



Penilaian Dampak Penyimpanan Retensi Terhadap Pengurangan Risiko Banjir di Sub-Daerah Aliran Sungai Sanen

Raden Paundra Dewata Sultansyah Judhokusumo¹, Entin Hidayah^{2*}

¹ Department of Civil Engineering, Universitas Jember Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121, Indonesia

² Department of Civil Engineering, Universitas Jember Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121, Indonesia

Diterima: 19 Mei 2026

Direvisi: 21 Juni 2026

Disetujui: 8 Juli 2026

Dipublikasikan: 04 September 2026

Penulis Korespondensi:

Entin Hidayah

entin.teknik@unej.ac.id

DOI: 10.18860/j-ice.v1i1.42679

© 2026 Para Penulis. Artikel akses terbuka ini didistribusikan di bawah Lisensi (CC-BY License)



Abstract: Sub DAS Mayang Hilir yang dilintasi oleh Sungai Sanen di Kabupaten Jember telah mengalami kejadian banjir berulang yang menyebabkan kerugian material yang signifikan dan mengganggu kegiatan sosial ekonomi lokal. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi lokasi yang cocok untuk kolam retensi dan mengevaluasi efektivitasnya dalam pengurangan banjir sebagai tindakan mitigasi banjir berbasis alam. Analisis spasial menggunakan teknologi overlay di ArcGIS, menggabungkan kesesuaian kemiringan dan penggunaan lahan, digunakan untuk menentukan lokasi yang optimal. Pusat Teknik Hidrologi-Sistem Pemodelan Hidrologi (HEC-HMS) kemudian digunakan untuk mensimulasikan hidrograf banjir untuk berbagai periode pengembalian di bawah skenario pra- dan pasca-retensi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penerapan kolam retensi secara substansial mengurangi debit puncak, mencapai reduksi 36.2 m³/s (40%) untuk periode pengembalian 2 tahun, 53.4 m³/s (33%) untuk periode pengembalian 5 tahun, dan 66.4 m³/s (28%) untuk periode pengembalian 10 tahun. Temuan ini menyoroti efektivitas kolam retensi dalam mengurangi aliran puncak dan meningkatkan ketahanan DAS terhadap banjir. Penelitian di masa depan direkomendasikan untuk mengintegrasikan pemantauan hidrologi real-time dan mengintegrasikan sistem multi-kolam untuk mengoptimalkan perencanaan tata ruang untuk pengendalian banjir di daerah tangkapan air yang berkembang pesat.

Keywords: Banjir, Kolam Retensi, HEC-HMS, GIS, Debit Puncak

Pendahuluan

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi dan menyebabkan kerugian ekonomi, kerusakan infrastruktur, degradasi lingkungan, serta gangguan terhadap kehidupan sosial masyarakat di berbagai wilayah dunia (IPPC, 2022). Dalam beberapa dekade terakhir, peningkatan frekuensi dan intensitas kejadian banjir telah dikaitkan dengan perubahan penggunaan lahan, degradasi daerah aliran sungai (DAS), urbanisasi yang tidak terkendali, serta meningkatnya kejadian hujan ekstrem. Di Indonesia, permasalahan tersebut semakin nyata pada DAS berukuran kecil hingga

menengah yang memiliki respon hidrologi cepat akibat kombinasi topografi curam, berkurangnya kapasitas infiltrasi, dan keterbatasan infrastruktur pengendalian banjir.

Sub-DAS Sanen yang merupakan bagian hilir dari DAS Mayang di Jawa Timur merupakan salah satu wilayah yang menghadapi permasalahan tersebut. Banjir berulang telah terjadi di wilayah hilir DAS, khususnya di Desa Wonoasri, dengan kejadian signifikan pada Februari 2021 yang menyebabkan kerusakan pada infrastruktur, lahan pertanian, dan permukiman masyarakat. Karakteristik geomorfologi DAS menunjukkan adanya kontras yang cukup besar

How to Cite:

