

Estimasi Sebaran Genangan Banjir Menggunakan Model Hidrologi - Hidrolika di Sub DAS Cikamiri

Estimates of flood spread using the Hydrology - Hydraulic model in the Cikamiri Sub-watershed

Yogina Lestrari Ayu Situmorang*, Nabilla Amalia, Chay Asdak

Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Sumedang 45363, Indonesia

*E-mail: yogina.ayu@unpad.ac.id

Diterima: 29 April 2025; Disetujui: 16 Desember 2025

ABSTRAK

Dalam pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) analisis hidrodinamika DAS merupakan bagian penting dari upaya mitigasi kebencanaan dan manajemen risiko banjir. Sub Das Cikamiri termasuk dalam DAS bagian hulu Sungai Cimanuk yang memiliki peran dalam pengendalian bencana hidrometeorologi. Namun studi terkait pemodelan Banjir menggunakan model integrasi hidrologi - hidrolika pada area DAS ini belum pernah dilakukan. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah memproyeksikan potensi sebaran genangan banjir di Area Sub DAS Cikamiri meliputi luasan genangan di setiap Desa dan kedalaman genangannya. Adapun simulasi hidrologi dianalisis pada debit rancangan *return period* 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun. Metode pada penelitian ini terdapat dua tahapan yaitu analisis hidrologi dilakukan untuk mengetahui debit rancangan menggunakan metode SCS-CN. Selanjutnya yaitu analisis hidrolika dengan menggunakan bantuan *software* HEC-RAS. Pemodelan terdiri dari 3 tahap yaitu *pre-processing*, *running* model HEC-RAS, dan *post-processing*. Dalam analisis hidrologi diperoleh hasil simulasi model dengan data debit observasi diperoleh nilai NSE sebesar 0.856 yang artinya keakuratan model simulasi sangat memuaskan. Pada model hidrolika menunjukkan potensi banjir yang berdampak pada 12 Desa. Estimasi kedalaman serta luasan wilayah terdampak paling besar terjadi pada Desa Sirnasari yang terletak pada bagian hilir Sub DAS Cikamiri dengan luas genangan rata-rata sebesar 3.52 ha dengan kedalaman yang meningkat 0.1 – 0.3 m serta luas banjir yang meningkat 0.07 – 0.40 ha seiring dengan bertambahnya periode ulang debit.

Kata kunci: Mitigasi Banjir; Periode ulang debit; Pemodelan hidrologi-hidrolika; HEC-RAS; Sub DAS Cikamiri

ABSTRACT

In watershed management, hydrodynamic analysis is an important part of disaster mitigation and flood risk management. The Cikamiri Sub-watershed is part of the upstream Cimanuk River watershed, which plays a role in controlling hydrometeorological disasters. However, no studies have been conducted on flood modeling using integrated hydrology-hydraulic models in this watershed area. The purpose of this study is to project the potential distribution of flood inundation in the Cikamiri Sub-watershed area, including the area of inundation in each village and its depth. The hydrological simulation was analyzed at design discharges with return periods of 5, 10, 20, 50, and 100 years. The method in this study consists of two stages: hydrological analysis to determine the design discharge using the SCS-CN method, followed by hydraulic analysis using the HEC-RAS software. The modeling consists of three stages: pre-processing, running the HEC-RAS model, and post-processing. The model results indicate the potential for flooding affecting 12 villages. The estimated depth and impacted areas are greatest in Sirnasari Village, which is located in the downstream area of the Cikamiri Sub-watershed. The average inundation area is approximately 3.52 hectares, with depths increasing by 0.1 – 0.3 meters and the flood extent expanding by 0.07 – 0.40 hectares as the discharge recurrence period increases.

Keywords: Flood mitigation; return period; hydrology-hydraulic modelling; HEC-RAS; cikamiri watershed

PENDAHULUAN

Fenomena banjir kini menjadi salah satu bencana hidrometeorologis paling sering terjadi di dunia dan berdampak luas terhadap aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan. Secara global, frekuensi banjir menunjukkan tren peningkatan dalam dua dekade terakhir, seiring dengan intensifikasi hujan ekstrem akibat perubahan iklim serta meningkatnya tekanan antropogenik terhadap tata guna lahan (Chen dkk., 2023). Di berbagai wilayah Asia Tenggara, Afrika, dan Amerika Selatan, banjir tidak hanya menimbulkan kerugian ekonomi langsung, tetapi juga mengganggu mata pencaharian masyarakat, merusak infrastruktur, serta mengancam ketahanan pangan lokal dan nasional (Rogers dkk., 2025). Dampak tersebut menjadi semakin kompleks pada wilayah yang memiliki ketergantungan tinggi terhadap

sektor pertanian, terutama lahan pertanian di sekitar daerah aliran sungai.

Pemodelan dinamika banjir secara komprehensif berdasarkan analisis hidrologi dan hidrolika menjadi sangat penting karena dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam merumuskan strategi mitigasi dan desain struktur pengendali banjir. Model hidrologi digunakan untuk menganalisis respon suatu DAS terhadap hujan melalui proses transformasi hujan-menjadi-debit, sedangkan model hidrolika digunakan untuk mengevaluasi perilaku aliran banjir di sepanjang alur sungai, termasuk kapasitas alur, profil muka air, dan potensi limpasan melampaui tebing sungai (Guido dkk., 2023). Penggunaan pendekatan hidrologi-hidrolika membantu visualisasi secara spasial dan temporal risiko banjir yang tidak hanya berhenti pada angka debit

puncak, tetapi juga menunjukkan sebaran genangan dan kedalaman air pada wilayah terdampak. Oleh karena itu, integrasi analisis hidrologi-hidrolika menjadi pendekatan strategis dalam mendukung pengambilan keputusan teknis dan perencanaan penataan ruang berbasis mitigasi banjir.

Dalam pemodelan hidrologi, perangkat lunak HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) telah terbukti mampu mensimulasikan proses hujan-aliran secara representatif pada berbagai kondisi geografis DAS (Romadhoniastri dkk., 2022). Model ini banyak digunakan untuk mengestimasi debit banjir rancangan karena dapat mengakomodasi berbagai metode kehilangan hujan (loss), transformasi debit, dan routing aliran. Perangkat lunak ini juga melakukan kalibrasi parameter terhadap estimasi debit yang mendekati kondisi lapangan. Sementara itu, HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) merupakan model hidrolika yang memungkinkan simulasi profil muka air dan penyebaran genangan banjir secara spasial. Aplikasi HEC-RAS memberikan gambaran detail mengenai kapasitas alur sungai, zona limpasan, kedalaman genangan, dan kecepatan aliran banjir (Wigati dkk., 2016). Dengan demikian, kombinasi HEC-HMS dan HEC-RAS memberikan pendekatan integratif yang kuat untuk analisis banjir berbasis data dan spasial.

Sub DAS Cikamiri, sebagai bagian dari sistem hidrologi di wilayah hulu DAS Cimanuk, memiliki karakteristik fisik yang menjadikannya rentan terhadap banjir. Bagian hulu hingga tengah sub-DAS ini didominasi oleh topografi curam berpotensi mempercepat aliran permukaan dan memperpendek waktu konsentrasi, sehingga debit puncak terbentuk dalam waktu singkat setelah kejadian hujan. Di sisi lain, wilayah hilir telah mengalami perubahan tata guna lahan akibat pengembangan pemukiman dan lahan pertanian. Perubahan ini tentu saja mengurangi area resapan dan menambah tekanan terhadap sistem drainase alami. Secara historis, kawasan hilir Sub DAS Cikamiri pernah mengalami kejadian banjir bandang. Kondisi ini menambah risiko serius terhadap permukiman, infrastruktur, serta produktivitas lahan pertanian yang menopang ketahanan pangan masyarakat.

