

Analisis Debit Banjir Menggunakan Pemodelan HEC-HMS pada Daerah Aliran Sungai Bendungan Bagong Kabupaten Trenggalek

Intan Sminesa^{1*}, Iwan Wahyudijanto², Novie Handajani³

¹⁻³Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

Corresponding Author's e-mail: 21035010103@student.upnjatim.ac.id



e-ISSN: 2964-2981

ARMADA : Jurnal Penelitian Multidisiplin

<https://ejournal.45mataram.ac.id/index.php/armada>

Vol. 04, No. 09 September, 2026

Page: 5848-5861

DOI:

<https://doi.org/10.55681/armada.v4i9.3966>

Article History:

Received: Juli 12, 2026

Revised: Agustus 01, 2026

Accepted: September 19, 2026

Abstract : This study aims to analyze the characteristics of peak flood discharge in the Bendungan Bagong Watershed using HEC-HMS modeling based on rainfall data from 2010–2024. The determination of areal rainfall was conducted using the Thiessen Polygon method, followed by frequency analysis to obtain design rainfall for various return periods. The design rainfall was subsequently distributed into hourly rainfall using the Mononobe method and converted into effective rainfall using the Alternating Block Method (ABM) as input for the HEC-HMS model. The simulation results indicate that peak flood discharge increases as the rainfall return period increases. The peak discharges obtained for return periods of 2, 5, 10, 25, 50, and 100 years were 22.9 m³/s, 29.0 m³/s, 33.0 m³/s, 37.0 m³/s, 41.5 m³/s, and 45.0 m³/s, respectively. All peak discharges occurred at 13:30 based on the simulated hydrographs. The increase in peak discharge indicates that longer rainfall return periods result in a higher potential flood discharge in the Bendungan Bagong Watershed. The findings of this study can serve as a basis for evaluating flood control capacity and planning water resource management in the Bendungan Bagong Watershed.

Keywords : Bendungan Bagong Watershed, HEC-HMS, design rainfall, peak flood discharge, return period, Alternating Block Method.

Abstrak : Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik debit puncak banjir pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Bendungan Bagong menggunakan pemodelan HEC-HMS berdasarkan data curah hujan tahun 2010–2024. Penentuan curah hujan wilayah dilakukan menggunakan metode Poligon Thiessen, kemudian analisis frekuensi digunakan untuk memperoleh curah hujan rencana pada berbagai periode ulang. Curah hujan rencana selanjutnya didistribusikan menjadi hujan jam-jaman menggunakan metode Mononobe dan dikonversi menjadi hujan efektif dengan metode Alternating Block Method (ABM) sebagai input pemodelan HEC-HMS. Hasil simulasi menunjukkan bahwa debit puncak banjir meningkat seiring bertambahnya periode ulang hujan. Debit puncak yang dihasilkan untuk periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun masing-masing sebesar 22,9 m³/detik, 29,0 m³/detik, 33,0 m³/detik, 37,0 m³/detik, 41,5 m³/detik, dan 45,0 m³/detik. Seluruh debit puncak tersebut terjadi pada pukul 13:30 berdasarkan hasil hidrograf simulasi. Peningkatan debit puncak menunjukkan bahwa semakin besar periode ulang hujan, semakin tinggi potensi debit banjir yang terjadi pada DAS Bendungan Bagong. Hasil

penelitian ini dapat menjadi dasar dalam evaluasi kapasitas pengendalian banjir dan perencanaan pengelolaan sumber daya air di DAS Bendungan Bagong.

Kata Kunci: DAS Bendungan Bagong, HEC-HMS, Curah Hujan Rencana, Debit Puncak Banjir, Periode Ulang, *Alternating Block Method*.

PENDAHULUAN

Bendungan merupakan salah satu infrastruktur sumber daya air yang memiliki peran strategis dalam mendukung keberlanjutan pengelolaan air, termasuk penyediaan air irigasi, pengendalian banjir, dan pemenuhan kebutuhan air masyarakat. Keberadaan bendungan sangat dipengaruhi oleh kondisi hidrologi wilayah tangkapan air (*catchment area*), terutama karakteristik curah hujan dan pola aliran sungai yang menentukan keseimbangan antara debit masuk (*inflow*) dan kapasitas tampungan. Perubahan pola curah hujan akibat variabilitas iklim menjadi salah satu tantangan utama dalam pengelolaan bendungan karena dapat menyebabkan ketidakseimbangan ketersediaan air, peningkatan risiko banjir saat curah hujan ekstrem, serta ancaman kekeringan pada periode curah hujan rendah (Soemarto, 1987).

Bendungan Bagong merupakan salah satu infrastruktur sumber daya air yang memiliki fungsi penting dalam mendukung sistem hidrologi di wilayah sekitarnya. Dengan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) sekitar 39,95 km², bendungan ini berperan dalam pengendalian aliran air, penyediaan kebutuhan irigasi, serta mendukung kebutuhan air masyarakat (Triadmojo, 2013). Namun, dinamika curah hujan yang terjadi selama periode 2010–2023 memberikan tantangan dalam menjaga kinerja operasional bendungan secara optimal. Variasi intensitas dan distribusi curah hujan dapat memengaruhi karakteristik debit masuk ke bendungan sehingga diperlukan analisis hidrologi yang mampu menggambarkan respon DAS terhadap perubahan kondisi hujan.

Pemodelan hidrologi menjadi salah satu pendekatan penting dalam memahami hubungan antara curah hujan dan respon aliran permukaan pada suatu DAS. Model hidrologi memungkinkan analisis proses hidrologi yang kompleks, seperti infiltrasi, limpasan permukaan, evapotranspirasi, dan transformasi curah hujan menjadi debit aliran. Salah satu model yang banyak digunakan dalam analisis hidrologi DAS adalah *Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS). Model ini mampu mensimulasikan proses hidrologi berdasarkan karakteristik wilayah DAS dan menghasilkan estimasi debit aliran yang dapat digunakan untuk mendukung pengelolaan sumber daya air.

HEC-HMS memiliki keunggulan karena mampu mengintegrasikan berbagai jenis data, seperti data curah hujan historis, data spasial, karakteristik tanah, serta informasi penggunaan lahan. Kemampuan tersebut memungkinkan simulasi hidrologi dilakukan secara lebih komprehensif dibandingkan pendekatan konvensional yang hanya menggunakan data hidrologi terbatas (Balai Teknik Bendungan, 2022). Selain itu, HEC-HMS menyediakan fitur kalibrasi model, simulasi aliran menerus, analisis berbasis distribusi spasial, serta integrasi dengan sistem informasi geografis (GIS) yang mendukung analisis karakteristik DAS secara lebih detail.