Example: Syihabuddin, T., Ekaputri, J. J., & Fujiyama, C. (2025). Flocculant Assisted Treatment of Suspended Sidoarjo Mud. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(11), 407–413. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i11.11880>

antara wilayah hulu dan hilir. Bagian hulu didominasi oleh lereng curam yang mempercepat pembentukan limpasan permukaan dan konsentrasi aliran menuju sungai utama, sedangkan wilayah hilir berupa dataran rendah dengan kapasitas drainase alami yang terbatas. Kondisi tersebut menyebabkan debit puncak yang terbentuk di bagian hulu dapat dengan cepat mencapai wilayah hilir dan meningkatkan risiko terjadinya genangan maupun banjir bandang.

Berbagai strategi telah diterapkan untuk mengurangi risiko banjir, mulai dari pendekatan struktural seperti normalisasi sungai dan pembangunan tanggul hingga pendekatan berbasis alam (Nature-Based Solutions/NbS). Namun, pendekatan struktural konvensional sering kali menghadapi keterbatasan dalam menghadapi perubahan karakteristik hidrologi DAS dan meningkatnya kejadian hujan ekstrem. Salah satu alternatif yang banyak dikembangkan adalah kolam retensi, yang berfungsi menampung sementara limpasan permukaan dan melepaskannya secara bertahap sehingga dapat menurunkan debit puncak banjir yang mengalir ke wilayah hilir (Arrighi et al., 2018; Nyame et al., 2023). Efektivitas kolam retensi sangat dipengaruhi oleh kapasitas tampungan, karakteristik DAS, serta lokasi penempatannya dalam sistem hidrologi.

Evaluasi efektivitas kolam retensi memerlukan pemahaman yang baik mengenai respon hidrologi DAS. Dalam konteks ini, Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) merupakan salah satu model hidrologi yang banyak digunakan untuk mensimulasikan proses hujan-limpasan dan mengevaluasi berbagai skenario mitigasi banjir pada berbagai kondisi DAS (Debbarma et al., 2024; Guido et al., 2023). Model ini memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam merepresentasikan proses hidrologi dan relatif sesuai diterapkan pada DAS yang memiliki keterbatasan data melalui pendekatan simulasi berbasis peristiwa maupun analisis skenario (Odey & Cho, 2025).

Penerapan HEC-HMS pada DAS Mayang menggunakan data curah hujan satelit GPM-IMERG dalam simulasi hujan-limpasan mampu merepresentasikan respon hidrologi DAS Mayang dengan baik dan dapat digunakan sebagai alat yang andal dalam simulasi debit sungai (Hidayah et al., 2024). Meskipun demikian, penelitian tersebut berfokus pada evaluasi sumber data curah hujan dan akurasi model hidrologi, sementara pemanfaatan HEC-HMS untuk mendukung perencanaan infrastruktur pengendalian banjir melalui identifikasi lokasi dan evaluasi kinerja kolam retensi pada Sub-DAS Sanen belum dikaji secara khusus.

Sebagian besar penelitian sebelumnya mengenai kolam retensi berfokus pada evaluasi kinerja hidrologi

setelah lokasi kolam retensi ditentukan. Dengan demikian, proses identifikasi lokasi sering kali diperlakukan sebagai tahapan yang terpisah dari evaluasi hidrologi. Padahal, efektivitas kolam retensi sangat dipengaruhi oleh posisi spasialnya terhadap pola konsentrasi limpasan, topografi, jaringan sungai, dan karakteristik penggunaan lahan. Akibatnya, masih terdapat kesenjangan penelitian dalam pengembangan pendekatan yang mengintegrasikan analisis spasial untuk mengidentifikasi lokasi potensial dengan simulasi hidrologi untuk mengevaluasi dampak penempatannya terhadap reduksi debit puncak, khususnya pada DAS kecil tropis yang memiliki respon limpasan cepat dan topografi relatif curam.