Meskipun penelitian DAS Cimanuk telah banyak dikaji, hingga saat ini belum terdapat studi yang secara spesifik menganalisis risiko banjir menggunakan integrasi pemodelan hidrologi dan hidrolika berbasis spasial di Sub DAS Cimanuk salah satunya Sub DAS Cikamiri. Pemahaman terhadap pola aliran dan sebaran genangan dalam batas wilayah desa sangat penting dikembangkan. Hal ini dapat digunakan sebagai dasar dalam menyusun rekomendasi teknis pengendalian banjir berbasis wilayah dan ketahanan setiap desa terhadap bencana Banjir. Oleh karena itu artikel ini bertujuan untuk memproyeksikan potensi sebaran genangan banjir di Area Sub DAS Cikamiri dengan menggunakan pendekatan analisis hidrologi dan hidrolika yang meliputi luasan genangan di setiap Desa beserta kedalaman genangannya. Hasil dari penelitian dapat digunakan sebagai dasar penilaian risiko dalam pengelolaan Daerah Aliran Sungai serta menjadi bahan evaluasi tata kelola DAS yang adaptif terhadap perubahan iklim dan tekanan perubahan tata guna lahan.

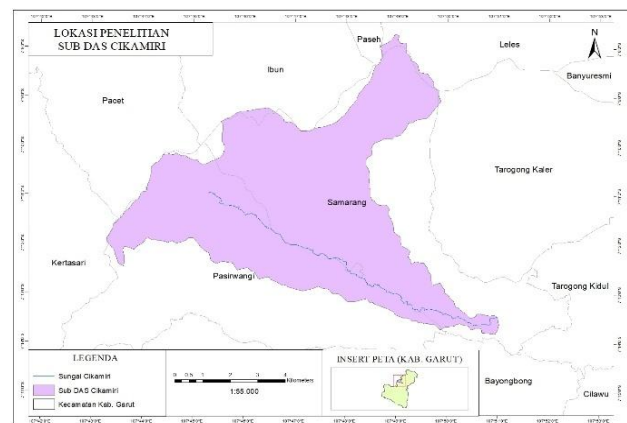
METODOLOGI

Lokasi dan Data Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Sub DAS Cikamiri, Kabupaten Garut, Jawa Barat, dengan luas area penelitian ± 6144.8 Ha tersaji pada Gambar 1. Adapun data yang digunakan dalam analisis seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data informasi DAS Cikamiri

No	Data	Keterangan	Sumber
1	Digital Elevation Model (DEM)	Resolusi 8,3 × 8,3 m	https://tanahair.indonesia.go.id/
2	Curah Hujan	Tahun 2013–2022 dari 3 stasiun Hujan	UPTD PSDA Jawa Barat
3	Data Debit	Tahun 2013–2022	UPTD PSDA Jawa Barat
4	Peta Jenis tanah	Hydrologic Soil Groups	Bappeda Jawa Barat
5	Peta tutupan lahan	Resolusi 10 m	UPTD PSDA Jawa Barat
6	Peta batas administrasi desa	Skala 1:50.000	https://geoservices.big.go.id/portal/



Gambar 2. Lokasi penelitian

Delineasi DAS

Delineasi batas Sub DAS Cikamiri dilakukan menggunakan data DEM yang diurutkan sesuai data ketinggian dalam Peta RBI seperti pada Gambar 2. Proses deliniasi dilakukan pada *software GIS* dengan melakukan analisis terrain processing terlebih dahulu, setelah itu dilanjutkan *input* posisi *outlet* untuk mendelineasi secara otomatis (Listyarini dkk., 2018).

Setup Model Hidrologi HEC-HMS

Model HEC-HMS disusun dalam tiga komponen utama (Listyarini dkk., 2018), yaitu seperti pada Tabel 2.

Analisis curah hujan wilayah dilakukan menggunakan metode *Polygon thiessen* dengan tiga titik stasiun curah hujan, untuk perhitungan metode ini tersaji dalam persamaan (1) (Wulandari & Soebagio, 2020). Kemudian dilakukan analisis frekuensi dengan metode normal dan menghitung distribusi hujan jam-jaman dengan metode ABM.

$$\bar{R} = \frac{Ra.Aa + Rb.Ab + Rc.Ac + \dots Rn.dn}{A_{total}} \quad (1)$$

Keterangan:

Ra, Rb, Rc = Tinggi curah hujan pada masing-masing stasiun;

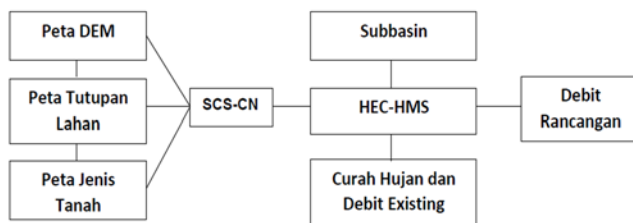
Aa, Ab, Ac = Luas daerah yang dipengaruhi stasiun;

A_{total} = Luas daerah total; dan

$\bar{R}$ = Tinggi curah hujan rata-rata.

Tabel 2. Komponen input model hidrologi

Komponen	Metode	Tujuan
Loss/Infiltrasi	SCS-CN (Soil Conservation Service (SCS), 1972)	Mengestimasi kehilangan awal (Ia) dan volume limpasan berdasarkan kombinasi jenis tanah dan tutupan lahan
Transformasi Limpasan	SCS Unit Hydrograph (Soil Conservation Service (SCS), 1972)	Mengkonversi limpasan langsung menjadi hidrograf debit
Baseflow	Metode Resesi (USACE, 2018)	Menggambarkan kontribusi aliran dasar selama kejadian banjir



Gambar 2. Bagan alir HEC-HMS

Parameterisasi Hec-HMS memiliki tiga tahapan komponen, yakni *loss*, *transform* dan *baseflow* (Listyarini dkk., 2018). Komponen *loss* dalam penelitian ini dihitung menggunakan metode SCS-CN yang terdapat tiga parameter, diantaranya *initial abstraction*, nilai *Curve Number* dan nilai *Impervious*. Perhitungan *initial abstraction* tersaji dalam persamaan (2)

$$Ia = 0.2 \times S \quad (2)$$

$$CN = \frac{\sum A \times CN}{\sum A} \quad (3)$$

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} \quad (4)$$

Keterangan:

Ia = *Initial abstraction*

S = Kemampuan penyimpanan maksimum

CN = *Curve Number* (Ilya DT dkk., 2021)

A = *Luas setiap tutupan lahan (Ha)*

Sedangkan untuk komponen transform terdapat parameter waktu tenggang atau *time lag* yang dihasilkan dengan metode SCS Unit Hydrograph. Rumus dari perhitungan *time lag* tersaji dalam persamaan (5).

$$Tc = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1140y^{0.5}} \quad (5)$$

$$T_{Lag} = 0,6 \times Tc \quad (6)$$

L = Panjang Aliran Terpanjang di DAS (feet)

y = Rata-rata Kemiringan Lahan di DAS (%)

S = Potensi Retensi Maksimum = $\frac{1000}{CN} - 10$

Terakhir, komponen *baseflow* yang menggambarkan aliran dasar pada saat limpasan terjadi. Metode *baseflow* yang digunakan adalah *recession*, parameter yang digunakan pada metode ini berupa debit awal (*initial discharge*), konstanta resesi (*recession constant*) dan *ratio to peak* (Listyarini dkk., 2018). Bagan alir proses dari HEC-HMS ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Kalibrasi dan Validasi Model HEC-HMS

Penerapan model hidrologi yang berhasil pada DAS tergantung seberapa baik kalibrasi model dan kemampuan teknis model hidrologi serta kualitas data input pada model (Choudhari dkk., 2014 dalam (Listyarini dkk., 2018). Metode statistik pada proses kalibrasi ini menggunakan metode Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) yang kemudian dievaluasi berdasarkan Tabel 3.