Meskipun berbagai penelitian telah menerapkan pemodelan hidrologi menggunakan HEC-HMS untuk memperkirakan debit aliran dan respon DAS terhadap curah hujan, kajian mengenai karakteristik hidrologi pada DAS Bendungan Bagong masih perlu dikembangkan, khususnya dalam memahami pengaruh variasi curah hujan terhadap pola debit masuk dan kapasitas pengelolaan bendungan. Keterbatasan informasi hidrologi lokal dapat menyebabkan pengelolaan bendungan kurang optimal, terutama dalam menghadapi kondisi hidrologi yang berubah-ubah. Oleh karena itu, penerapan model HEC-HMS pada wilayah studi ini menjadi penting untuk menghasilkan gambaran hidrologi yang lebih akurat dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respon hidrologi DAS Bendungan Bagong menggunakan model HEC-HMS dengan mempertimbangkan karakteristik curah hujan dan kondisi wilayah tangkapan air. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan kajian pemodelan hidrologi serta menjadi dasar

pengelolaan bendungan yang lebih efektif, adaptif, dan berkelanjutan dalam menghadapi perubahan kondisi hidrologi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Bendungan Bagong yang berlokasi di Desa Sumurup dan Sengon, Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur. Bendungan Bagong berada sekitar 10 km dari pusat Kota Trenggalek dengan luas wilayah DAS sebesar 39,95 km² dan sumber utama aliran berasal dari Sungai Bagong. Bendungan ini memiliki kapasitas tampungan sebesar 17,40 juta m³ dan dirancang untuk meningkatkan pelayanan irigasi hingga 875 hektar lahan pertanian serta memenuhi kebutuhan air baku masyarakat di Kecamatan Pogalan. Pembangunan Bendungan Bagong dimulai pada akhir Desember 2018 dan masih dalam tahap konstruksi. Selain fungsi utama sebagai penyedia air irigasi dan air baku, bendungan ini juga diharapkan mampu mengurangi risiko banjir di wilayah hilir, mendukung konservasi DAS, serta memiliki potensi pengembangan sebagai kawasan wisata baru di Kabupaten Trenggalek.

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai instansi terkait, terutama Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Brantas. Data yang digunakan meliputi data hidrologi berupa data curah hujan dan debit aliran periode 2010–2024, serta data spasial yang terdiri atas Digital Elevation Model (DEM) format *Tagged Image File Format (.tif)*, peta tata guna lahan, dan peta jenis tanah. Selain itu, digunakan pula data pendukung berupa koordinat stasiun hujan dan informasi teknis perencanaan Bendungan Bagong. Seluruh data tersebut digunakan sebagai input dalam analisis karakteristik fisik DAS dan pemodelan hubungan hujan-debit menggunakan *Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS). Tahapan analisis diawali dengan identifikasi karakteristik fisik DAS menggunakan data DEM yang diolah melalui perangkat lunak ArcGIS untuk memperoleh batas DAS, jaringan sungai, serta parameter morfologi wilayah tangkapan air sebagai dasar penyusunan model hidrologi. Selanjutnya dilakukan analisis curah hujan wilayah menggunakan metode Poligon Thiessen untuk menentukan distribusi spasial curah hujan berdasarkan posisi dan pengaruh masing-masing stasiun pengamatan hujan terhadap wilayah DAS. Hasil pengolahan data spasial dan hidrologi tersebut kemudian digunakan sebagai parameter input dalam pemodelan hujan-debit menggunakan HEC-HMS.

Pemodelan HEC-HMS dilakukan melalui beberapa komponen utama, yaitu *Basin Model*, *Meteorologic Model*, *Control Specification*, dan *Time Series Data*. Pada *Basin Model*, elemen hidrologi DAS seperti *subbasin*, *junction*, *reach*, dan *sink* disusun berdasarkan karakteristik wilayah studi. Proses transformasi hujan menjadi limpasan dilakukan menggunakan metode *Soil Conservation Service Curve Number* (SCS-CN) untuk memperkirakan limpasan permukaan, *Clark Unit Hydrograph* untuk mensimulasikan limpasan langsung, serta metode *constant monthly* untuk memperkirakan aliran dasar (*baseflow*). Selanjutnya, *Meteorologic Model* digunakan untuk memasukkan distribusi curah hujan berdasarkan data stasiun hujan yang tersedia, sedangkan *Control Specification* digunakan untuk menentukan periode simulasi berdasarkan waktu awal dan akhir pemodelan. Data runtun waktu (*time series data*) berupa curah hujan, debit aliran, elevasi muka air, dan parameter hidrologi lainnya kemudian dimasukkan sebagai data masukan model. Setelah seluruh parameter dan data input terintegrasi dalam sistem HEC-HMS, dilakukan proses simulasi (*running model*) untuk memperoleh karakteristik debit aliran hasil pemodelan. Apabila ditemukan kesalahan atau peringatan selama proses simulasi, dilakukan pemeriksaan terhadap data input, parameter model, serta konfigurasi pemodelan untuk kemudian dilakukan perbaikan sebelum simulasi ulang. Hasil simulasi HEC-HMS selanjutnya digunakan untuk menganalisis respon hidrologi DAS Bendungan Bagong terhadap variasi curah hujan serta mendukung evaluasi pengelolaan sumber daya air pada wilayah studi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Data DEMNAS

Hasil analisis data *Digital Elevation Model Nasional* (DEMNAS) menunjukkan karakteristik topografi DAS Bendungan Bagong yang menjadi dasar dalam penyusunan model hidrologi menggunakan HEC-HMS. Data topografi menghasilkan informasi mengenai elevasi wilayah, kemiringan lereng, arah aliran (*flow direction*), batas DAS, pembagian sub-DAS, serta jaringan aliran sungai. Berdasarkan hasil delineasi wilayah tangkapan air, DAS Bendungan Bagong memiliki luas sekitar 39,95 km² dengan sistem aliran yang terhubung menuju outlet bendungan melalui jaringan sungai utama. Variasi kondisi topografi pada wilayah DAS memberikan pengaruh terhadap pola distribusi aliran permukaan, waktu konsentrasi, serta respon hidrologi terhadap kejadian hujan. Hasil pemodelan spasial menunjukkan bahwa karakteristik fisik DAS telah berhasil direpresentasikan dalam komponen hidrologi HEC-HMS, meliputi *subbasin*, *reach*, *junction*, dan *sink*. Informasi elevasi dan jaringan aliran yang diperoleh dari DEMNAS digunakan untuk menggambarkan hubungan hidrologis antarbagian DAS serta mendukung analisis transformasi curah hujan menjadi debit aliran. Dengan demikian, data DEMNAS memberikan representasi kondisi fisik wilayah yang diperlukan untuk menghasilkan simulasi hidrologi yang lebih sesuai dengan karakteristik DAS Bendungan Bagong.

Input HEC-HMS

Hasil integrasi data spasial dan parameter hidrologi ke dalam HEC-HMS menghasilkan representasi model fisik DAS Bendungan Bagong yang digunakan dalam simulasi hidrologi. Model yang terbentuk mencakup karakteristik topografi, batas DAS, jaringan aliran, serta elemen hidrologi yang menggambarkan hubungan antara wilayah tangkapan air dan outlet bendungan. Berdasarkan hasil analisis terrain, sistem berhasil mengidentifikasi pola aliran berdasarkan kondisi elevasi permukaan sehingga diperoleh jaringan sungai dan batas wilayah tangkapan yang sesuai dengan karakteristik fisik DAS.