Oleh karena itu, pertanyaan utama penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penempatan kolam retensi yang ditentukan berdasarkan karakteristik spasial DAS terhadap kemampuan reduksi debit puncak banjir pada DAS kecil tropis. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mensimulasikan respon hidrologi Sub-DAS Sanen menggunakan HEC-HMS menggunakan HEC-HMS,
2. Mengidentifikasi lokasi potensial cekungan retensi berdasarkan zona konsentrasi limpasan, dan
3. Menilai efektivitas cekungan retensi dalam mengurangi debit puncak di daerah dataran banjir hilir

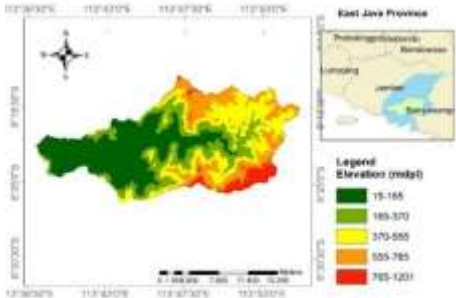
Penelitian ini menghubungkan proses identifikasi lokasi kolam retensi dan evaluasi kinerja hidrologinya dalam satu kerangka kerja terpadu sehingga pengaruh lokasi terhadap efektivitas reduksi debit puncak dapat dievaluasi secara kuantitatif. Selain itu, penelitian ini menyediakan pendekatan yang dapat digunakan sebagai referensi dalam perencanaan kolam retensi pada DAS dengan karakteristik yang serupa.

Lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan di SubDAS Sanen, anak sungai dari SubDAS Mayang, yang terletak di Kecamatan Tempurejo, Kabupaten Jember, Provinsi Jawa Timur, dengan luas kurang lebih 320 km². Wilayah hulu Sub DAS Sanen terletak di Dataran Tinggi Bandalit, sedangkan daerah hilir mengalir melalui dataran rendah selatan, khususnya dekat Desa Wonoasri, sebelum mengalir ke pantai selatan Jawa Timur dekat Batuulo (8,44°S, 113,5896°E), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1 menyajikan karakteristik topografi DAS, dengan ketinggian berkisar antara 15 hingga 1200 meter. Lereng curam di hulu (zona merah dan oranye) berkontribusi pada limpasan permukaan yang cepat, sedangkan dataran banjir hilir datar (zona hijau) rentan terhadap genangan. Konflik topografi ini menyoroti perlunya mitigasi banjir berbasis retensi untuk

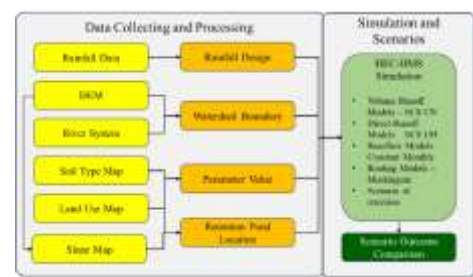
mengurangi debit puncak dan melindungi masyarakat hilir.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Metode Penelitian

- Penelitian ini terdiri dari dua tahap utama:
1. Pengumpulan dan Pemrosesan Data, dan,
 2. Pemodelan Hidrologi dan Simulasi Skenario.
- Gambar 2. Alur kerja persiapan data dan pemodelan menggunakan HEC-HMS.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Data dan Tahap Penelitian

- Beberapa jenis data dikumpulkan dan diolah untuk mendukung pemodelan, antara lain:
1. Data curah hujan diproses menggunakan metode poligon Thiessen untuk mendapatkan curah hujan regional rata-rata dan merancang curah hujan untuk simulasi.
 2. *Digital Elevation Model* (DEM) dan peta kemiringan, digunakan untuk menentukan batas DAS dan mengidentifikasi lokasi potensial untuk retensi berdasarkan fitur medan.
 3. Data jaringan sungai, diperoleh dari peta dan citra satelit, untuk mewakili jalur aliran di dalam DAS.
 4. Peta jenis tanah dan penggunaan lahan, digunakan untuk menghitung nilai *Curve Number* (CN) berdasarkan metode SCS, yang memperkirakan potensi limpasan untuk setiap sub-area.

