Sungai Toba-Asahan, Sumatera Utara. *Teras Jurnal*, 11(2), 399. <https://doi.org/10.29103/tj.v11i2.519>
- Soliman, A. H. (2022). Development of Rainfall Design Storm Hyetographs for Al-Quassim Region - Kingdom of Saudi Arabia. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 70(1), 362–372. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V70I1P240>
- Subrata, O., & Putuhena, W. M. (2012). Pengelolaan Banjir Berbasis Masyarakat (Studi Kasus : Kabupaten Bojonegoro) Community-Based Flood Management (Case Study : Kabupaten Bojonegoro). *Jurnal Sumber Daya Air*, 8, 125–140.
- Sya`rifudin, A. (2017). *Hidrologi Terapan* (E. Risanto (ed.)). ANDI.
- Tidwell, T., Potyondy Program Manager, J. P., & Geier, T. W. (2011). *Watershed Condition Classification Technical Guide*. July.
- Wang, K., Wang, Z., Liu, K., Cheng, L., Bai, Y., & Jin, G. (2021). Optimizing flood diversion siting and its control strategy of detention basins: A case study of the Yangtze River, China. *Journal of Hydrology*, 597(August 2020), 126201. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126201>
- Wartaku.id. (2020). *Kali Pacal Meluap, Desa Ngadiluhur Terendam*. <https://wartaku.id/peristiwa/kali-pacal-meluap-desa-ngadiluhur-terendam/>
- Worku, T., Khare, D., & Tripathi, S. K. (2017). Modeling runoff–sediment response to land use/land cover changes using integrated GIS and SWAT model in the Beressa watershed. *Environmental Earth Sciences*, 76(16), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6883-3>

LAMPIRAN

Bukti Submit Jurnal

Target luaran yang dihasilkan dalam penelitian ini ialah berupa publikasi pada Jurnal Nasional Terakreditasi Sinta 5 yaitu Jurnal TESLINK :Teknik Sipil dan lingkungan yang diterbitkan oleh Universitas Nusa Putra dan Persatuan Insinyur Indonesia dengan alamat rumah jurnal <https://teslink.nusaputra.ac.id/index>. Berikut tampilan layar OJS yang telah disubmit untuk capaian target luaran.



Gambar 1. Tangkapan layar OJS yang dituju

Pengaruh Waduk Terhadap Model Hidrograf Banjir Dalam Mereduksi Banjir Pada DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro

Yuliani Wahyu Sardana ^{a,1,*}

^a Progam Studi Teknik Sipil, Universitas Bojonegoro

¹ yulianiwahyusardana98@gmail.com

* Corresponding Author

Received 14 Juli 202x; revised 31 Agustus 202x; accepted 14 September 202x

ABSTRAK

Daerah Aliran Sungai (DAS) Pacal mengalami banjir berkala yang disebabkan oleh curah hujan tinggi dan keadaan DAS yang memburuk karena faktor perubahan penggunaan lahan. Pengendalian Banjir dengan membuat tampungan air berupa waduk menjadi cara yang efektif untuk mereduksi banjir yang terjadi. Namun pembangunan waduk dapat mempengaruhi pola hidrograf banjir. Keberadaan Waduk Pacal dan Waduk Gongseng merupakan usaha penanganan banjir pada DAS Pacal. Tujuan Penelitian ini adalah untuk melakukan pemodelan hidrograf banjir terhadap adanya waduk dalam mereduksi banjir pada DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro. Proses pemodelan hidrograf banjir menggunakan perangkat lunak HEC-HMS dengan prosedur perubahan curah hujan menjadi limpasan permukaan yang digunakan adalah *loss method* menggunakan *SCS Curve Number, transform method* dengan HSS Nakayasu yang dimasukkan menggunakan *User-Specified Unit Hydrograph*, sedangkan *baseflow method* dan *route method* tidak diperhitungkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan waduk di DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro mampu mereduksi debit banjir dimana besar reduksi yang dihasilkan sebesar 320.9 m³/s (59.38%), 341.4 m³/s (58.32%), dan 379.6 m³/s (55.46%) untuk kala ulang 100, 500 dan 1000 Tahun. Waduk Pacal mampu mereduksi sebesar 163.1 m³/s, 174.8 m³/s dan 195.3 m³/s sedangkan Waduk Gongseng sebesar 107.2 m³/s, 110.5 m³/s dan 115.6 m³/s berturut-turut pada kala ulang 100, 500 dan 1000 Tahun.