Hasil delineasi menggunakan HEC-HMS menghasilkan pembagian wilayah DAS ke dalam elemen hidrologi berupa subbasin, jaringan aliran (*reach*), titik pertemuan aliran (*junction*), dan titik keluaran (*sink/outlet*). Pembentukan elemen tersebut memberikan struktur spasial yang diperlukan untuk mensimulasikan proses transformasi curah hujan menjadi debit aliran. Identifikasi jaringan sungai dilakukan berdasarkan karakteristik topografi dengan mempertimbangkan ambang batas luas daerah tangkapan sebesar 4,0 km², sehingga aliran yang terbentuk merepresentasikan jaringan utama DAS dan mengurangi pengaruh saluran kecil yang tidak signifikan terhadap analisis hidrologi.

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa konfigurasi elemen hidrologi yang terbentuk mampu menggambarkan hubungan spasial antara area tangkapan, jaringan sungai, dan titik keluar DAS menuju Bendungan Bagong. Model ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam tahap pemodelan hujan-debit menggunakan HEC-HMS dengan memasukkan parameter hidrologi seperti karakteristik limpasan, kehilangan air (*loss*), transformasi aliran, dan aliran dasar (*baseflow*). Dengan terbentuknya model DAS yang sesuai dengan kondisi fisik wilayah, simulasi hidrologi dapat dilakukan untuk menganalisis respon DAS terhadap variasi curah hujan dan memperkirakan debit aliran masuk (*inflow*) menuju bendungan.

Perhitungan Parameter HEC-HMS

Hasil analisis karakteristik fisik sub-DAS Bendungan Bagong menghasilkan parameter hidrologi yang digunakan sebagai input dalam pemodelan HEC-HMS. Parameter yang diperoleh meliputi *Curve Number* (CN), retensi maksimum (*maximum potential retention/S*), abstraksi awal (*initial abstraction/Ia*), waktu tunda (*lag time*), serta tingkat kedap lahan (*imperviousness*). Parameter tersebut menggambarkan karakteristik respon DAS terhadap kejadian hujan, terutama dalam menentukan besarnya limpasan permukaan yang terbentuk dari kombinasi kondisi penggunaan lahan dan karakteristik tanah. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *Curve Number* pada setiap sub-DAS memiliki variasi yang dipengaruhi oleh kombinasi penggunaan lahan dan jenis tanah. Perbedaan nilai CN menunjukkan adanya variasi kemampuan infiltrasi dan potensi pembentukan limpasan pada wilayah penelitian. Area dengan tutupan lahan yang memiliki

kemampuan infiltrasi lebih tinggi menghasilkan nilai CN yang lebih rendah, sedangkan wilayah dengan tingkat kedap atau kemampuan infiltrasi yang lebih rendah menunjukkan nilai CN yang lebih tinggi. Variasi nilai tersebut kemudian digunakan untuk menentukan parameter kehilangan air (*loss parameter*) dalam model HEC-HMS.

Berdasarkan nilai CN yang diperoleh, parameter retensi maksimum (S) dan abstraksi awal (Ia) dapat ditentukan menggunakan pendekatan SCS (*Soil Conservation Service*). Parameter tersebut memberikan gambaran mengenai kemampuan DAS dalam menahan air sebelum terjadi limpasan permukaan. Selain itu, karakteristik geometrik sub-DAS hasil delineasi digunakan untuk menentukan waktu tunda (*lag time*) yang berpengaruh terhadap waktu respon aliran dari wilayah tangkapan menuju outlet bendungan. Hasil perhitungan parameter hidrologi menunjukkan bahwa setiap sub-DAS memiliki karakteristik respon hidrologi yang berbeda sesuai dengan kondisi fisik wilayahnya. Parameter CN, S, Ia, dan *lag time* yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai input model HEC-HMS untuk mensimulasikan hubungan antara curah hujan dan debit aliran. Dengan memasukkan parameter berbasis kondisi aktual penggunaan lahan, jenis tanah, dan karakteristik topografi, model hidrologi yang dibangun mampu merepresentasikan variasi respon DAS Bendungan Bagong terhadap kejadian hujan.

Menentukan *Curve Number* (CN)

Curve Number (CN) merupakan nilai empiris yang dikembangkan oleh Soil Conservation Service (SCS) untuk memperkirakan besarnya limpasan permukaan berdasarkan karakteristik penggunaan lahan, jenis tanah, dan kondisi infiltrasi pada suatu wilayah. Nilai CN umumnya berada pada rentang 30 hingga 100. Nilai yang lebih rendah menunjukkan kemampuan infiltrasi yang lebih tinggi, sedangkan nilai yang mendekati 100 menunjukkan kondisi permukaan yang semakin kedap terhadap air. Parameter CN merupakan salah satu parameter penting dalam pemodelan hidrologi menggunakan HEC-HMS karena berpengaruh terhadap besarnya limpasan permukaan yang dihasilkan dari suatu kejadian hujan. Penentuan nilai CN pada penelitian ini dilakukan dengan mengintegrasikan data penggunaan lahan dan jenis tanah melalui proses *overlay* spasial pada QGIS. Setiap kombinasi penggunaan lahan dan jenis tanah diberikan nilai CN sesuai dengan standar yang digunakan dalam penelitian. Proses pemberian nilai dilakukan menggunakan fitur *Field Calculator* dengan ekspresi *CASE WHEN*, sehingga setiap kombinasi karakteristik lahan dapat memperoleh nilai CN yang sesuai.

Setelah seluruh kombinasi penggunaan lahan dan jenis tanah memperoleh nilai CN, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai CN rata-rata untuk masing-masing sub-DAS. Perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan luas setiap kombinasi penggunaan lahan dan jenis tanah terhadap luas total sub-DAS. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai CN rata-rata sebesar 66,2561. Nilai tersebut kemudian dibulatkan menjadi 66 untuk memenuhi ketentuan input model HEC-HMS yang menggunakan nilai CN dalam bentuk bilangan bulat. Nilai CN yang diperoleh menunjukkan adanya perbedaan karakteristik limpasan berdasarkan jenis penggunaan lahan dan jenis tanah. Semakin tinggi nilai CN, semakin besar kecenderungan suatu permukaan menghasilkan limpasan karena kemampuan infiltrasi air yang relatif lebih rendah. Sebaliknya, nilai CN yang lebih rendah menunjukkan kemampuan infiltrasi yang lebih besar sehingga potensi limpasan permukaan menjadi lebih kecil.