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari lembaga pemerintah terkait dan situs web yang dapat diakses publik. Ringkasan tipe data, sumber, dan tujuan spesifiknya dalam analisis disajikan pada Tabel 1. Simulasi hidrologi dilakukan dengan menggunakan HEC-HMS. Pemodelan termasuk:

1. Estimasi volume limpasan menggunakan metode *SCS Curve Number*
2. Simulasi limpasan langsung dengan metode *SCS Unit Hydrograph*.
3. Pemodelan aliran dasar menggunakan metode *Bulanan Konstan*.
4. Perutean aliran dengan metode *Muskingum*.
5. Skenario kolam retensi diuji untuk mengevaluasi efektivitasnya dalam mengurangi puncak banjir.

Tabel 1: Ringkasan Jenis Data, Sumber, dan Penggunaan

Jenis Data	Sumber Data	Kegunaan Data
Jenis Tanah	FAO Soil Portal (FAO, 2023)	Identifikasi jenis tanah di dalam Sub-DAS Sanen
DEM	Badan Informasi Geospasial (DEMNAS) dan USGS	Delineasi batas DAS, jaringan sungai dan kemiringan turunan
Tata Guna Lahan	Citra Landsat 8 OLI (USGS Earth Explorer)	Menentukan kelas tutupan lahan untuk menghitung <i>Curve Number</i> (CN)
Data Historis Hujan	Dinas PU Binamarga Sumber Daya Air Kab. Jember	Analisis curah hujan maksimum dan estimasi curah hujan rancangan

Pendekatan ini memungkinkan analisis tentang bagaimana kolam retensi memengaruhi aliran banjir dalam berbagai kondisi curah hujan, sehingga membantu mengembangkan strategi mitigasi banjir untuk Sub-DAS Sanen.

Pemilihan Lokasi Kolam Retensi Melalui Analisis Spasial

Identifikasi lokasi yang cocok untuk kolam retensi dilakukan dengan menggunakan teknik analisis spasial dalam lingkungan Sistem Informasi Geografis (SIG). Analisis menggunakan metode overlay menggunakan perangkat lunak ArcGIS (Adham et al., 2018; Nyirenda et al., 2021), yang memungkinkan integrasi beberapa lapisan spasial untuk mengevaluasi kesesuaian situs berdasarkan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya.

Dalam penelitian ini, dua parameter utama digunakan untuk analisis overlay: gradien kemiringan dan penggunaan lahan (Pealelu et al., 2022). Lapisan-

Commented [3]: Ditampilkan dalam pembahasan masing2 data

Commented [L4R3]: Tabel telah direvisi dengan menyederhanakan informasi yang ditampilkan.

Commented [1]: Italic untuk bahasa asing

Commented [L2R1]: Sudah kami italic

lapisan ini digabungkan untuk mengidentifikasi area yang memenuhi persyaratan teknis untuk implementasi kolam retensi. Data lereng berasal dari DEM, sedangkan data penggunaan lahan didasarkan pada peta tutupan lahan 2022. Kriteria khusus untuk pemilihan lokasi kolam retensi, berdasarkan pertimbangan fisik dan penggunaan lahan, diuraikan dalam Tabel 2

Tabel 2: Site Selection Criteria

Parameter	Description	Preferred Category	Sumber
Tutupan Lahan	Area bebas dari struktur permanen dan ruang terbuka yang luas	- Tidak terletak di area terbangun (misalnya, pemukiman, bangunan permanen) - Diutamakan di lahan kosong, sawah, atau daerah non-urbanisasi	(Pealeu et al., 2022)
Kemiringan Lereng	Mempengaruhi stabilitas struktural dan kapasitas penyimpanan an kolam	- <5%: ideal untuk retensi air - 5–15%: dapat diterima dengan perawatan teknik tambahan - 15%: tidak cocok karena risiko ketidakstabilan lereng	(Saragih et al., 2020)