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs,i}) \sum_{i=1}^n (Q_{mod,i} - \bar{Q}_{mod,i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs,i})^2 \sum_{i=1}^n (Q_{mod,i} - \bar{Q}_{mod,i})^2}} \right)^2 \quad (7)$$

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{mod,i} - \bar{Q}_{mod,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs,i})^2} \right] \quad (8)$$

Keterangan:

Qobs = Parameter model hasil pengukuran lapang (m^3/s)

Qmod = Parameter model hasil simulasi model (m^3/s)

$\bar{Q}_{obs}$ = Parameter model hasil pengukuran lapang rata-rata (m^3/s)

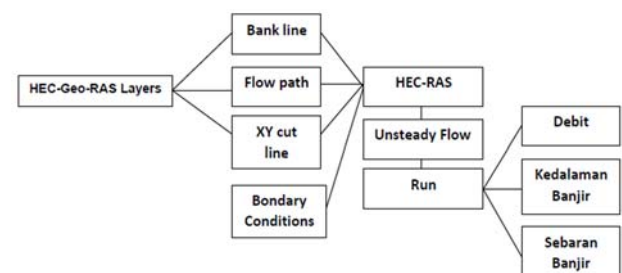
$\bar{Q}_{mod}$ = Parameter model hasil simulasi lapang rata-rata (m^3/s)

Analisis Hidrolika Menggunakan HEC-RAS

Analisis hidrolika pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan HEC-RAS 2D. Pemodelan 2D memungkinkan menghasilkan keluaran seperti peta kedalaman air dan sebaran area tergenang secara spasial (Vashist & Singh, 2023). Langkah awal yang dilakukan ialah memodelkan geometri sungai di RAS Mapper dengan peta DEM. Kemudian membuat *cross section* sesuai Panjang aliran sungai Cikamiri. Selanjutnya, menentukan kondisi batas atau *boundary condition* pada bagian hulu yang merupakan input debit sungai, serta bagian hilir yang merupakan input tinggi muka air sungai Cikamiri. Terakhir digunakan analisis unsteady flow untuk memperoleh daerah genangan banjir yang terjadi di Sub DAS Cikamiri (Sardana dkk., 2023).

Tabel 3. Klasifikasi model NSE (D. N. Moriasi dkk., 2007)

Klasifikasi	NSE
Sangat Baik	$0,80 < NSE \leq 1,00$
Baik	$0,70 < NSE \leq 0,80$
Memuaskan	$0,50 < NSE \leq 0,70$
Tidak Memuaskan	$NSE \leq 0,50$



Gambar 3. Bagan Air HEC-RAS

$$Y_1 + \frac{a1V1^2}{2g} + Z_1 = Y_2 + \frac{a2V2^2}{2g} + Z_2 + h_e \quad (9)$$

Keterangan:

Z1, Z2 = Elevasi dasar saluran (m)
 Y1, Y2 = Kedalaman air pada penampang melintang (m)
 V1, V2 = Kecepatan rata-rata (jumlah debit/luas daerah aliran) (m/s)
 a1, a2 = Koefisien pembobotan kecepatan
 g = percepatan gravitasi (m/s²)
 h_e = Energi head loss (m)

$$h_e = L \cdot S_f + C \left[\frac{a1V1^2}{2g} + \frac{a2V2^2}{2g} \right] \quad (10)$$

Keterangan:

L = Panjang ruas sungai antara dua penampang yang diberi bobot menurut debit
 S_f = *representative friction slope* antara kedua tampang
 C = koefisien kehilangan energi akibat perubahan penampang (kontraksi atau ekspansi).

Kemudian, dalam memodelkan hidrolika pada HEC-RAS dibutuhkan kondisi batas untuk hulu dan hilir, karena diperlukan untuk menentukan kedalaman air yang ada di hulu dan hilir Sub DAS. Bagian hulu diisikan dengan debit dan bagian hilir diisikan dengan kemiringan saluran. Proses pada HEC-RAS ini dapat dilihat dalam bagan alir yang tersaji di Gambar 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

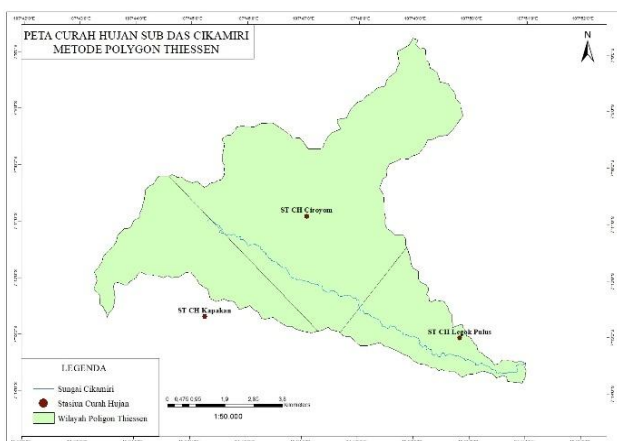
Penentuan Curah Hujan Kawasan

Penentuan curah hujan Kawasan Sub DAS Cikamiri ditentukan dengan menggunakan metode *polygon thiessen* dengan bantuan program GIS seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4. Hasil menunjukan Sub DAS Cikamiri memiliki 3 stasiun curah hujan yaitu Stasiun Kapakan, Ciroyom dan Legok Pulus. Hasil pemetaan diperoleh luasan Sub DAS Cikamiri adalah 6144.8 Ha.

Tiga stasiun curah hujan ini memiliki luasan yang berbeda. Rincian luasan untuk setiap stasiun curah hujan di Sub DAS Cikamiri tersaji dalam Tabel 4.

Hujan Rancangan

Hujan rancangan dihitung menggunakan analisis frekuensi berdasarkan data curah hujan harian maksimum selama 10 tahun (2013 – 2022) seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5. Data hujan tersebut diperoleh dengan perhitungan menggunakan metode *polygon thiessen*.



Gambar 4. Peta curah hujan Sub DAS Cikamiri metode *polygon thiessen*

Tabel 4. Luasan area pada setiap stasiun curah hujan di Sub DAS Cikamiri

Stasiun Curah Hujan	Luas (Km ²)
Kapakan	13.6344
Legok Pulus	9.7230
Ciroyom	38.0913
Total	61.4487

Tabel 5. Curah hujan harian maksimum terukur dengan *polygon thiessen*

Tahun	Hujan rerata
2013	166.720
2014	90.296
2015	128.106
2016	93.435
2017	164.031
2018	104.483
2019	189.742
2020	124.357
2021	87.175
2022	171.901

Analisis distribusi frekuensi digunakan untuk menentukan jenis sebaran curah hujan, yang dilakukan dengan berbagai model distribusi untuk menemukan sebaran yang sesuai dengan data yang ada. Hasil dari model distribusi dapat dilihat pada Tabel 6.

Berdasarkan hasil pada Tabel 6, distribusi Normal dipilih karena memiliki nilai deviasi dan X^2 yang paling rendah secara konsisten, serta mampu merepresentasikan data yang cenderung simetris. Metode ini mengasumsikan bahwa data curah hujan mengikuti distribusi normal, di mana sebagian besar kejadian berada di sekitar rata-rata, tetapi kejadian yang lebih ekstrem (baik hujan sangat tinggi atau sangat rendah) jarang terjadi (Chow, Ven Te, Maidment, David R., and Mays, 1988). Nilai curah hujan selama periode ulang menggunakan distribusi Normal tersaji pada Tabel 7.

Intensitas Hujan Rancangan

Intensitas hujan rancangan untuk periode ulang 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun didistribusikan menjadi hujan jam-jaman menggunakan *Alternating Block Method* (ABM) seperti pada Tabel 8. Metode ABM digunakan karena data curah hujan jam-jaman tidak tersedia di lokasi penelitian dan dinilai cukup representatif untuk menggambarkan pola hujan alami (Pratiwi & Satria Negara, 2023).