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai *Curve Number* (CN) menunjukkan variasi berdasarkan jenis penggunaan lahan dan jenis tanah. Pada penggunaan lahan hutan rimba, nilai CN sebesar 70 pada tanah Litosol dan 55 pada tanah Andosol. Penggunaan lahan semak belukar memiliki nilai CN sebesar 75 pada tanah Litosol dan 60 pada tanah Andosol. Selanjutnya, penggunaan lahan gedung/bangunan memiliki nilai CN sebesar 95 pada tanah Litosol dan 90 pada tanah Andosol. Pada penggunaan lahan permukiman dan tempat kegiatan, nilai CN masing-masing sebesar 92 pada tanah Litosol dan 85 pada tanah Andosol. Penggunaan lahan perkebunan/kebun memiliki nilai CN sebesar 82 pada tanah Litosol dan 75 pada tanah Andosol. Sementara itu, penggunaan lahan sawah tadahan hujan memiliki nilai CN sebesar 78 pada tanah Litosol dan 72 pada tanah Andosol. Pada penggunaan lahan tegalan/ladang, nilai CN sebesar 86 pada tanah Litosol dan 78 pada tanah Andosol. Adapun penggunaan lahan sungai memiliki nilai CN tertinggi, yaitu sebesar

100, baik pada tanah Litosol maupun Andosol. Secara keseluruhan, nilai CN menunjukkan bahwa karakteristik penggunaan lahan dan jenis tanah berpengaruh terhadap potensi limpasan permukaan. Nilai CN yang tinggi, seperti pada sungai dan kawasan terbangun, menunjukkan kemampuan infiltrasi yang lebih rendah dan potensi limpasan yang lebih besar. Sebaliknya, nilai CN yang lebih rendah, seperti pada hutan rimba dan semak belukar, menunjukkan kemampuan infiltrasi yang relatif lebih baik sehingga potensi limpasan permukaannya lebih rendah.

Perhitungan Lag time (T_p)

Hasil perhitungan waktu tunda (lag time) pada sub-DAS Bendungan Bagong menunjukkan karakteristik waktu respon DAS terhadap kejadian hujan sebelum mencapai puncak aliran permukaan. Parameter lag time digunakan untuk menggambarkan jeda waktu antara terjadinya puncak curah hujan dan terbentuknya debit puncak pada sistem aliran sungai, sehingga menjadi salah satu komponen penting dalam simulasi hidrograf limpasan menggunakan HEC-HMS. Berdasarkan hasil analisis pada Sub-DAS 1, diperoleh nilai lag time sebesar 1,434 jam atau sekitar 86,05 menit. Nilai tersebut menunjukkan bahwa respon aliran pada sub-DAS membutuhkan waktu lebih dari satu jam sejak terjadinya input hujan hingga mencapai karakteristik puncak limpasan pada jaringan aliran utama. Perolehan nilai ini dipengaruhi oleh beberapa karakteristik fisik DAS, yaitu panjang aliran utama sebesar 9,3545 km, nilai Curve Number (CN) sebesar 66, nilai retensi maksimum (maximum potential retention/S) sebesar 5,2 inci, serta kemiringan jalur aliran sebesar 0,25889. Nilai lag time yang diperoleh menunjukkan bahwa karakteristik topografi dan kemampuan infiltrasi wilayah memiliki pengaruh terhadap kecepatan respon hidrologi DAS. Nilai CN yang relatif menggambarkan kondisi infiltrasi dan penyimpanan air pada wilayah tangkapan berpengaruh terhadap besarnya limpasan yang terbentuk, sedangkan panjang dan kemiringan aliran memengaruhi waktu perjalanan air menuju outlet. Parameter lag time hasil perhitungan selanjutnya digunakan sebagai salah satu input dalam model HEC-HMS untuk mensimulasikan waktu respons dan bentuk hidrograf limpasan DAS Bendungan Bagong.

Tabel 1. Rekapitulasi Lag time subbasin 1-5

Subbasin	CN	S (Storage) (in)	L (length) (Km)	L (length) (feet)	y (slope)	(%)	Lag Time (Jam)	(menit)
Subbasin 1	66	5,2	9,354	30690,618	0,258	25,889	1,434	86,046
Subbasin 2	71	4,1	8,522	27961,221	0,252	25,288	1,178	70,722
Subbasin 3	62	6,1	5,808	19058,268	0,332	33,299	0,957	57,460
Subbasin 4	62	6,1	7,639	25065,454	0,297	29,771	1,261	75,662
Subbasin 5	74	3,5	7,898	25912,796	0,282	28,284	0,964	57,889

Sumber : Hasil Perhitungan

Menghitung Retensi Maksimum (S) dan Initial Abstraction (Ia)

Hasil analisis parameter hidrologi berdasarkan metode SCS-CN menghasilkan nilai retensi maksimum (*maximum potential retention/S*) dan *initial abstraction* (Ia) pada masing-masing sub-DAS Bendungan Bagong. Kedua parameter tersebut digunakan untuk menggambarkan kemampuan DAS dalam menahan air sebelum terjadi limpasan permukaan. Nilai S dan Ia diperoleh berdasarkan nilai *Curve Number* (CN) yang merepresentasikan hubungan antara karakteristik penggunaan lahan dan kondisi jenis tanah pada wilayah penelitian. Hasil perhitungan menunjukkan adanya variasi nilai S dan Ia antar sub-DAS, yang menunjukkan perbedaan karakteristik kemampuan infiltrasi dan penyimpanan air pada setiap wilayah tangkapan. Sub-DAS dengan nilai CN yang lebih tinggi memiliki nilai retensi maksimum yang lebih rendah, sehingga menunjukkan kapasitas penyimpanan air yang lebih kecil dan kecenderungan menghasilkan limpasan permukaan yang lebih besar. Sebaliknya, sub-DAS dengan nilai CN lebih rendah menunjukkan kapasitas infiltrasi dan penyimpanan air yang lebih besar sehingga potensi limpasan permukaan relatif lebih kecil.

Berdasarkan hasil analisis pada Sub-DAS 1, diperoleh nilai retensi maksimum (S) sebesar 5,2 inci dan nilai *initial abstraction* (Ia) sebesar 1,03 inci. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sebelum terjadi limpasan langsung, sebagian curah hujan terlebih dahulu mengalami proses penyimpanan

awal melalui infiltrasi, intersepsi vegetasi, dan tampungan permukaan. Parameter S dan I_a yang diperoleh untuk seluruh sub-DAS selanjutnya digunakan sebagai parameter kehilangan air (*loss parameter*) dalam pemodelan HEC-HMS untuk memperkirakan besarnya curah hujan efektif yang berkontribusi terhadap pembentukan debit aliran. Variasi nilai S dan I_a antar sub-DAS memberikan informasi penting mengenai heterogenitas respon hidrologi DAS Bendungan Bagong. Parameter tersebut menjadi salah satu komponen utama dalam simulasi hujan-debit karena menentukan proporsi curah hujan yang berubah menjadi limpasan permukaan. Dengan memasukkan parameter berbasis kondisi penggunaan lahan dan karakteristik tanah, model HEC-HMS dapat merepresentasikan proses hidrologi DAS secara lebih mendekati kondisi aktual wilayah penelitian.