Analisis overlay dilakukan dengan menggabungkan peta lereng dan peta penggunaan lahan untuk menentukan lokasi yang optimal untuk pembangunan kolam retensi. Sebelum melakukan overlay, setiap parameter diberi skor kesesuaian berdasarkan relevansinya dengan implementasi kolam retensi. Sistem penilaian untuk jenis gradien lereng dan penggunaan lahan dikembangkan dengan menggunakan pendekatan klasifikasi tertimbang, dengan mempertimbangkan penelitian sebelumnya yang dilakukan di Sub-DAS Bedadung, yang terletak di dekat area penelitian, dan berbagi karakteristik geomorfologi dan penggunaan lahan yang serupa (Hidayah et al., 2023). Pendekatan ini memastikan bahwa penilaian mencerminkan kondisi lapangan yang realistis dan perilaku hidrologis khas wilayah tersebut.

Tabel 3: Slope Score

No	Slope Gradient Classification	Score
1	Datar	5
2	Miring	4
3	Sedikit Curam	3
4	Curam	2
5	Sangat Curam	1

Source: (Saragih et al., 2020)

Tabel 4: Skor Penggunaan Lahan

No	Tataguna Lahan	Skor
1	Air	1
2	Pohon	2
3	Sawah	5
4	Area Pemukiman	3
5	Vegetasi Jarang	4

Sumber: (Pealeu et al., 2022)

Tabel 5: Jumlah Skor dan Klasifikasi

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

Analisis Frekuensi

Dalam analisis hidrologi, metode distribusi frekuensi biasanya digunakan untuk memperkirakan debit banjir desain. Penelitian ini menerapkan empat distribusi statistik yang diakui secara luas: Distribusi Normal, Distribusi Log-Normal, Distribusi Gumbel, dan Distribusi Log-Pearson Tipe III. Untuk menentukan distribusi yang paling tepat untuk data curah hujan, uji kesesuaian dilakukan dengan menggunakan uji Chi-Square dan uji Kolmogorov-Smirnov. Tes ini mengevaluasi seberapa baik data yang diamati sesuai dengan distribusi probabilitas teoretis. Distribusi dengan kecocokan statistik terbaik dipilih untuk analisis lebih lanjut.

Berdasarkan distribusi yang dipilih, curah hujan desain (intensitas curah hujan untuk periode ulang tertentu) dihitung menggunakan persamaan statistik standar, seperti yang disajikan dalam Persamaan (1)-(4).

Normal

$$X_t = \underline{x} + K_T \cdot sd \tag{1}$$

Log Normal

$$X_t = 10 \log \log \underline{x} + K_T \cdot sd \tag{2}$$

Gumbel

$$X_t = \underline{x} + K \cdot sd \tag{3}$$

Log Pearson 3

$$X_t = 10 \log \log \underline{x} + K_T \cdot sd \tag{4}$$

Pemodelan HEC-HMS

a. Volume Runoff Models

Penelitian ini menggunakan metode Soil

Conservation Service Curve Number (SCS-CN) untuk

memperkirakan volume limpasan. Model SCS-CN

dipilih karena ketersediaan data, prediktabilitas, dan stabilitas dalam berbagai kondisi (Merizalde et al., 2021). Parameter model tergantung pada beberapa faktor, termasuk jenis tanah, penggunaan lahan, kondisi permukaan, dan kadar air antededen (Rossman & Huber, 2016).

$$Q_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + s} \quad (5)$$

Q_e : Debit Limpasan (m^3/s)
 P : Kedalaman curah hujan terakumulasi pada saat itu

I_a : Abstraksi Awal
 S : Potensi retensi maksimum

Ketika DAS berisi beberapa kombinasi penggunaan lahan dan jenis tanah, satu Angka Kurva (CN) representatif dihitung menggunakan metode komposit. CN komposit mewakili rata-rata tertimbang dari semua nilai CN dalam sub-DAS dan dihitung menggunakan persamaan berikut (Mishra, S.K., & Singh, 2003).

$$CN_{Composite} = \frac{(\sum_{i=1}^n A_i CN_i)}{(\sum_{i=1}^n A_i)} \quad (6)$$

$CN_{Composite}$: CN (Nilai Tataguna Lahan) komposit.
 A_i : Luas Sub-DAS (km^2).