Analisis Hidrologi

- Curve Number

Kondisi hidrologi pada suatu daerah aliran sungai (DAS) dapat dimodelkan dengan menghubungkan karakteristik fisik lahan meliputi jenis penggunaan lahan dan kondisi tanah, melalui pendekatan *Curve Number* (CN). Nilai CN diperoleh berdasarkan kombinasi antara jenis tutupan lahan dan kelompok tanah hidrologi di wilayah penelitian (Ilya DT dkk., 2021). Informasi tersebut disajikan dalam Gambar 3.

Nilai CN yang dihasilkan selanjutnya digunakan untuk menghitung besarnya limpasan permukaan dan debit banjir rancangan pada tahap pemodelan hidrologi pada setiap kelas lahan di Sub DAS Cikamiri. Rincian nilai CN komposit diberikan dalam Tabel 9.

Tabel 6. Analisis frekuensi

Distribusi	Δ Peluang Maks	χ^2
Normal	0.16	2.0 < 5.991
Gumbel	0.15	1.0 < 5.991
Log Normal	0.171	5.0 < 5.991
Log Pearson III	0.169	8.0 > 5.991

Tabel 7. Curah hujan harian maksimum terukur dengan *polygon thiessen* (mm/hari)

Periode ulang (tahun)	Curah Hujan (mm)	Metode
5	458.948	Normal
10	502.491	
20	538.116	
50	578.690	
100	606.400	

Tabel 8. Hujan rancangan (mm/jam)

Durasi t (jam)	Periode Ulang, T (tahun)				
	5	10	20	50	100
1	22.987	25.168	26.952	28.984	30.372
2	29.408	32.198	34.481	37.081	38.856
3	43.744	47.894	51.290	55.157	57.798
4	239.919	262.681	281.305	302.515	317.000
5	62.360	68.276	73.117	78.630	82.395
6	34.825	38.129	40.832	43.911	46.013
7	25.706	28.145	30.140	32.413	33.965

Tabel 9. Rincian tutupan lahan dan nilai CN

Tutupan Lahan	Luas A (Ha)	CN	$A \times CN$	% <i>Imperviousness</i>	$A \times \%imp$
Hutan Kering	1427.2	86	122739.2	5	7136
Tegalan /Ladang	2153.3	89	191643.7	5	10766.5
Perkebunan / Kebun	220.5	82	18081	5	1102.5
Permukiman dan Tempat Kegiatan	457.7	87	39819.9	30	13731
Sawah	821.6	81	66549.6	5	4108
Sawah Tadah Hujan	780.9	91	71061.9	5	3904.5
Semak Belukar / Alang Alang	283.6	83	23538.8	5	1418
Total	6144.8		53343.1		4216.5

Perhitungan CN komposit dilakukan menggunakan Persamaan (3), yang mempertimbangkan proporsi luas setiap jenis tutupan lahan terhadap total luas Sub DAS. Perolehan nilai CN komposit sebesar 86,811 menunjukkan bahwa kemampuan infiltrasi lahan di Sub-DAS Cikamiri tergolong rendah, sehingga sebagian besar curah hujan yang jatuh cenderung menjadi limpasan permukaan dibandingkan meresap ke dalam tanah. Temuan ini sejalan dengan studi (Bashar & Uddin, 2025), yang menunjukkan bahwa variasi tutupan lahan berhubungan dengan penurunan infiltrasi dan peningkatan limpasan dalam model SCS-CN. Analisis terkait nilai CN di DAS Juana menemukan bahwa peningkatan nilai CN berbanding lurus dengan peningkatan debit banjir (Komara dkk., 2025) (Wu dkk., 2024). Dengan meningkatnya debit banjir juga memperkuat indikasi bahwa CN tinggi maka potensi risiko banjir juga tinggi. Nilai CN yang tinggi di Sub Das Cikamiri diakibatkan oleh beberapa kombinasi tutupan lahan tegalan dan semak yang mendominasi hingga 40% dari luasan DAS sudah cukup untuk membuat CN ke nilai tinggi. Demikian halnya

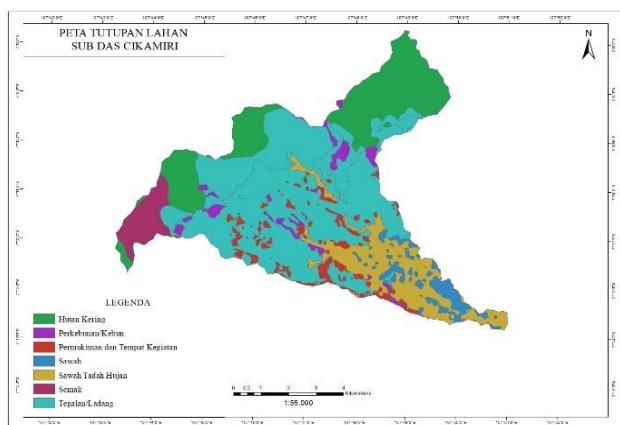
luas sawah dan sawah tadah hujan yang cukup besar menjadikan tanah cenderung padat dan sulit menyerap air.

- Initial Abstraction

Nilai I_a dapat dipengaruhi oleh nilai retensi maksimum. Hasil perhitungan I_a dengan persamaan (2) di Sub DAS Cikamiri diperoleh nilai I_a sebesar 7.189 mm. Nilai ini menunjukkan bahwa hanya sekitar 7 mm hujan awal yang dapat ditahan oleh permukaan DAS melalui intersepsi, infiltrasi awal, dan penyimpanan depresi sebelum limpasan permukaan mulai terbentuk. Nilai I_a tergolong rendah berbanding lurus dengan CN komposit tinggi, yang menyebabkan limpasan permukaan terbentuk lebih cepat karena kapasitas penyimpanan tanah yg terbatas baik saat kejadian hujan intensitas sedang maupun tinggi (Shi dkk., 2009).

- Impervious

Perhitungan nilai *impervious* berdasarkan jenis tutupan lahan untuk mengetahui besaran koefisien limpasan. Hasil perhitungan nilai *impervious* di Sub DAS Cikamiri diperoleh nilai *Impervious* sebesar 6.189%, seperti yang tersaji pada Tabel 10



Gambar 5. Peta tutupan lahan Sub DAS Cikamiri

Tabel 10. Nilai koefisien aliran % impervious

Tutupan Lahan	Impervious (%)
Badan Air	100
Hutan	5
Lahan Terbuka	5
Pemukiman	30
Perkebunan	5
Pertanian	5
Sawah	5

- Time Lag

Nilai *time lag* dipengaruhi oleh panjang sungai, kemiringan sungai dan retensi maksimum. Dari hasil perhitungan nilai *time lag* di Sub DAS Cikamiri berdasarkan persamaan (6) diperoleh nilai *time lag* sebesar 673.305 menit. Dengan *time lag* yang panjang di mana limpasan permukaan membutuhkan lebih dari 11 jam untuk mencapai debit puncak di outlet, menjadi banjir tidak langsung terjadi sesaat setelah hujan ekstrem.

Model Hidrologi Terkalibrasi

Langkah mengkalibrasi dan validasi model hidrologi perlu dilakukan agar memperoleh model yang sesuai dengan kondisi lapangan. Kalibrasi dilakukan dengan menaikkan dan menurunkan beberapa parameter yang mempengaruhi perubahan nilai Nash. Gambar 6 menunjukkan grafik kalibrasi HEC-HMS. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) diperoleh sebesar 0,856, yang mana model yang dilakukan termasuk dalam kategori sangat baik menurut kriteria (D. N. Moriasi dkk., 2007) pada Tabel 3. Nilai NSE > 0,75 juga menunjukkan bahwa model HEC-HMS yang telah dikalibrasi mampu merepresentasikan kondisi hidrologi Sub DAS Cikamiri dengan baik.

Hidrograf yang telah tervalidasi selanjutnya digunakan sebagai salah satu parameter input dalam analisis hidrolika dalam memodelkan distribusi aliran dan potensi genangan. Hasil perhitungan debit rancangan untuk berbagai periode ulang, sebagaimana disajikan pada Gambar 7, menggambarkan peningkatan debit puncak seiring bertambahnya periode ulang. Pola peningkatan ini memberikan dasar penting dalam penentuan skala bahaya banjir dan menjadi acuan utama untuk pemodelan genangan, serta evaluasi efektivitas mitigasi pada Sub-DAS Cikamiri.