Tabel 2. Rekapitulasi retensi maksimum (S) dan Rumus initial Abtraction (I_a)

S (inch)	I_a
5,2	1,030
4,1	0,816
6,1	1,225
6,1	1,225
3,5	0,702

Sumber : Hasil Perhitungan

Menghitung *Impervious* (%)

Nilai *impervious* (%), atau persen lahan kedap air, setiap jenis penggunaan lahan memiliki karakteristik penutupan lahan yang berbeda. Oleh karena itu untuk setiap kelas penggunaan lahan digunakan asumsi persentase *impervious*:

Tabel 3. Rekap tabel *impervious* dari HEC-HMS

No	Penggunaan Lahan	<i>Impervious</i> (%)
1	Hutan Rimba	2
2	Semak belukar	3
3	Sungai	100
4	Permukiman	55
5	Perkebunan	15
6	Sawah Tadah Hujan	7
7	Tegalan/Ladang	10

Sumber : HEC-HMS user's manual

Perhitungan tingkat *imperviousness* dilakukan dengan menjumlahkan kontribusi luas setiap kelas penggunaan lahan yang memiliki karakteristik kedap air pada masing-masing sub-DAS. Sebagai contoh, luas area kedap dari kelas penggunaan lahan hutan rimba diperoleh sebesar 3,944 km², kemudian seluruh kontribusi kelas lahan lainnya dijumlahkan untuk memperoleh total luas area *impervious*. Nilai tersebut selanjutnya dibagi dengan luas total sub-DAS dan dikalikan 100% untuk mendapatkan nilai rata-rata *imperviousness* pada setiap sub-DAS.

Menghitung karakteristik *Reach* (saluran)

Perhitungan karakteristik *reach* bertujuan untuk menentukan waktu keterlambatan (*Lag time*) dan waktu perjalanan (*travel time*) aliran antara *outlet subbasin* menuju *junction* atau *outlet* utama. Data yang digunakan adalah Panjang saluran, *slope*, elevasi, dan metode estimasi waktu aliran berdasarkan rumus SCS Lag Equation

Gambar 1. Karakteristik geometri saluran

Reach	Length (KM)	Slope (M/M)	Relief (M)	Sinuosity
reach2	5.71558	0.04829	276.00000	1.39024
reach1	6.04121	0.04569	276.00000	1.40772

Sumber: Hasil tangkapan layar HEC-HMS

Hasil analisis karakteristik geometri saluran pada DAS Bendungan Bagong menunjukkan parameter utama berupa panjang saluran, kemiringan (*slope*), perbedaan elevasi (*relief elevation*), dan tingkat kelengkungan aliran (*sinuosity*). Parameter tersebut digunakan untuk memperkirakan waktu tempuh aliran (*travel time*) dan *lag time* pada setiap *reach* dalam pemodelan HEC-HMS. Berdasarkan perhitungan menggunakan metode *Soil Conservation Service* (SCS, 1972), diperoleh nilai waktu tempuh untuk masing-masing saluran berdasarkan karakteristik fisiknya. Pada Reach 1, dengan panjang saluran sebesar 19.820,24 ft dan perbedaan elevasi sebesar 276 ft, diperoleh nilai waktu tempuh yang selanjutnya digunakan sebagai parameter routing aliran dalam model hidrologi. Hasil perhitungan seluruh *reach* menunjukkan adanya perbedaan waktu respon aliran yang dipengaruhi oleh variasi panjang saluran, kemiringan, dan karakteristik morfologi sungai. Parameter tersebut kemudian digunakan dalam HEC-HMS untuk menggambarkan proses perambatan aliran dari wilayah hulu menuju outlet bendungan.

Tabel 4. Rekapitulasi Reach 1 dan 2

Reach	L (Feet)	Slope (%)	H	tc (jam)	Lag time (jam)	Lag Time (menit)
Reach 1	19820,24	4,569	90558,69	0,148	0,089	5,343
Reach 2	18751,9	1875190,349	90552,94	0,139	0,083	5,014

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5. Rekapitulasi perhitungan manual HEC-HMS

Subbasin	CN	Area Km ²	impervious %	Lag Time (minute)	Ia
Subbasin 1	66	8.350	8.00	86.046	1.030
Subbasin 2	71	7.651	10.23	70.723	0.817
Subbasin 3	62	6.939	5.42	57.461	1.226
Subbasin 4	62	9.552	5.24	75.663	1.226
Subbasin 5	74	10.100	9.00	57.889	0.703

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil integrasi seluruh parameter hidrologi ke dalam model HEC-HMS menghasilkan konfigurasi simulasi hidrograf limpasan permukaan pada DAS Bendungan Bagong. Parameter *Curve Number* (CN), *initial abstraction* (Ia), tingkat *imperviousness*, *lag time*, serta karakteristik saluran dimasukkan ke dalam elemen model yang terdiri atas *subbasin*, *reach*, dan *junction*. Selain itu, data curah hujan rencana dengan berbagai periode ulang, yaitu Q2, Q5, Q10, Q25, Q50, dan Q100, digunakan sebagai input meteorologi untuk menghasilkan respon debit pada masing-masing skenario hujan. Hasil simulasi HEC-HMS menghasilkan keluaran berupa hidrograf limpasan, debit puncak (*peak discharge*), waktu terjadinya debit puncak, total volume aliran, serta karakteristik aliran masuk dan keluar pada sistem DAS Bendungan Bagong. Simulasi dilakukan untuk setiap skenario hujan rencana sehingga diperoleh gambaran hubungan antara peningkatan intensitas curah hujan dengan perubahan respon hidrologi DAS. Hasil model tersebut selanjutnya digunakan untuk menganalisis karakteristik debit banjir dan mengevaluasi potensi pengaruh variasi curah hujan terhadap kapasitas pengelolaan aliran masuk Bendungan Bagong.

Hasil simulasi di DAS Bendungan Bagong dengan HEC-HMS

Pada tahap ini, hasil simulasi model HEC-HMS akan dianalisis berdasarkan parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Tabel berikut memperlihatkan nilai total (m^3/detik) pada setiap interval waktu untuk masing-masing kala ulang, mulai dari Q2 hingga Q100. Data ini merupakan hasil pemodelan menggunakan perangkat lunak HEC-HMS, yang menggambarkan respons debit puncak di daerah DAS Bendungan Bagong terjadi pada jam ke 13.30 untuk seluruh periode ulang seperti yang di tunjukan pada tabel 6.