ABSTRACT

The Pacal Watershed (DAS) experiences periodic flooding caused by heavy rainfall and deteriorating watershed conditions due to land use change factors. Flood control by making water reservoirs in the form of reservoirs is an effective way to reduce flooding that occurs. However, the construction of reservoirs can affect the pattern of a flood hydrograph. Pacal Reservoir and Gongseng Reservoir are flood management efforts in the Pacal watershed. The purpose of this study was to conduct flood hydrograph modeling of reservoirs in reducing floods in the Pacal watershed of Bojonegoro Regency. The process of modeling flood hydrographs using HEC-HMS software with the procedure of changing rainfall into runoff used is a loss method using the SCS Curve Number, transform method with HSS Nakayasu entered using User-Specified Unit Hydrograph, while baseflow method and route method are not taken into account. The results showed that the presence of reservoirs in the Pacal Watershed of Bojonegoro Regency was able to reduce flood discharge where the resulting reduction was 320.9 m³/s (59.38%), 341.4 m³/s (58.32%), and 379.6 m³/s (55.46%) for 100, 500 and 1000 years of recurrence.



KATA KUNCI

Waduk
Hidrograf
Banjir
HEC-HMS

KEYWORDS

Reservoir
Flood
Hydrograph
HEC-HMS



This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

1. Pendahuluan

Banjir merupakan salah satu bencana alam terkemuka di seluruh dunia baik dari segi frekuensi kejadian maupun kerusakan terhadap kehidupan manusia, lingkungan, dan aset ekonomi (Erena and Worku, 2018; Pabi et al, 2021). Banjir merupakan penggenangan daerah yang biasanya tidak tertutup air, melalui kenaikan sementara di tingkat sungai, danau, atau laut, dan ketika curah hujan berlebih melebihi infiltrasi alami, penguapan, dan kemungkinan limpasan (Cirella et al, 2019).

Penanganan banjir dengan secara struktural masih menjadi cara yang efektif pada wilayah rural dan sub-urban (Prastica et al, 2021). Waduk atau embung merupakan salah satu alternatif struktural yang berfungsi sebagai tampungan dan resapan air untuk dapat mengendalikan banjir (Ferdian et al, 2020). Analisis tentang hidrograf banjir sangat penting dalam perkiraan banjir, penetapan debit banjir rencana bagi bangunan air dan memprediksi potensi banjir dalam kaitannya dengan mitigasi banjir (Izmiaini 2022). Dalam studi yang dilakukan Sukerte menyatakan bahwa pembangunan sebuah waduk dapat merubah pola dari hidrograf banjir (Sukerte, 2022). Studi kasus pada Sungai Huai di Tiongkok yang dilakukan oleh Xinyuwan et al menemukan bahwa setiap reservoir memiliki dampak hidrograf banjir yang berbeda dimana waduk Meishan, Xianghongdian, Suyahu, Nanwan, Nianyushan dan Foziling memberikan pengaruh yang kuat pada hidrograf banjir sehingga merupakan cara yang penting untuk pengendalian banjir di Sungai Huai (Wan et al. 2018).

Kejadian banjir menjadi masalah secara berkala pada wilayah DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro (Mulyanti et al., 2020). Kejadian banjir di DAS Pacal diakibatkan oleh berbagai penyebab, seperti terjadinya curah hujan yang tinggi dan lama, serta ditambah dengan kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS) yang tidak mampu menahan air hujan sehingga menimbulkan aliran permukaan yang besar (Subrata & Putuhena, 2012). Selain itu, pengaruh DAS Pacal yang dalam perkembangannya telah terjadi kerusakan lingkungan akibat adanya perubahan penggunaan lahan menyebabkan debit sendiri tinggi (Harjono & Widhiastuti, 2019). Usaha mereduksi banjir pada wilayah DAS Pacal telah dilakukan dengan dibangunnya Waduk Pacal pada Tahun 1933 dan Waduk Gongseng yang baru selesai pada Tahun 2021, namun pengaruh adanya waduk terhadap reduksi banjir dan penurunan hidrograf banjir belum diketahui secara jelas sehingga dari latar belakang tersebut menjadi dasar penelitian ini untuk melakukan pemodelan hidrograf banjir akibat adanya waduk dalam mereduksi banjir pada DAS Pacal.

2. Metode Penelitian

2.1 Gambaran Lokasi Penelitian

Lokasi yang digunakan dalam penelitian ini ialah DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro dengan luas DAS sebesar 303,24 km² dengan topografi yang relatif datar dimana sebagian besar daerahnya berada di dataran rendah. Penggunaan lahan di DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro terdiri atas sawah (agriculture), hutan (scrub forest), perkebunan (plantation), permukiman (village), sungai (river), waduk/embung (reservoir), Kawasan industri (Industrial), semak belukar (land with scrub) dan tanah kosong (land without scrub). Berdasarkan FAO jenis tanah yang berada di DAS Pacal terdiri dari 3 jenis tanah yaitu dystic fluvisols, lithosols, pellic vertisols sedangkan berdasarkan klasifikasi HSGS dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis tanah yaitu B dan D.

2.2 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari beberapa dinas, instansi pemerintah dan lembaga terkait. Data sekunder tersebut antara lain, Peta DEM yang berasal dari website DEMNAS, data curah hujan tahun 2002-2021 pada 7 stasiun hujan yaitu Stasiun Balen, Stasiun Kapas, Stasiun Jatiblimbing, Stasiun Klepek, Stasiun Tretes, Stasiun Sukun dan Stasiun Sugihan yang didapatkan dari UPT PSDA Kabupaten Bojonegoro, data penggunaan lahan diperoleh dari PU Bina Marga Kabupaten Bojonegoro, data jenis tanah diambil dari website FAO Unesco tahun 2007, data waduk eksisting dan debit observasi sungai berasal dari BBWS Bengawan Solo.