Debit Banjir Rancangan

Hasil yang diperoleh menunjukkan, bahwa bertambahnya periode ulang berbanding lurus dengan meningkatnya debit puncak (Chow, Ven Te, Maidment, David R., and Mays, 1988). Hal ini dikarenakan periode

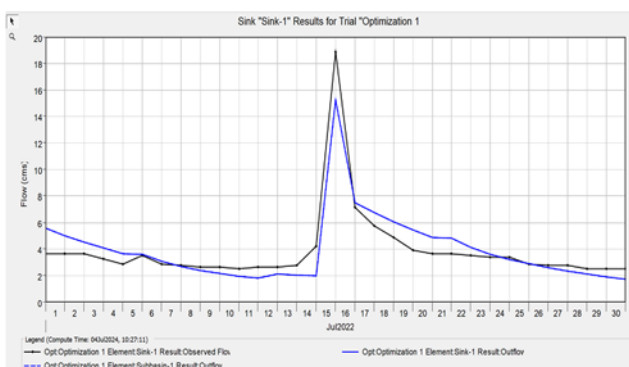
ulang merupakan rata-rata dari periode waktu kembalinya suatu kejadian ataupun peristiwa yang mempunyai nilai sama atau lebih besar.

Analisis Hidrolika

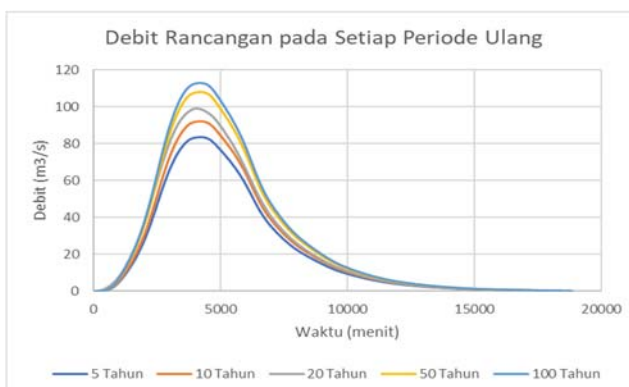
Model hidrolika dikembangkan menggunakan HEC-RAS 2D dalam mensimulasikan kedalaman genangan banjir, kecepatan aliran, dan elevasi muka air di sepanjang permukaan topografi Sungai Cikamiri berdasarkan hidrograf banjir rancangan. Setelah langkah awal dalam analisis hidrolika adalah penyiapan data geometri, yang merepresentasikan konfigurasi fisik dari sistem Sungai seperti pada Gambar 5. Data geometri ini menjadi komponen penting dalam pemodelan banjir karena mendefinisikan trase sungai, penampang melintang (*cross-section*), garis tebing (*bank line*), serta batas dataran banjir (*floodplain boundary*).

Simulasi aliran tak permanen (*unsteady-flow simulation*) digunakan pada penelitian untuk menangkap variasi temporal pergerakan air banjir. Pada hasil diperoleh keluaran berupa sebaran genangan, kedalaman genangan serta kecepatan aliran yang kemudian digunakan untuk menghasilkan peta sebaran genangan banjir serta menganalisis perilaku hidrolika aliran Sungai Cikamiri pada bagian hulu, Tengah dan hilir (Gambar 8).

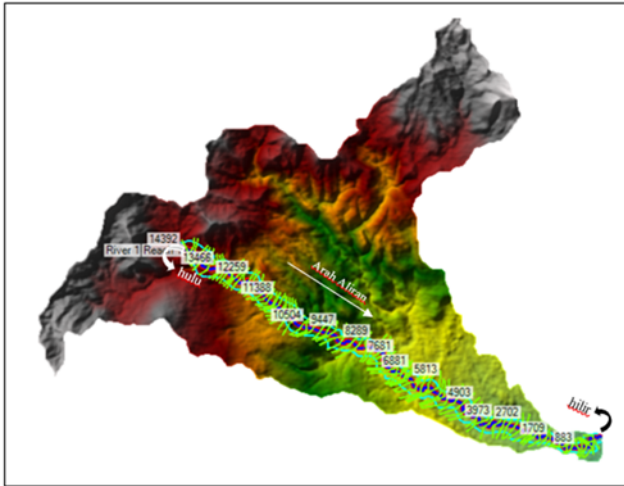
Luaran dari model HEC-RAS pada simulasi aliran tak permanen menghasilkan peta distribusi genangan banjir (Gambar 9) serta profil muka air pada setiap penampang melintang sungai. Profil muka air tersebut ditampilkan dalam model dua dimensi dengan berbagai periode ulang yaitu 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun. Peningkatan debit pada setiap periode ulang akan memengaruhi tinggi muka air sepanjang alur sungai dan memperluas area genangan. Selain itu, kedalaman aliran turut menentukan sebaran banjir, yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan elevasi dasar sungai. Profil muka air untuk penampang melintang dan penampang memanjang ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11 sesuai debit pada masing-masing periode ulang.



Gambar 6. Grafik hasil kalibrasi HEC-HMS Tahun 2022



Gambar 7. Grafik hidrograf banjir rancangan pada setiap periode ulang



Gambar 8. Skematik geometri Sungai Cikamiri

Hasil simulasi hidrolika menunjukkan pengaruh geometri sungai menjadi pembeda tinggi banjir antara area Hulu (Gambar 10 a) yang dalam, area tengah (Gambar 10 b) dan area hilir (Gambar 10 c). Perubahan topografi dasar sungai tersebut menyebabkan aliran di hulu menjadi lebih dalam namun cepat mengalir akibat kemiringan dasar Sungai yang terjal (Gambar 11) membuat kecepatan aliran menekan bagian Tengah DAS yang relatif dangkal dan melebar. Energi ini membuat distribusi genangan akibat Sungai yang tidak lagi dapat menahan sejumlah air menjadi signifikan di bagian Tengah DAS. Pola ini sejalan dengan berbagai studi terdahulu yang menyatakan bahwa sungai pada bagian hulu umumnya memiliki gradien lebih curam dan penampang lebih dalam sehingga mampu mengalirkan debit besar tanpa meluap. Sebaliknya, bagian hilir DAS cenderung memiliki kemiringan lebih landai, penampang lebih dangkal, dan kecepatan aliran lebih rendah sehingga kapasitas tampungnya berkurang dan risiko limpasan meningkat (Di Baldassarre dkk., 2010) (Teng dkk., 2017). Pada kondisi ini, debit banjir yang berasal dari hulu akan terakumulasi dan kehilangan energi di hilir, sehingga meningkatkan potensi *backwater effect* dan menjadikan wilayah hilir lebih rentan mengalami banjir.

Ketinggian muka air dan kedalaman genangan untuk periode ulang 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun menunjukkan peningkatan rata-rata antara 0,1 hingga 0,3 meter dengan setiap penambahan periode ulang, baik di bagian hulu maupun hilir.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kedalaman banjir meningkat seiring dengan bertambahnya periode ulang. Semakin besar periode ulang yang digunakan, semakin besar pula curah hujan rancangan dan debit puncak yang dihasilkan, sehingga kedalaman genangan juga bertambah. Nilai karakteristik hidrologi per periode ulang disajikan pada Tabel 11.

Hasil analisis karakteristik hidrologi berdasarkan periode ulang menunjukkan adanya peningkatan yang konsisten pada curah hujan rancangan, debit puncak, dan kedalaman banjir seiring bertambahnya periode ulang. Pada periode ulang 5 tahun, curah hujan tercatat sebesar 458,95 mm dengan debit puncak 449,52 m³/s dan kedalaman banjir berkisar antara 0,13–4,53 m. Nilai tersebut terus meningkat hingga periode ulang 100 tahun, di mana curah hujan mencapai 606,40 mm, debit puncak meningkat menjadi 2362,85 m³/s, dan kedalaman banjir berada pada kisaran 0,16–4,62 m. Peningkatan ini menunjukkan hubungan berbanding lurus antara periode ulang dengan besaran hujan ekstrem dan debit rancangan, yang selanjutnya berdampak pada bertambahnya kedalaman genangan.