Tabel 6. Debit puncak simulasi HEC-HMS Q2-Q100

Jam	Q2 Total Inflow M^3/detik	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100
00:30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01:30	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
02:00	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
02:30	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
03:00	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6
03:30	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
04:00	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7
04:30	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8
05:00	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9
05:30	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0
06:00	0.6	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1
06:30	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.2
07:00	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.4
07:30	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4	1.5
08:00	0.9	1.1	1.3	1.4	1.6	1.7
08:30	1.0	1.3	1.4	1.6	1.8	1.9
09:00	1.1	1.4	1.6	1.8	2.0	2.1
09:30	1.3	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
10:00	1.5	1.8	2.1	2.3	2.6	2.8
10:30	1.7	2.1	2.4	2.7	3.0	3.2
11:00	2.0	2.5	2.8	3.1	3.5	3.8
11:30	2.4	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6
12:00	3.0	3.8	4.3	4.8	5.4	5.8
12:30	8.1	10.2	11.6	13.0	14.6	15.8
13:00	18.6	23.6	26.9	30.1	33.8	36.6
13:30	22.9	29.0	33.0	37.0	41.5	45.0
14:00	20.2	25.5	29.0	32.5	36.5	39.6
14:30	15.6	19.8	22.4	25.1	28.2	30.6
15:00	11.8	14.9	16.9	19.0	21.2	23.0
15:30	9.2	11.6	13.1	14.7	16.5	17.9
16:00	7.4	9.3	10.6	11.9	13.3	14.4
16:30	6.2	7.8	8.9	10.0	11.1	12.0
17:00	5.4	6.8	7.7	8.6	9.6	10.4
17:30	4.8	6.0	6.8	7.6	8.5	9.2
18:00	4.3	5.4	6.1	6.9	7.7	8.3
18:30	3.9	5.0	5.6	6.3	7.0	7.6
19:00	3.7	4.6	5.2	5.9	6.5	7.1
19:30	3.4	4.4	4.9	5.5	6.1	6.6
20:00	3.3	4.1	4.7	5.2	5.8	6.3
20:30	3.1	3.9	4.4	5.0	5.5	6.0
21:00	3.0	3.8	4.2	4.7	5.3	5.7

Jam	Q2 Total Inflow	Q5 M ³ /detik	Q10	Q25	Q50	Q100
21:30	2.8	3.6	4.1	4.5	5.1	5.5
22:00	2.7	3.5	3.9	4.4	4.9	5.3
22:30	2.7	3.3	3.8	4.2	4.7	5.1
23:00	2.6	3.2	3.6	4.1	4.5	4.9
23:30	2.5	3.1	3.5	4.0	4.4	4.8
00:00	2.4	3.0	3.4	3.9	4.3	4.6

Sumber: Hasil Perhitungan

Metode Alternating Block Method (ABM) yang kemudian diinput ke dalam model hidrologi HEC-HMS. metode ini dipilih karena mampu menghasilkan pola distribusi curah hujan yang lebih simetris dan realistis, dimana intensitas puncak hujan ditempatkan di tengah periode, sedangkan intensitas lainnya disusun secara bergantian ke kiri dan kanan. Pola ini di anggap lebih mendekati karakteristik hujan sebenarnya di lapangan, sehingga hasil analisis menjadi lebih representatif. Setelah data curah hujan efektif dari ABM di masukan kedalam HEC-HMS, diperoleh hasil simulasi berupa grafik hidrograf debit banjir. Dari hasil simulasi tersebut, diketahui bahwa debit puncak (Qp) terjadi pada jam 13:30. Nilai debit puncak ini berbeda-beda tergantung pada periode ulang hujan yang di analisis, yaitu sebesar 22,9 m³/detik untuk periode ulang 2 tahun, 29,0 m³/detik untuk 5 tahun, 33,0 m³/detik untuk 10 tahun, 37,0 m³/detik untuk 25 tahun, 41,5 m³/detik untuk 50 tahun, dan 45,0 m³/detik untuk 100 tahun. Hasi ini menunjukan bahwa semakin besar periode ulang, debit puncak yang terjadi juga semakin besar yang menandakan semakin ekstrem kejadian hujan yang diwakili. Waktu terjadi debit puncak pada jam 13.30 memperlihatkan respon cepat daerah aliran sungai terhadap hujan yang turun, sehingga puncak aliran terjadi tidak lama setelah puncak curah hujan.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemodelan hidrologi menggunakan HEC-HMS mampu merepresentasikan karakteristik fisik DAS Bendungan Bagong melalui integrasi data topografi, penggunaan lahan, jenis tanah, serta parameter hidrologi. Pendekatan berbasis GIS dan model semi-terdistribusi seperti HEC-HMS banyak digunakan dalam penelitian hidrologi karena mampu menghubungkan karakteristik spasial DAS dengan proses transformasi curah hujan menjadi limpasan. Pada penelitian ini, data DEMNAS berhasil menghasilkan delineasi DAS dengan luas 39,95 km² serta membentuk elemen hidrologi berupa *subbasin*, *reach*, *junction*, dan *sink* yang menjadi struktur dasar simulasi hujan-debit. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa integrasi DEM dan GIS dalam HEC-HMS mampu meningkatkan representasi kondisi fisik DAS karena parameter morfologi seperti batas DAS, jaringan sungai, dan kemiringan lereng memiliki pengaruh langsung terhadap pola aliran dan waktu respon hidrologi (Jabbar et al., 2021; Chendes et al., 2024).

Karakteristik topografi yang diperoleh dari DEMNAS menunjukkan bahwa faktor spasial DAS memiliki peranan penting dalam menentukan respon hidrologi Bendungan Bagong. Variasi elevasi, panjang aliran, dan kemiringan lereng memengaruhi kecepatan perjalanan air menuju outlet bendungan. Kondisi tersebut terlihat dari perbedaan nilai *lag time* antar sub-DAS yang berada pada rentang 57,46–86,05 menit. Sub-DAS dengan panjang aliran lebih besar memiliki waktu respon yang lebih lama dibandingkan wilayah dengan jalur aliran lebih pendek. Temuan ini sesuai dengan konsep hidrologi DAS bahwa waktu konsentrasi dan *lag time* dipengaruhi oleh karakteristik morfometri DAS, termasuk panjang sungai utama, kemiringan aliran, dan bentuk jaringan drainase. Penelitian mengenai pemodelan HEC-HMS pada berbagai DAS juga menunjukkan bahwa parameter geometrik DAS merupakan faktor penting dalam menentukan bentuk hidrograf dan waktu tercapainya debit puncak (Sarminingsih & Rezagama, 2021; Jabbar et al., 2021).

Nilai *Curve Number* (CN) rata-rata DAS Bendungan Bagong sebesar 66,25 menunjukkan bahwa wilayah penelitian memiliki karakteristik limpasan sedang dengan kemampuan infiltrasi yang masih cukup baik. Nilai tersebut dipengaruhi oleh kombinasi penggunaan lahan dan jenis

tanah, dimana kawasan hutan dan vegetasi menghasilkan nilai CN lebih rendah dibandingkan kawasan terbangun dan badan air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai CN tertinggi ditemukan pada penggunaan lahan sungai dan kawasan permukiman, sedangkan nilai lebih rendah ditemukan pada kawasan berhutan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perubahan karakteristik tutupan lahan memiliki hubungan erat dengan peningkatan potensi limpasan. Penelitian terdahulu menjelaskan bahwa metode SCS-CN merupakan pendekatan yang efektif untuk memperkirakan limpasan permukaan karena mampu mengintegrasikan pengaruh penggunaan lahan, kondisi tanah, dan kemampuan infiltrasi dalam satu parameter numerik (Chendes *et al.*, 2024). Nilai CN yang semakin tinggi menunjukkan berkurangnya kemampuan infiltrasi dan meningkatnya potensi pembentukan limpasan permukaan.