2.3 Pengolahan dan Analisis Data

- Analisis Curah Hujan Rencana

Analisis curah hujan rencana diawali dengan melakukan uji konsistensi dan ketidakadaan tren pada data hujan dengan menggunakan metode RAPS dan Metode Spearman. Data hujan yang konsisten dan bersifat independent akan digunakan untuk perhitungan hujan kawasan dengan Metode Polygon Thiessen menggunakan bantuan perangkat lunak QGIS. Hujan harian maksimum kawasan yang telah dihasilkan selanjutnya akan dilakukan analisis distribusi yang cocok sesuai dengan uji kecocokan yaitu uji Chi-Square dan uji Smirnov-Kolmogorov sehingga didapatkan distribusi yang terbaik untuk penentuan curah hujan rencana kala ulang.

- Distribusi Hujan Jam-Jaman

Metode distribusi hujan yang digunakan untuk mengalihragamkan data hujan harian menjadi hujan jam – jaman ialah, ABM (alternating block method). Penelitian yang dilakukan Soliman menyatakan bahwa hietograf metode ABM direkomendasikan untuk digunakan untuk penilaian bahaya banjir dan aplikasi sistem drainase air hujan (Soliman 2022). Metode Modified Mononobe digunakan untuk pengalihragaman intensitas hujan harian menjadi intensitas hujan jam-jaman. Pendekatan durasi hujan dilakukan menggunakan waktu konsentrasi. Rumus waktu konsentrasi (t_c) yang digunakan pada penelitian ini adalah rumus Australian Rainfall Runoff (ARR), rumus ARR sangat beergantung dengan luas DAS. Rumus Modified Mononobe dan rumus ARR disajikan pada persamaan 1 dan persamaan 2.

$$i_T^t = \frac{RT24}{T_c} \left(\frac{T_c}{t} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

dengan,

i_T^t : Intensitas hujan pada durasi ke t dengan kala ulang T tahun (mm/hujan),

RT24 : Hujan harian maksimum pada kala ulang T tahun yang akan dihitung (mm)

T_c : Waktu konsentrasi (jam)

t : Durasi hujan (jam)

$$T_c = 0,76 \times A^{0,36} \quad (2)$$

dengan,

T_c : Waktu konsentrasi (jam)

A : Luas DAS (km²)

- Hidrograf Satuan Sintetik (HSS)

Sungai-sungai yang belum pernah terukur ataupun suatu DAS yang data pengukurannya (hujan dan debit) tidak mencukupi maka dalam menentukan debit banjir rencana adalah dengan memakai Hidrograf Satuan Sistetik (HSS) (Indarto 2018). Beberapa metode yang dapat digunakan seperti Hidrograf Satuan Gama I, Hidrograf Satuan Snyder, Hidrograf Satuan Nakayasu, dan Hidrograf Satuan ITB 1. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu. Rumus debit puncak untuk HSS Nakayasu seperti pada persamaan 3.

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \left(\frac{A \cdot R_e}{0,3T_p + T_{0,3}} \right) \quad (3)$$

dengan,

Q_p : Debit puncak pada kondisi banjir,

R_e : Curah hujan effective kurun (1 mm),

A : Luasan DAS yang akan ditinjau (km²),

$T_{0,3}$: Waktu dari puncak banjir – 0,3 kali dari debit puncak (jam),

T_p : Waktu dari permukaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)

- Simulasi Model Hidrograf Banjir HEC-HMS

Simulasi hidrograf banjir pada perangkat lunak HEC-HMS diawali dengan penentuan curve number dan impervious area untuk input pemodelan kemudian dilanjutkan dengan penyiapan model yaitu dengan membentuk DAS dengan bantuan peta DEM dan menambahkan elemen-elemen yang terdapat pada DAS yaitu Reach, Junction, Reservoir dan Sink (outlet). Prosedur perubahan curah hujan menjadi limpasan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain loss method menggunakan SCS Curve Number, transform method dengan HSS Nakayasu yang dimasukkan menggunakan User-Specified Unit Hydrograph. Untuk baseflow method dan route method tidak diperhitungkan. Komponen control specification, meteorologic, paired datas, dan time series datas diisi sesuai dengan parameter yang digunakan untuk simulasi permodelan hidrograf banjir.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Curah Hujan Rencana