I : Indeks untuk sub-DAS dengan penggunaan lahan yang sama.

Abstraksi Awal (I_a) mengacu pada jumlah total kehilangan curah hujan yang terjadi sebelum timbulnya limpasan permukaan. Ini termasuk kehilangan air akibat intersepsi oleh vegetasi, penyimpanan depresi permukaan, penguapan, dan infiltrasi awal.

Metode Soil Conservation Service (SCS) memberikan hubungan empiris antara abstraksi awal (I_a) dan retensi potensial maksimum (S), yang diwakili oleh persamaan berikut.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254CN \quad (7)$$

$$I_a = 0,2 \times S \quad (8)$$

S : Nilai Retensi Maksimum.

CN : Curve Number

I_a : Abstraksi Awal.

Tidak adanya data pengamatan aliran langsung di lokasi penelitian menimbulkan keterbatasan yang signifikan untuk melakukan kalibrasi parameter konvensional dalam proses estimasi volume limpasan. Untuk mengatasi masalah ini, pendekatan regionalisasi diterapkan dengan mengadopsi parameter hidrologi yang dikalibrasi dari DAS terdekat dan serupa secara hidrologis.

Secara khusus, penelitian ini mengacu pada studi pemodelan berbasis HEC-HMS sebelumnya yang dilakukan di Sub-Sub-DAS Talang, yang merupakan bagian dari Sub-DAS Mayang yang lebih besar, dan memiliki karakteristik yang sama dalam hal pola

penggunaan lahan, topografi, dan kondisi iklim dengan Sub-DAS Sanen (Putri et al., 2021).

Dalam penelitian tersebut diterapkan metode SCS Unit Hydrograph, dan parameter Curve Number (CN) berasal dari kombinasi klasifikasi jenis tanah dan penggunaan lahan, disesuaikan berdasarkan kondisi hidrologi daerah (Putri et al., 2021). Transfer nilai parameter ini memungkinkan konstruksi simulasi limpasan yang realistis tanpa adanya data pelepasan langsung, sambil mempertahankan konsistensi dengan konteks fisiografi dan hidrometeorologi.

b. Direct Runoff Models

Dalam penelitian ini, metode SCS Unit Hydrograph (SCS UH) digunakan untuk mensimulasikan respons limpasan langsung DAS terhadap peristiwa curah hujan. Metode SCS UH banyak digunakan untuk mewakili perilaku limpasan permukaan tangkapan air (sub-DAS) dengan mengubah curah hujan berlebih menjadi debit langsung dari waktu ke waktu.

Parameter input utama untuk metode ini adalah jeda waktu (t_{lag}), yang mencerminkan penundaan antara centroid curah hujan efektif dan puncak hidrograf limpasan. Keakuratan satuan hidrograf tergantung pada estimasi yang benar dari parameter ini, yang biasanya berasal dari karakteristik tangkapan air seperti kemiringan DAS, panjang, dan tutupan lahan (USACE, 2000).

$$t_c = \frac{(L^{0,8} x (S + 1)^{0,7})}{1900 x Y^{0,5}} \quad (9)$$

$$t_{lag} = 0,6 t_c \quad (10)$$

t_c : Waktu Konsentrasi (Jam)

t_{lag} : Perbedaan waktu antara pusat massa curah hujan berlebih dan puncak satuan hidrograf (Menit)

L : Panjang Sungai Utama (m)

Y : Kemiringan Sub-DAS (%)

S : Potensi retensi maksimum.

c. Baseflow Models

Metode Constant Monthly diterapkan untuk memperkirakan aliran dasar (aliran bawah permukaan) dengan menetapkan nilai debit konstan untuk setiap bulan sepanjang tahun. Dalam pendekatan ini, aliran dasar untuk setiap sub-DAS ditentukan berdasarkan luas proporsional sub-unit relatif terhadap total luas DAS, dan kemudian dikalikan dengan nilai aliran minimum bulanan.