Hasil perhitungan parameter retensi maksimum (S) dan *initial abstraction* (Ia) memperkuat hubungan antara karakteristik penggunaan lahan dan respon hidrologi DAS. Pada Sub-DAS 1, nilai S sebesar 5,2 inci dan Ia sebesar 1,03 inci menunjukkan bahwa sebagian curah hujan masih mengalami proses penyimpanan awal sebelum berubah menjadi limpasan langsung. Variasi nilai S dan Ia antar sub-DAS menunjukkan adanya heterogenitas kemampuan penyimpanan air pada wilayah penelitian. Sub-DAS dengan nilai CN lebih tinggi memiliki kapasitas penyimpanan yang lebih rendah sehingga menghasilkan limpasan lebih besar. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menerapkan metode SCS-CN dalam HEC-HMS, dimana parameter CN, S, dan Ia menjadi faktor utama yang menentukan besarnya curah hujan efektif yang masuk ke sistem aliran (Natarajan *et al.*, 2022; Chendes *et al.*, 2024).

Parameter *imperviousness* juga memberikan informasi penting mengenai pengaruh penggunaan lahan terhadap respon limpasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kawasan dengan tingkat kedap air lebih tinggi memiliki kontribusi lebih besar terhadap peningkatan limpasan permukaan karena mengurangi infiltrasi tanah. Walaupun sebagian besar DAS Bendungan Bagong masih didominasi penggunaan lahan alami, keberadaan permukiman, bangunan, dan badan air tetap memberikan pengaruh terhadap distribusi limpasan antar sub-DAS. Penelitian terkait perubahan penggunaan lahan dan pemodelan hidrologi menunjukkan bahwa peningkatan area kedap air dapat mempercepat respon DAS terhadap hujan dan meningkatkan debit puncak, terutama pada kejadian hujan intensitas tinggi (Chen *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2023).

Hasil simulasi HEC-HMS menunjukkan bahwa debit puncak meningkat seiring dengan meningkatnya periode ulang hujan. Debit maksimum yang diperoleh berturut-turut sebesar 22,9 m³/detik pada Q2, 29,0 m³/detik pada Q5, 33,0 m³/detik pada Q10, 37,0 m³/detik pada Q25, 41,5 m³/detik pada Q50, dan 45,0 m³/detik pada Q100. Pola peningkatan ini menunjukkan hubungan langsung antara peningkatan intensitas hujan rencana dan peningkatan respon debit DAS. Debit puncak terjadi pada waktu yang sama, yaitu pukul 13.30, yang menunjukkan bahwa karakteristik DAS memiliki respon hidrologi yang relatif konsisten terhadap variasi skenario hujan. Hasil ini sejalan dengan berbagai penelitian HEC-HMS yang menunjukkan bahwa peningkatan kala ulang hujan menghasilkan peningkatan debit puncak dan volume limpasan akibat meningkatnya curah hujan efektif yang masuk ke sistem DAS.

Penggunaan metode *Alternating Block Method* (ABM) dalam penyusunan distribusi hujan rencana juga memberikan kontribusi terhadap representasi kejadian hujan ekstrem dalam simulasi. Penempatan intensitas hujan maksimum pada bagian tengah durasi hujan menghasilkan pola distribusi yang mampu menggambarkan kondisi kritis ketika DAS menerima beban hujan terbesar. Pendekatan ini banyak digunakan dalam analisis hidrologi karena mampu menghasilkan pola hujan rancangan yang lebih representatif dibandingkan distribusi hujan sederhana. Dengan kombinasi ABM dan HEC-HMS, penelitian ini mampu menggambarkan hubungan antara karakteristik hujan, respon DAS, dan perubahan debit masuk menuju bendungan.

Secara praktis, hasil penelitian ini memiliki implikasi penting bagi pengelolaan Bendungan Bagong. Informasi mengenai hubungan antara karakteristik DAS dan debit banjir dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kapasitas tampungan, perencanaan operasi bendungan, serta pengembangan sistem mitigasi banjir di wilayah hilir. Model HEC-HMS yang dibangun juga dapat