Perhitungan hujan kawasan sebelumnya dilakukan dengan Metode Polygon Thiessen menggunakan 7 stasiun hujan yang berpengaruh terhadap lokasi penelitian. Analisis curah hujan rencana menggunakan metode Log Pearson Type III dikarenakan menurut uji Chi-Square diperoleh hasil distribusi terbaik dengan nilai chi-kritik sebesar 9,488 lebih besar dari chi-square sebesar 3,400. Hasil yang sama juga dibuktikan menurut uji Smirnov-Kolmogorov diperoleh hasil distribusi terbaik menggunakan distribusi Log-Pearson III dengan nilai Delta Kritik sebesar 0,34 dan nilai Delta Maksimum sebesar 0,1003. Periode kala ulang yang digunakan yaitu kala ulang 100, 500 dan 1000 tahun. Hasil analisis curah hujan rencana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Curah Hujan Rencana Kala Ulang DAS Pacal

Periode (Tahun)	R24 (mm)
100	98.924
500	103.474
1000	112.474

3.2 Distribusi Hujan Jam-Jaman

Proses masukan data hujan pada perangkat lunak HEC-HMS diperlukan hujan jam-jaman, sehingga hujan rata-rata DAS harian maksimum dengan kala ulang tertentu (hujan harian rencana) perlu didistribusikan menjadi hujan jam-jaman. Durasi hujan rancangan dihitung menggunakan metode Australian Rainfall Runoff (ARR) yang memberikan hasil sebesar 7 jam. Hasil perhitungan distribusi hujan rancangan menggunakan metode ABM ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Distribusi Hujan Rencana Jam-Jaman DAS Pacal

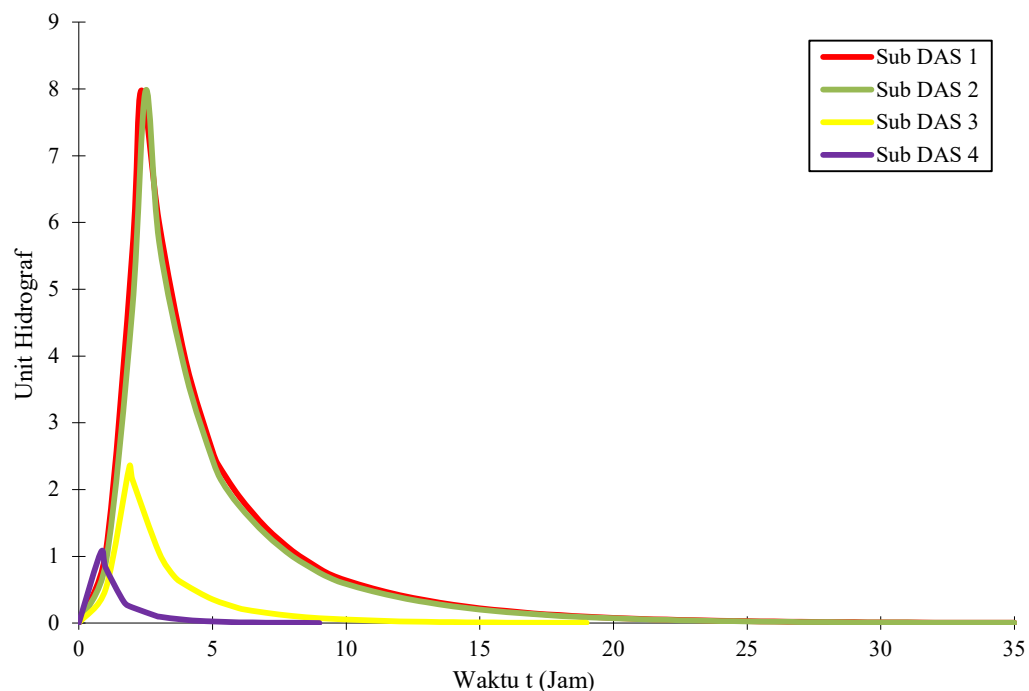
Jam	Distribusi hujan jam-jaman (mm)		
	P100	P500	P1000
1	5.04	5.26	5.73
2	6.44	6.72	7.33
3	9.58	10.00	10.90
4	52.56	54.86	59.76
5	13.66	14.26	15.53
6	7.63	7.96	8.67
7	5.63	5.88	6.40

3.3 Hidrograf Satuan Sintetik (HSS)

Pengalih-ragaman (transform) hujan menjadi aliran pada studi ini menggunakan hidrograf satuan sintetik (HSS). Pada penelitian ini HSS yang digunakan adalah HSS Nakayasu. Penggunaan HSS ini berdasarkan atas tidak tersedianya data tinggi muka air sungai dari peralatan AWLR pada titik tinjau. HSS tersebut akan diinputkan pada permodelan hidrologi HEC-HMS sesuai dengan area yang telah dihasilkan. Pada Tabel 3 berisikan parameter hidrograf satuan sintetik Nakayasu dan Gambar 1. memperlihatkan hidrograf satuan sintetik Nakayasu ke semua Sub DAS.