Meskipun kenaikan kedalaman banjir relatif lebih kecil dibandingkan peningkatan debit, pola ini mengindikasikan keterbatasan kapasitas hidraulik sungai dan dataran disekitarnya dalam menampung aliran pada kejadian dengan periode ulang yang lebih besar.

Selain nilai debit secara umum pada setiap periode ulang, debit sungai juga dipengaruhi oleh anak sungai yang bermuara serta berkontribusi mengirim air ke Sungai Utama. Dalam upaya mitigasi bencana dan konservasi DAS, dapat diawali dengan mengidentifikasi bagian-bagian sungai mana saja yang berkontribusi memberikan debit tertinggi pada sungai utama cikamiri. Data untuk debit di masing-masing anak sungai Cikamiri dapat terlihat pada Tabel 12.

Dari hasil simulasi, menunjukkan anak sungai Cikamiri yang memberikan debit tertinggi pada setiap periode ulang adalah sungai Cikatomas, sedangkan untuk sungai yang memberikan debit terendah pada setiap periode ulang adalah sungai Cimulang Cimaling. Sungai Cikatomas dalam hal ini perlu dievaluasi lebih lanjut serta dilakukan pengawasan terkait debit baik dalam kegiatan pencegahan dan pengurangan risiko banjir ataupun pengawasan saat terjadi hujan ekstrim dengan durasi panjang.

Hasil simulasi dan pemetaan genangan banjir menunjukkan bahwa terdapat 12 desa yang berpotensi terdampak banjir, sebagaimana diidentifikasi melalui perangkat lunak pengolah sistem informasi geografis. Sebaran desa terdampak umumnya terkonsentrasi pada bagian tengah hingga hilir DAS, yang memiliki karakteristik topografi relatif datar dan elevasi rendah. Berdasarkan Tabel 13, estimasi rata-rata kedalaman genangan menunjukkan nilai maksimum sebesar 1,14 m di Desa Padaasih yang terletak pada segmen hilir sungai. Wilayah hilir cenderung mengalami genangan lebih dalam karena memiliki kemiringan lahan kecil, sehingga kecepatan aliran menurun dan air lebih mudah meluap ke dataran banjir. Selain faktor topografi, sedimentasi juga berperan penting dalam meningkatkan kerentanan banjir di wilayah hilir. Material sedimen yang terbawa dari bagian hulu dan tengah DAS akan terendapkan di hilir, menyebabkan penyempitan penampang sungai dan penurunan kapasitas aliran, yang pada akhirnya meningkatkan tinggi muka air dan memperluas area genangan (Lihawa, 2017). Kombinasi antara elevasi rendah, kemiringan kecil, dan akumulasi sedimen menjadikan desa-desa di bagian hilir sebagai wilayah dengan potensi banjir paling tinggi dibandingkan desa-desa di bagian hulu (Teng dkk., 2017).

Tabel 11. Karakteristik Hidrologi Sesuai Periode Ulang.

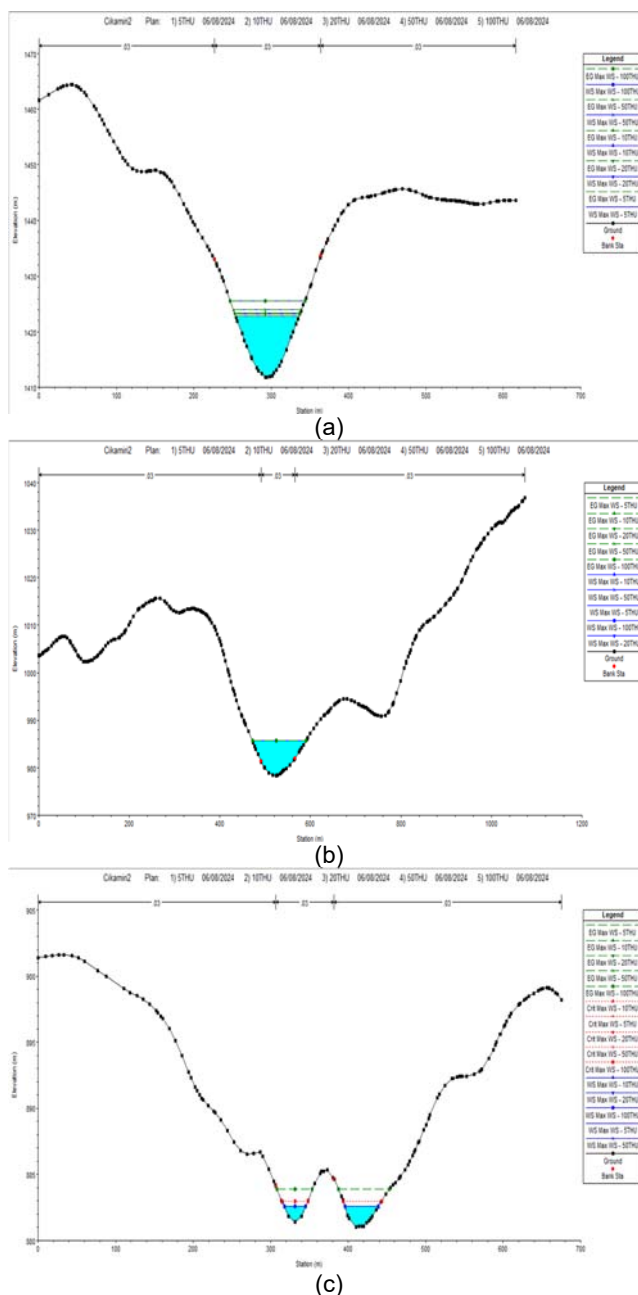
Periode (Tahun)	Jumlah Curah Hujan (mm)	Debit (m ³ /s)	Kedalaman (m)
5	458.95	449.52	0.13 – 4.53
10	502.49	579.65	0.14 – 4.55
20	538.12	860.01	0.15 – 4.58
50	578.69	1735.62	0.16 – 4.60
100	606.40	2362.85	0.16 – 4.62

Tabel 12. Debit Sungai di Sub DAS Cikamiri

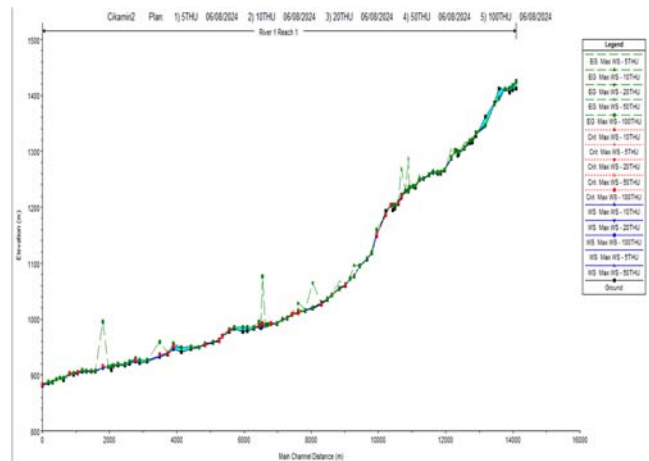
Nama Sungai	Debit (m ³ /s)				
	5	10	20	50	100
Cikatomas	43.45	2.36	10.05	3.86	0
Ciranca	0.24	0	2.72	0	9.67
Cibongkor	0	0	31.45	24.05	0
Citepus	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4
Cimulangci maling	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13