dikembangkan sebagai alat pendukung keputusan untuk mengevaluasi berbagai skenario perubahan iklim, perubahan penggunaan lahan, maupun kejadian hujan ekstrem. Pendekatan berbasis pemodelan hidrologi seperti ini semakin penting karena perubahan pola hujan dan tekanan penggunaan lahan dapat meningkatkan ketidakpastian dalam pengelolaan sumber daya air.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Model yang digunakan masih berbasis parameter fisik DAS dan belum dilakukan proses kalibrasi serta validasi menggunakan data debit observasi jangka panjang karena keterbatasan ketersediaan data hidrologi aktual pada lokasi penelitian. Selain itu, parameter penggunaan lahan dan karakteristik tanah yang digunakan merepresentasikan kondisi pada periode pengamatan tertentu sehingga belum sepenuhnya menggambarkan dinamika perubahan tutupan lahan di masa mendatang. Oleh karena itu, penelitian lanjutan dapat diarahkan pada proses kalibrasi model menggunakan data observasi, integrasi data penginderaan jauh dengan resolusi lebih tinggi, serta analisis sensitivitas parameter untuk meningkatkan akurasi prediksi debit banjir DAS Bendungan Bagong.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemodelan hidrologi menggunakan HEC-HMS mampu menggambarkan respon hidrologi DAS Bendungan Bagong terhadap variasi curah hujan berdasarkan data periode 2010–2024. Penyusunan input hujan jam-jaman melalui analisis curah hujan wilayah menggunakan Poligon Thiessen, distribusi hujan rencana dengan metode Mononobe, serta pembentukan hujan efektif menggunakan *Alternating Block Method* (ABM) menghasilkan data masukan yang sesuai untuk simulasi hidrologi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa debit puncak banjir meningkat seiring dengan bertambahnya periode ulang hujan. Debit puncak yang dihasilkan sebesar 22,9 m³/detik untuk periode ulang 2 tahun, meningkat menjadi 29,0 m³/detik pada periode ulang 5 tahun, 33,0 m³/detik pada periode ulang 10 tahun, 37,0 m³/detik pada periode ulang 25 tahun, 41,5 m³/detik pada periode ulang 50 tahun, dan mencapai 45,0 m³/detik pada periode ulang 100 tahun. Seluruh skenario menunjukkan waktu puncak debit terjadi pada pukul 13.30, yang menggambarkan karakteristik respon cepat DAS Bendungan Bagong terhadap kejadian hujan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model HEC-HMS dapat digunakan sebagai pendekatan analisis hidrologi untuk memahami karakteristik debit banjir dan mendukung pengelolaan sumber daya air pada wilayah Bendungan Bagong.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan kalibrasi dan validasi model menggunakan data debit observasi lapangan agar tingkat akurasi dan keandalan hasil simulasi dapat ditingkatkan. Pengumpulan data hidrologi secara kontinu, terutama data curah hujan dan debit aliran, juga diperlukan untuk mengurangi ketidakpastian model serta menghasilkan analisis yang lebih representatif terhadap kondisi aktual DAS. Selain itu, pengembangan penelitian dapat dilakukan dengan mengintegrasikan perubahan penggunaan lahan, data penginderaan jauh, serta skenario perubahan iklim untuk mengevaluasi pengaruh perubahan lingkungan terhadap respon hidrologi DAS Bendungan Bagong. Bagi pengelola sumber daya air, hasil penelitian ini dapat menjadi salah satu dasar dalam perencanaan mitigasi banjir, evaluasi kapasitas pengendalian aliran, dan pengambilan keputusan berbasis model hidrologi dalam pengelolaan Bendungan Bagong secara berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini. Terima kasih kepada rekan-rekan sejawat yang telah memberikan saran, dukungan, dan inspirasi selama proses penelitian. Kami juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua partisipan dan responden yang telah meluangkan waktu untuk berpartisipasi dalam penelitian ini. Tak lupa, kami juga mengucapkan terima kasih kepada lembaga atau institusi yang telah memberikan dukungan dan fasilitas dalam menjalankan penelitian ini. Semua kontribusi dan bantuan yang diberikan sangat berarti bagi kelancaran dan kesuksesan penelitian ini. Terima kasih atas segala kerja keras dan kolaborasi yang telah terjalin.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, A., Farooq, M., & Ahmad, S. (2022). Hydrological modelling using HEC-HMS and GIS techniques for rainfall-runoff simulation in a semi-arid watershed. *Environmental Earth Sciences*, 81(12), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10423-8>
- Alizadeh, M. R., Nikoo, M. R., & Al-Wardy, M. (2021). Application of HEC-HMS model for rainfall-runoff simulation and flood estimation in mountainous watersheds. *Water*, 13(18), 2562. <https://doi.org/10.3390/w13182562>
- Anonim. (2022). Modul 1 Analisis Curah Hujan. Jakarta. Balai Teknik Bendungan. Anonim. (2022). Modul 3 Pemodelan Hujan Limpasan Menggunakan Data Satelit. Jakarta. Balai Teknik Bendungan.
- Arlen, D. F. (2000). HEC HMS Technical Reference Manual. Washington DC: U.S. Army Corps of Engineers.
- Asdak, C. (2010). Hydrology and Watershed Management. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Bello, M. A., Salami, A. W., & Adeogun, A. G. (2020). Hydrological modelling and flood estimation using HEC-HMS model in a tropical watershed. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 32, 100748. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100748>
- C.D. Soemarto, 1987 : Hidrologi Teknik, Usaha Nasional, Surabaya. Chow, V. T. (1988). Applied Hydrology. New York: McGraw-Hill
- Chen, Y., Zhang, X., Wang, Y., & Li, J. (2022). Effects of land use change on hydrological response using the HEC-HMS model in watershed systems. *Journal of Environmental Management*, 317, 115398. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115398>
- Chendeş, V., Săvulescu, I., & Enache, I. (2024). Application of GIS-based hydrological modelling using HEC-HMS for watershed response analysis. *Frontiers in Water*, 6, 1474990. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1474990>
- Fang, G., Yang, J., Chen, Y., & Zhang, S. (2021). Impact of climate variability and land use change on watershed runoff using hydrological modelling. *Science of the Total Environment*, 775, 145835. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145835>
- Hartono, A.O. 2021. "kajian kinerja bendungan ciawi dan sukamahi" tesis. program studi magister teknik pengelolaan bencana alam, DTSL FT UGM
- HEC-HMS User's Manual. (2016). Davis, CA: US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center.
- Islami, F.A. (2021). Pemodelan hidrologi menggunakan HEC-HMS. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas).
- Jabbar, F. K., Hamzah, F. M., & Al-Ansari, N. (2021). Rainfall-runoff modelling using HEC-HMS and GIS techniques for flood risk assessment. *Water*, 13(21), 3067. <https://doi.org/10.3390/w13213067>
- Kumar, R., Singh, R. D., & Sharma, K. D. (2020). Regional water resources assessment using GIS-based hydrological modelling approaches. *Hydrology Research*, 51(4), 736–752. <https://doi.org/10.2166/nh.2020.210>
- Linsley, R.K., Kohler, M.A. and Paulus, J.L.H., 1982, Hydrology for Engineers, McGraw Hill, New York.
- Natarajan, S., Radhakrishnan, N., & Prasanna, V. (2022). Evaluation of SCS-CN method and HEC-HMS model for rainfall-runoff estimation under changing land use conditions. *Arabian Journal of Geosciences*, 15, 1584. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10800-7>
- Nourani, V., Elkiran, G., & Abba, S. I. (2020). Hydrological modelling approaches for rainfall-runoff simulation: A review. *Journal of Hydrology*, 588, 125060. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125060>
- Patil, S. D., & Stieglitz, M. (2021). Controls on hydrologic response and runoff generation in watershed systems. *Water Resources Research*, 57(8), e2020WR029351. <https://doi.org/10.1029/2020WR029351>

- Rana, A., Sahu, N., & Behera, M. D. (2023). Watershed characterization and rainfall-runoff simulation using remote sensing, GIS and hydrological modelling. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, 1037. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11735-8>
- Risyanto. 2007. *Aplikasi HEC – HMS untuk Perkiraan Hidrograf Aliran di DAS Ciliwung Bagian Hulu* [skripsi]. Bogor : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor.
- Saha, S., Roy, P., & Chakraborty, S. (2021). Application of SCS-CN method integrated with GIS for runoff estimation and watershed prioritization. *Sustainability*, 13(19), 10955. <https://doi.org/10.3390/su131910955>
- Sarminingsih, A., & Rezagama, A. (2021). Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for watershed analysis. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 7(3), 279–290. <https://doi.org/10.22146/jcef.64782>
- SCS (1972). Section 4: Hydrology, Soil Conservation Service. USDA, Washington DC.
- Sosrodarsono, S., & Takeda, K. (2006). *Hidrologi untuk Pengairan. Pradnya Paramita. Straub, J. T, dan R. F. Attner. 1994. Introduction to Business. 5th Edition.* California: International Thomson Publishing.
- Sudarmin Muh Azwin. (2017). *Analisis Debit Banjir Rancangan dan Kapasitas Pelimpah Bendungan Way Yori. Tugas Akhir.* Universitas Hasanuddin. Makassar
- Suripin. (2020). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. Jakarta: Erlangga. Triatmodjo, B., 2013, Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta.
- USACE. 2000. *Geospatial Hydrologic Modelling Extension HEC GeoHMS Users Manual*. Juli 2000. <http://www.hec.usace.army.mil>
- USACE. 2000. Hydrologic Modelling System HEC HMS Technical Reference Manual. Maret 2000. <http://www.hec.usace.army.mil>
- USACE. 2002. Hydrologic Modelling System HEC HMS Applications Guide. Desember 2002. <http://www.hec.usace.army.mil>
- WANIELISTA, Martin; KERSTEN,, Robert; EAGLIN,, Ron. "Hydrology: water quantity and quality control". : John Wiley & Sons, Inc., 1997. Buku.
- Zhang, L., Wang, X., Chen, D., & Liu, M. (2023). Effects of impervious surface expansion on watershed runoff response and flood characteristics. *Sustainable Cities and Society*, 92, 104491. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104491>