Tabel 3. Parameter Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu DAS Pacal

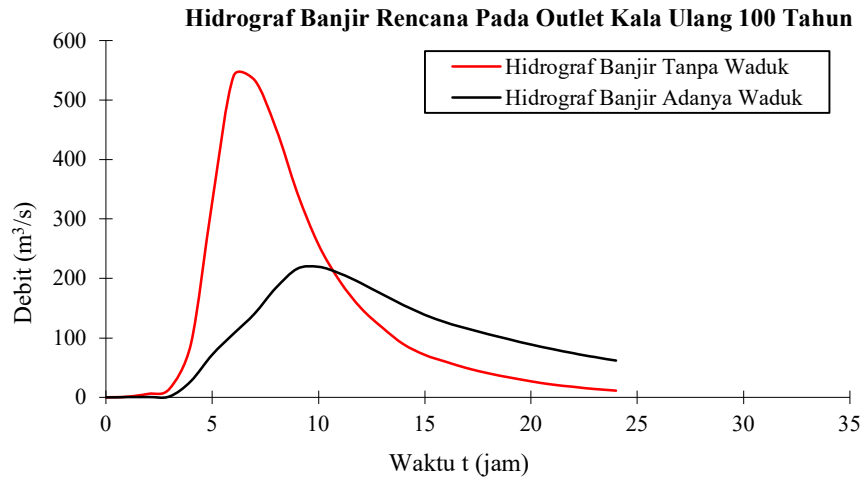
Parameter	Satuan	DAS Pacal			
		Sub DAS 1	Sub DAS 2	Sub DAS 3	Sub DAS 4
Luas DAS (A)	km ²	74.289	66.644	13.778	3.069
Panjang Sungai (L)	km	18.166	20.000	11.772	3.605
Debit Puncak (Q _p)	m ² /s	5.819	5.159	1.706	0.772
Waktu Puncak (T _p)	jam	2.326	2.496	1.888	0.824
Waktu Resesi 0,3 (T _{0,3})	jam	2.849	2.840	1.677	0.857
Waktu Konsentrasi (t _g)	jam	1.454	1.560	1.180	0.515
Satuan Waktu (T _r)	jam	1.090	1.170	0.885	0.386



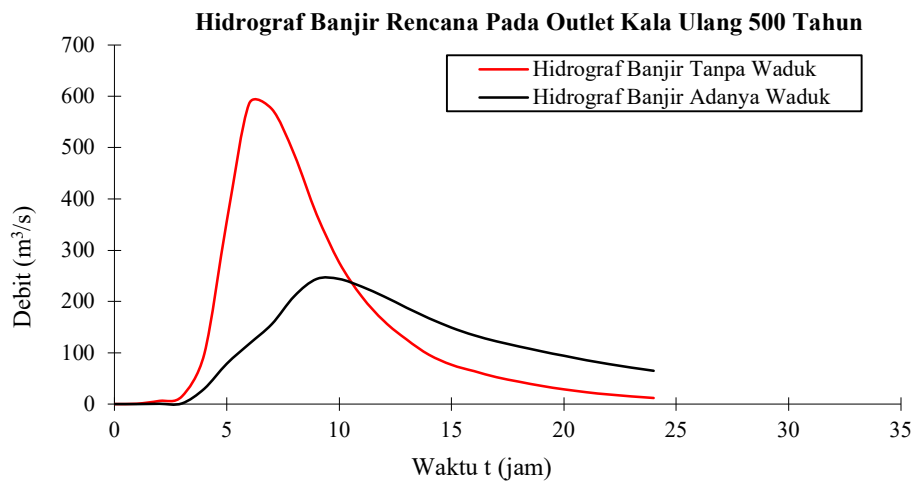
Gambar 1. HSS Nakayasu Sub-DAS Pacal

3.4 Simulasi Model Hidrograf Banjir HEC-HMS

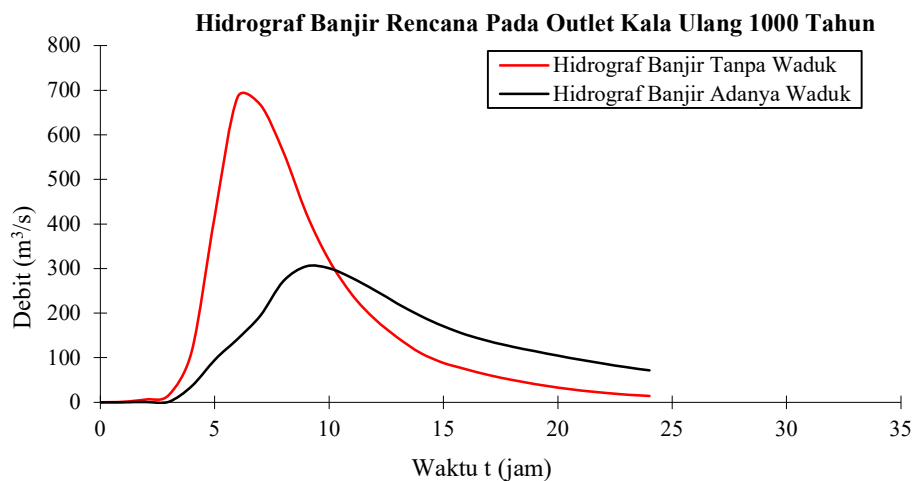
Hasil simulasi yang ditinjau dari outlet didapatkan hasil debit puncak pada hidrograf banjir kala ulang 100 Tahun sebelum adanya waduk diperoleh sebesar 540.4 m³/s di jam ke 6 sedangkan setelah adanya waduk debit puncak pada hidrograf banjir dihasilkan sebesar 258.2 m³/s di jam ke 9. Pada kala ulang 500 Tahun debit puncak pada hidrograf sebelum adanya waduk diperoleh sebesar 585.4 m³/s di jam ke 6 sedangkan setelah adanya waduk debit puncak menjadi 285.6 m³/s di jam ke 9. Kala ulang 1000 tahun debit puncak didapatkan sebesar 684.5 m³/s di jam ke 6 dan setelah adanya waduk debit puncak berubah menjadi 344 m³/s di jam ke 9. Hasil simulasi hidrograf pada masing-masing kala ulang ditampilkan pada Gambar 3 sampai 5.