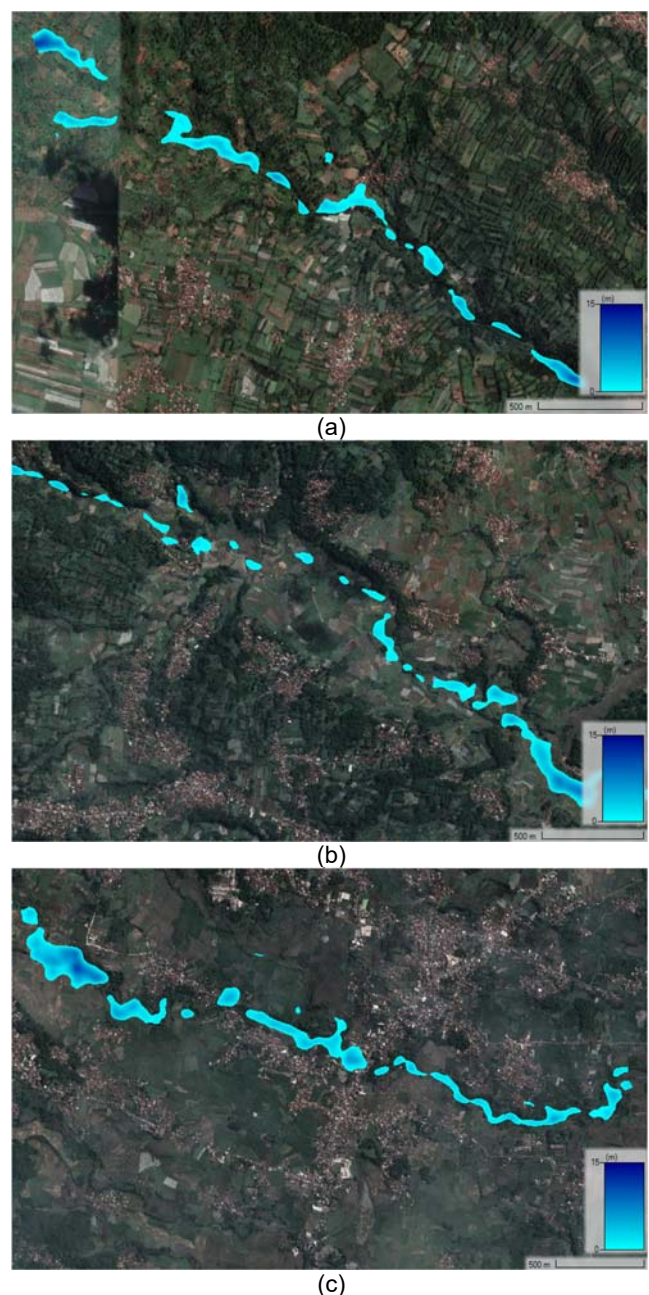
Gambar 9. Kondisi lapangan Sub DAS Cikamiri bagian hulu, tengah dan hilir



Gambar 10. Profil muka air penampang melintang hulu (a), tengah (b) dan hilir (c) dengan debit setiap periode ulang.



Gambar 11. Profil muka air penampang memanjang sungai setiap periode ulang



Gambar 12. Sebaran genangan banjir periode ulang (a) hulu, (b) tengah dan (c) hilir.

Tabel 13. Kedalaman banjir pada masing-masing desa di lingkup Sub DAS Cikamiri

Desa	Kedalaman Rata-rata (m)
Barusari	0.75
Cintaasih	0.65
Cintakarya	0.82
Cisarua	1.12
Padaasih	1.14
Padamulya	0.49
Padasuka	0.84
Parakan	0.27
Pasirwangi	1.00
Sirnasari	0.81
Sukalaksana	0.90
Sukarasa	0.43

Tabel 14. Luas area genangan sesuai periode ulang

No	Desa	Luas Area (Ha)	Luas Area Genangan (Ha)				
			5	10	20	50	100
1	Barusari	710.53	1.63	1.83	2.26	2.22	2.38
2	Cintaasih	67.02	1.24	1.25	1.26	1.31	1.32
3	Cintakarya	28.32	0.21	0.21	0.21	0.21	0.22
4	Cisarua	1269.65	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
5	Padaasih	61.44	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12
6	Padamulya	162.00	1.78	1.78	1.78	1.78	1.80
7	Padasuka	126.31	1.68	1.68	1.68	1.73	1.73
8	Parakan	398.18	1.19	1.24	1.19	1.20	1.24
9	Pasirwangi	331.03	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
10	Sirnasari	128.91	3.51	3.52	3.52	3.52	3.52
11	Sukalaksana	170.35	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14
12	Sukarasa	154.91	0.43	0.44	0.45	0.45	0.46
Total		4467.08	14.12	14.41	14.81	14.88	15.13

Estimasi kedalaman banjir yang terjadi di Sub DAS Cikamiri tidak terlalu dalam, hal ini dikarenakan Sub DAS Cikamiri berada pada hulu DAS Cimanuk. Potensi banjir ini terjadi karena berkurangnya kapasitas pengaliran serta mengecilnya kapasitas penampang sungai akibat sedimentasi dan erosi yang terjadi di daerah hulu yang mengakibatkan peningkatan debit aliran dari tahun ke tahun. Terdapat peningkatan luas genangan seiring dengan bertambahnya periode ulang kejadian banjir. Tabel 14 menunjukkan bahwa luas area sebaran genangan banjir meningkat seiring dengan lamanya kejadian banjir.

Peningkatan luas total estimasi genangan rata-rata sebesar 0.07 – 0.40 ha pada setiap debit periode ulang. Desa Sirnasari memiliki genangan terluas, dengan estimasi luas genangan rata-rata sebesar 3.52 ha pada periode ulang yang berbeda. Besarnya luas genangan pada setiap periode ulang bisa disebabkan karena kondisi topografi yang rendah sehingga dapat lebih berpotensi terjadi genangan (Sholikha dkk., 2022). Desa Sirnasari memiliki presentase tergenang paling besar berdasarkan luas wilayah. Hal ini menunjukkan bahwa dari semua desa, Desa Sirnasari memiliki potensi tergenang banjir tertinggi.

Secara spasial, hasil analisis menunjukkan bahwa desa-desa terdampak banjir terutama terkonsentrasi pada bagian tengah hingga hilir DAS, yang dicirikan oleh elevasi relatif rendah, kemiringan lahan kecil, serta perubahan geometri saluran. Kondisi ini menyebabkan kecepatan aliran menurun, kapasitas alur sungai berkurang, dan air lebih mudah meluap ke dataran banjir. Kedalaman genangan

maksimum yang tercatat di Desa Padaasih mengindikasikan bahwa wilayah hilir berfungsi sebagai zona akumulasi aliran dari hulu dan tengah DAS. Diikuti area genangan paling besar terjadi di Desa Sirnasari. Selain faktor topografi, proses sedimentasi turut memperbesar kerentanan banjir di segmen hilir melalui penyempitan penampang efektif sungai, yang pada akhirnya meningkatkan tinggi muka air pada saat kejadian debit besar. Selain memberikan gambaran spasial wilayah terdampak banjir, hasil pemetaan banjir dalam penelitian ini memiliki implikasi praktis yang penting bagi pengelolaan risiko banjir di tingkat daerah. Informasi sebaran genangan dan kedalaman banjir pada tingkat desa dapat dimanfaatkan oleh BPBD Kabupaten Garut dan pemerintah daerah sebagai dasar dalam penyusunan zonasi risiko banjir, penentuan prioritas penanganan, serta perencanaan tata ruang yang lebih adaptif terhadap bahaya banjir. Peta banjir yang dihasilkan juga berpotensi mendukung pengembangan sistem peringatan dini, penentuan jalur evakuasi, serta penempatan infrastruktur kritis agar terhindar dari area dengan tingkat genangan tinggi, khususnya di bagian hilir DAS yang menunjukkan kerentanan paling besar.