Gambar 2. Hidrograf Banjir Rencana Pada Outlet Kala Ulang 100 Tahun



Gambar 3. Hidrograf Banjir Rencana Pada Outlet Kala Ulang 500 Tahun

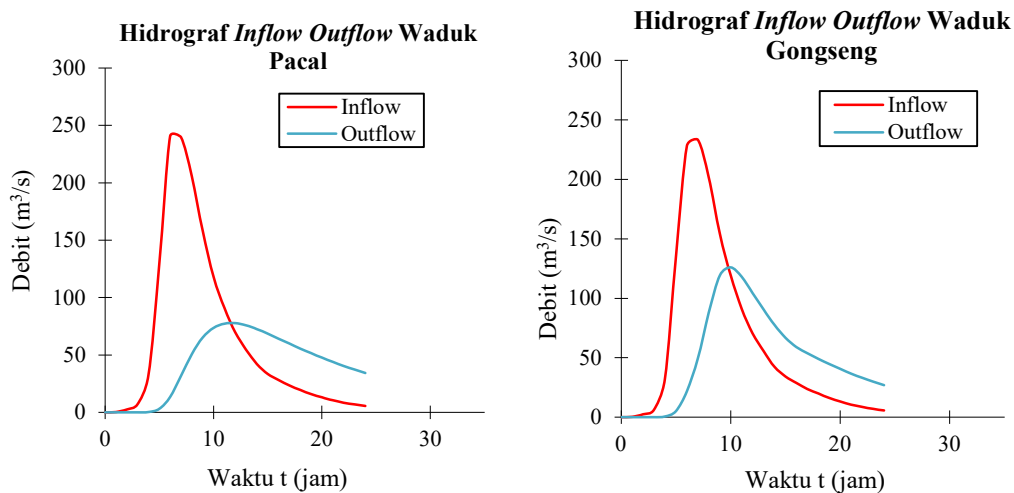


Gambar 4. Hidrograf Banjir Rencana Pada Outlet Kala Ulang 1000 Tahun

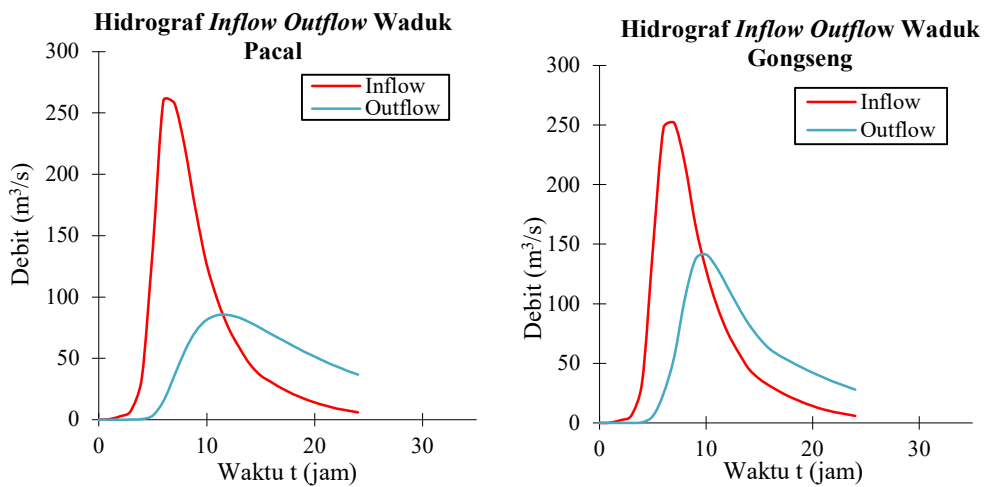
Simulasi yang ditinjau dari outlet Waduk yaitu Waduk Pacal dan Waduk Gongseng mendapatkan hasil untuk debit inflow maksimum pada Waduk Pacal di kala ulang 100 Tahun sebesar 240.8 m^3/s terjadi pada jam ke 6, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 15978.1 m^3/s , elevasi tinggi air dalam waduk 113.3 m dan debit outflow maksimum yang dikeluarkan dari waduk sebesar 77.7 m^3/s pada jam ke 12.

Debit inflow maksimum pada Waduk Gongseng di kala ulang 100 Tahun diperoleh sebesar 233.2 m³/s terjadi pada jam ke 7, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 12599.5 m³/s, elevasi tinggi air dalam waduk 88.9 m dan debit outflow maksimum yang dikeluarkan dari waduk sebesar 126 m³/s pada jam ke 10. Hidrograf Inflow Outflow Waduk Pacal dan Waduk Gongseng dengan kala ulang 100 Tahun disajikan pada Gambar 5.

Simulasi untuk kala ulang 500 Tahun debit inflow maksimum pada Waduk Pacal sebesar 260.1 m³/s yang terjadi pada jam ke 6, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 16057.4 m³/s, elevasi tinggi air dalam waduk 113.3 m dan debit outflow maksimum yang dikeluarkan dari waduk sebesar 85.3 m³/s. Sedangkan debit inflow maksimum pada Waduk Gongseng sebesar 251.8 m³/s yang terjadi pada jam ke 7, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 12731.9 m³/s, elevasi tinggi air dalam waduk 89 m dan debit outflow maksimum yang dikeluarkan dari waduk sebesar 141.3 m³/s pada jam ke 10. Hidrograf Inflow Outflow Waduk Pacal dan Waduk Gongseng dengan kala ulang 500 Tahun disajikan pada Gambar 6.



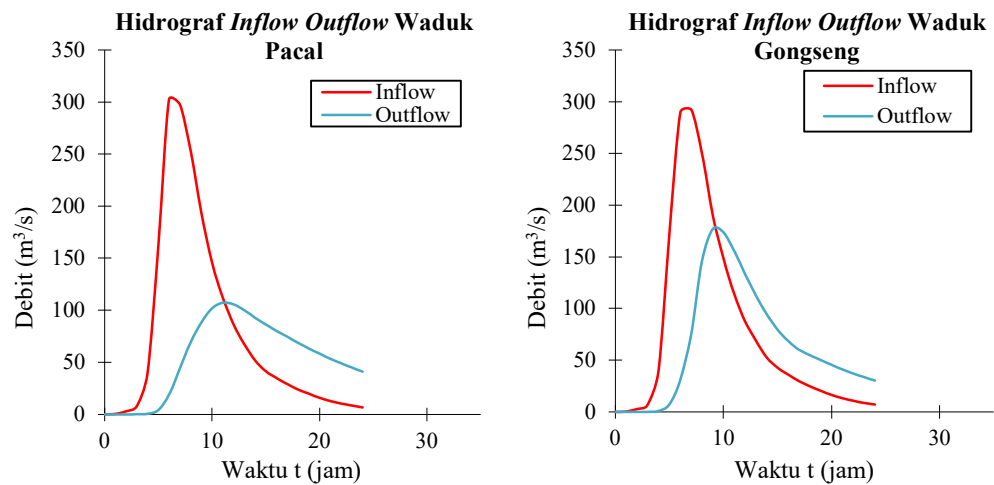
Gambar 5. Hidrograf Inflow Outflow Waduk Kala Ulang 100 Tahun



Gambar 6. Hidrograf Inflow Outflow Waduk Kala Ulang 500 Tahun

Simulasi untuk kala ulang 1000 Tahun debit inflow maksimum pada Waduk Pacal sebesar 302.5 m³/s yang terjadi pada jam ke 6, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 16232.7 m³/s, elevasi tinggi air dalam waduk 113.4 m dan debit outflow maksimum yang dikeluarkan dari waduk sebesar 107.2 m³/s. Sedangkan debit inflow maksimum pada Waduk Gongseng sebesar 292.3 m³/s yang terjadi pada jam ke 7, dengan jumlah air yang tertampung sebesar 13019.3 m³/s, elevasi tinggi air dalam waduk 89.1 m dan debit outflow maksimum yang dikeluarkan dari waduk sebesar 176.7 m³/s pada jam ke 9. Hidrograf Inflow Outflow Waduk Pacal dan Waduk Gongseng dengan kala ulang 500 Tahun disajikan pada Gambar 7.

Besar reduksi yang dihasilkan dari adanya waduk di outlet berturut-turut pada kala ulang 100, 500 dan 1000 Tahun yaitu 59.38%, 58.32% dan 55.46% atau sebesar 320.9 m³/s, 341.4 m³/s, dan 379.6 m³/s. Dengan adanya waduk debit yang keluar menjadi tereduksi dan waktu puncak menjadi tertahan, Untuk kala ulang 100 Tahun dengan adanya Waduk Pacal banjir yang tereduksi sebesar 163.1 m³/s dan menahan waktu sebesar 6 jam sedangkan Waduk Gongseng banjir yang tereduksi sebesar 107.2 m³/s dan menahan waktu sebesar 3 jam. Kala ulang 500 Tahun dengan adanya Waduk Pacal banjir yang tereduksi sebesar 174.8 m³/s dan menahan waktu sebesar 6 jam sedangkan Waduk Gongseng banjir yang tereduksi sebesar 110.5 m³/s dan menahan waktu sebesar 3 jam. Kala ulang 1000 Tahun diperoleh hasil dengan adanya Waduk Pacal banjir yang tereduksi sebesar 195.3 m³/s dan menahan waktu sebesar 5 jam sedangkan Waduk Gongseng banjir yang tereduksi sebesar 115.6 m³/s dan menahan waktu sebesar 2 jam.