Dari sisi teknis pemodelan, penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis model hidrologi-hidrolika dua dimensi mampu merepresentasikan pola umum genangan banjir dengan baik. Model dapat menangkap dinamika aliran lateral, interaksi aliran sungai-dataran banjir, serta variasi kedalaman genangan secara detail. Namun demikian, tingkat akurasi pada penelitian ini akan pula bertambah jika

didukung dengan resolusi serta akurasi data elevasi (DEM) yang semakin baik pula. Selain itu, perubahan morfologi sungai akibat sedimentasi dan aktivitas manusia belum sepenuhnya terakomodasi secara dinamis dalam model. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat melakukan analisis sedimentasi pada Sungai untuk dapat memprediksi perubahan elevasi dasar Sungai akibat proses pendangkalan. Hal ini menjadi krusial Daerah Aliran Sungai dengan karakteristik topografi berbukit seperti Sub DAS Cikamiri.

Sebagai DAS yang terletak di Hulu, perlu adanya pengolahan tata guna lahan yang baik dan benar supaya dapat mengurangi risiko di Sub DAS Cikamiri. Upaya dalam mengurangi risiko banjir yang terjadi di Sub DAS Cikamiri juga dapat dilakukan dengan cara konservasi. Konservasi tanah vegetatif juga merupakan strategi yang efektif dalam pencegahan banjir. Penanaman vegetasi di atas permukaan tanah dapat berfungsi sebagai penutup tanah yang baik, membantu mengurangi erosi tanah dan mengurangi aliran permukaan yang dapat menyebabkan banjir.

KESIMPULAN

Pemodelan banjir menggunakan HEC-RAS 2D terbukti dapat mengestimasi area dalam batas Wilayah yang berpotensi tergenang banjir di Sub-DAS Cikamiri. Terdapat 12 desa yang memiliki potensi risiko banjir yaitu Desa Barusari, Desa Cintaasih, Desa Cintakarya, Desa Cisarua, Desa Padaasih, Desa Padamulya, Desa Padasuka, Desa Parakan, Desa Pasirwangi, Desa Sirnasari, Desa Sukalaksana, dan Desa Sukarasa. Adapun demikian dampak terbesar terjadi di Desa Sirnasari dengan rata-rata luas genangan 3,52 ha, dengan peningkatan kedalaman 0,1–0,3 m, dan peningkatan luasan genangan sebesar 0,07–0,40 ha bertingkat seiring bertambahnya periode ulang debit banjir.

Temuan penelitian ini memiliki implikasi praktis yang penting bagi pengelolaan risiko banjir di tingkat daerah. Informasi spasial mengenai luasan dan kedalaman genangan dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam penyusunan zonasi risiko banjir, perencanaan tata ruang yang adaptif, serta penentuan prioritas mitigasi banjir, khususnya pada wilayah hilir Sub DAS Cikamiri. Pendekatan berbasis HEC-RAS 2D juga berpotensi mendukung pengembangan sistem peringatan dini dan perencanaan evakuasi yang lebih tepat sasaran karena mampu menggambarkan variasi genangan secara detail.

DAFTAR PUSTAKA

Bashar, T., & Uddin, M. Z. (2025). Effects of Land Use Change on Surface Runoff and Infiltration: The Case of Dhaka City. *Urban Science*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/urbansci9120497>

Chen, J., Shi, X., Gu, L., Wu, G., Su, T., Wang, H. M., Kim, J. S., Zhang, L., & Xiong, L. (2023). Impacts of climate warming on global floods and their implication to current flood defense standards. *Journal of Hydrology*, 618(February), 129236. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129236>

Chow, Ven Te, Maidment, David R., and Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.

D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, & T. L. Veith. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>

Di Baldassarre, G., Schumann, G., Bates, P. D., Freer, J. E., & Beven, K. J. (2010). Flood-plain mapping: a critical discussion of deterministic and probabilistic approaches. *Hydrological Sciences Journal*, 55(3), 364–376. <https://doi.org/10.1080/02626661003683389>

Guido, B. I., Popescu, I., Samadi, V., & Bhattacharya, B. (2023). An integrated modeling approach to evaluate the impacts of nature-based solutions of flood mitigation across a small watershed in the southeast United States. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23(7), 2663–2681. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-2663-2023>

Ilya DT, H. F., & Sukmono, A. (2021). Analisis Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Daerah Aliran Sungai Bodri Terhadap Debit Puncak Menggunakan Metode Soil Conservation Service (Scs). *Jurnal Geodesi Undip Januari*, 10.

Komara, K., Kurniyaningrum, E., Rinanti, A., Yuwono, B., & Pontan, D. (2025). Analisis Pengaruh Curve Number terhadap Debit Banjir Menggunakan Metode Pemodelan Hidrologi di DAS Juana: Analysis Curve Number Influence on Flood Discharge using Hydrological Modeling in Juana Watershed. *Technomedia Journal*, 9, 332–345. <https://doi.org/10.33050/tmj.v9i3.2296>

Listyarini, D., Hidayat, Y., & Tjahjono, B. (2018). Flood Mitigation of Upper Citarum Base on HEC-HMS Model: Mitigasi Banjir DAS Citarum Hulu Berbasis Model HEC-HMS. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 20(1), 40–48. <https://doi.org/10.29244/jitl.20.1.40-48>

Pratiwi, D. W., & Satria Negara, A. (2023). Perbandingan Pola Distribusi Hujan Terukur dan Metode Empiris dalam Perhitungan Debit Banjir Rencana DAS Jurug. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 3(1 SE-Articles), 29–42. <https://doi.org/10.56860/jtsda.v3i1.55>

Rogers, J. S., Maneta, M. M., Sain, S. R., Madaus, L. E., & Hacker, J. P. (2025). The role of climate and population change in global flood exposure and vulnerability. *Nature Communications*, 16(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56654-8>

Romadhoniastri, S., Ayumi, N., Ulumia, F., Zahro, N. A., Rahayuli, R., Hayat, D. M., & Hadi, M. P. (2022). JURNAL GEOGRAFI Kajian Karakteristik Aliran Sungai Serang di AWLR Bendungan Kulonprogo Berdasarkan Pemodelan Hidrologi HEC-HMS. 19(2), 54–61. <https://doi.org/10.15294/jg.v19i2.33671>

Shi, Z.-H., Chen, L.-D., Fang, N.-F., Qin, D.-F., & Cai, C.-F. (2009). Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China. *CATENA*, 77(1), 1–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.11.006>

Soil Conservation Service (SCS), U. S. D. of A. (1972). Hydrology Section 4: Hydrology, Supplement A. In *National Engineering Handbook*. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division.

Teng, J., Jakeman, A. J., Vaze, J., Croke, B. F. W., Dutta, D., & Kim, S. (2017). Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Environmental Modelling & Software*, 90, 201–216. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.006>

USACE. (2018). *HEC-HMS User's Manual*. Hydrologic Engineering Center.

Vashist, K., & Singh, K. K. (2023). HEC-RAS 2D modeling for flood inundation mapping: a case study of the Krishna River Basin. *Water Practice and Technology*, 18(4),

- 831–844. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.048>
- Wigati, R., Sudarsono, & Cahyani, I. D. (2016). ANALISIS BANJIR MENGGUNAKAN SOFTWARE HEC-RAS 4 . 1 (Studi kasus sub DAS Cisimeut hilir HM 0+00 Sampai dengan HM 69+00). *Jurnal Fondasi*, 5(1). <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.36055/jft.v5i1.1243>
- Wu, Q., Ramirez Avila, J. J., Yang, J., Ji, C., & Fang, S. (2024). High-resolution Annual Dynamic dataset of Curve Number from 2008 to 2021 over Conterminous United States. *Scientific Data*, 11(1), 207. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03044-2>
- Wulandari, S., & Soebagio. (2020). Studi pengembangan metode poligon thiessen dengan pembobotan linier terhadap bidang eksak pada perhitungan curah hujan rerata daerah. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 8(1), 57–68. <https://doi.org/https://doi.org/10.30742/axial.v8i1.1027>

Halaman ini sengaja dikosongkan