Gambar 7. Hidrograf Inflow Outflow Waduk Kala Ulang 1000 Tahun

4. Kesimpulan

Adanya waduk terbukti dapat mereduksi debit banjir yang ada di DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro. Hal tersebut dibuktikan pada penelitian ini dengan menurunnya bentuk hidrograf banjir pada kala ulang 100, 500 dan 100 Tahun yang telah disimulasikan. Reduksi debit banjir yang dihasilkan oleh Waduk Pacal dan Waduk Gongseng berturut-turut adalah sebesar 320.9 m³/s (59.38%), 341.4 m³/s (58.32%), dan 379.6 m³/s (55.46%) pada masing-masing kala ulang. Waduk Pacal berturut-turut mampu mereduksi sebesar 163.1 m³/s, 174.8 m³/s dan 195.3 m³/s untuk kala ulang 100, 500 dan 100 Tahun. Sedangkan Waduk Gongseng mampu mereduksi sebesar 107.2 m³/s, 110.5 m³/s dan 115.6 m³/s pada kala ulang 100, 500 dan 100 Tahun.

References

- [1] Cirella, G. T., Iyalomhe, F. O., & Adekola, P. O. (2019). Determinants of flooding and strategies for mitigation: Two-year case study of Benin city. *Geosciences (Switzerland)*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/geosciences9030136>.
- [2] Erena, S. H., & Worku, H. (2018). Flood risk analysis: causes and landscape based mitigation strategies in Dire Dawa city, Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-018-0110-8>Indarto. 2018. Hidrologi Metode Analisis Dan Tool Untuk Interpretasi Hidrograf Aliran Sungai. ed. Sri Budi Hastuti. Jakarta: Bumi Aksara.
- [3] Ferdian, D., Saggaff, A., & Sarino. (2020). Efektifitas Pengendalian Banjir dengan Embung: Studi Kasus Taman Firdaus Universitas Sriwijaya. *Cantilever: Jurnal Penelitian Dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 9(1), 57–62. <https://doi.org/10.35139/cantilever.v9i1.39>
- [4] Harjono, H., & Widhiastuti, Y. (2019). Analisa Hidrologi dan Hidrolika Pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Pacal Bojonegoro. *Rekayasa Sipil*, 13(1), 16–23. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2019.013.01.3>
- [5] Mulyanti, H., Harjono, H., & Rendra, M. I. (2020). Penurunan Intensitas Hujan Ekstrem di Bengawan Solo Hilir dan Hubungannya dengan ENSO. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(1), 73–81. <https://doi.org/10.14710/jil.18.1.73-81>
- [6] Izmiaini, N. (2022). Pengaruh Pola Distribusi Hujan Terhadap Penyimpangan Debit Puncak Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Di DAS Sidutan Kabupaten Lombok Utara.
- [7] Pabi, O., Egyir, S., & Attua, E. M. (2021). Flood hazard response to scenarios of rainfall dynamics and land use and land cover change in an urbanized river basin in Accra, Ghana. *City and Environment Interactions*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2021.100075>
- [8] Prastica, R. M. S., Widyatmoko, A., & Kurniawan, R. (2021). Mitigasi Banjir Struktural Menggunakan Model Hec-Ras Dan Geo-Studio Pada Wilayah Sungai Toba-Asahan, Sumatera Utara. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 399. <https://doi.org/10.29103/tj.v11i2.519>
- [9] Soliman, A. H. (2022). Development of Rainfall Design Storm Hyetographs for Al-Quassim Region - Kingdom of Saudi Arabia. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 70(1), 362–372. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V70I1P240>
- [10] Subrata, O., & Putuhena, W. M. (2012). Pengelolaan banjir berbasis masyarakat (studi kasus : kabupaten Bojonegoro). *Jurnal Sumber Daya Air*, 8(2), 125–140.
- [11] Sukerte, N. (2022). Rekayasa Pengendalian Banjir Dan Konservasi Sumber Daya Air Pada Daerah Hulu. *Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung*, 3(2), 78–84. <https://doi.org/10.23960/jpi.v3n2.84>
- [12] Wan, X., Hua, L., Yang, S., Gupta, H. V., & Zhong, P. (2018). Evaluating the Impacts of a Large-Scale Multi-Reservoir System on Flooding: Case of the Huai River in China. *Water Resources Management*, 32(3), 1013–1033. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1852-x>