Metode ini mengasumsikan kontribusi air tanah yang relatif stabil selama setiap bulan, dan cocok untuk daerah yang langka data di mana catatan aliran dasar kontinuitas tidak tersedia (Listyarini et al., 2018).

$$Q_{baseflow} = \left(\frac{A_{sub}}{A_{total}} \right) x Q_{min} \quad (11)$$

$Q_{baseflow}$: Debit Dasar (m^3/s)

A_{sub} : Luas Sub-DAS (km^2)

A_{total} : Total Luas DAS (km^2)

Q_{min} : Debit Minimum Bulanan (m³/s).

d. Routing Models

Perutean aliran mengacu pada proses memperkirakan bagaimana curah hujan-limpasan atau aliran sungai merambat melalui saluran sungai atau sistem drainase menuju outlet. Dalam penelitian ini, metode Muskingum diterapkan untuk mensimulasikan perubahan debit aliran sungai di sepanjang sungai.

Metode ini banyak digunakan dalam pemodelan hidrologi karena keseimbangannya antara kesederhanaan dan efektivitas. Metode Muskingum didasarkan pada prinsip-prinsip kontinuitas dan penyimpanan, yang menghubungkan arus masuk, keluar, dan penyimpanan dalam segmen sungai selama satu langkah waktu (Rossman & Huber, 2016).

Persamaan perutean yang digunakan dalam metode Muskingum dinyatakan sebagai :

$$S = K [XI + (1 - X) O] \quad (12)$$

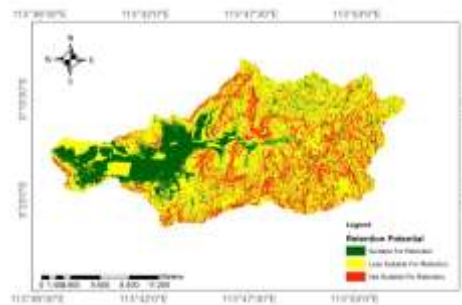
S : Penyimpanan Volume (m³)
 K : Waktu penyimpanan (Menit)
 X : Pembobotan Aliran
 I : Debit *Inflow*
 O : Debit *Outflow*

Hasil dan Pembahasan

Hasil Identifikasi Lokasi Kolam Retensi

Peta kesesuaian akhir dihasilkan dengan menjumlahkan skor spasial dari setiap kriteria dan mengklasifikasikan hasilnya menggunakan analisis overlay berbasis GIS di ArcGIS. Peta overlay berfungsi sebagai dasar untuk mengidentifikasi lokasi optimal untuk implementasi kolam retensi. Hasil analisis overlay, bersama dengan lokasi kolam retensi yang dipilih, disajikan pada Gambar 3. Sebuah kolam retensi diusulkan di Desa Wonosari, Kecamatan Tempurejo, seluas kurang lebih 314.872 m² dengan kedalaman yang direncanakan 5 meter, sehingga total kapasitas penyimpanan sebesar 1.574.360 m³.

Untuk mengevaluasi efektivitas strategi mitigasi banjir, skenario cekungan retensi dikembangkan berdasarkan analisis spasial dan pemodelan hidrologi.



Gambar 3. Lokasi Potensi Kolam Retensi

Lokasi yang dipilih untuk cekungan retensi ditentukan menggunakan pendekatan berbasis GIS multi-kriteria, dengan mempertimbangkan faktor fisik dan operasional. Situs yang dipilih memenuhi kriteria kesesuaian pada Gambar 4, termasuk :

1. Situs ini terletak di medan datar, yang memungkinkan retensi air yang efisien.
2. Daerah ini bebas dari pembangunan yang sedang berlangsung atau konflik penggunaan lahan dan menawarkan akses mudah untuk konstruksi dan pemeliharaan jangka panjang.
3. Kolam ini terletak di dekat saluran sungai, memungkinkan aliran masuk langsung selama limpasan tinggi events and controlled release back into the river system as needed.

Skenario ini kemudian dimasukkan ke dalam model HEC-HMS untuk mensimulasikan dampak hidrologisnya pada puncak banjir.



Gambar 4. Skenario Retention Basin

Analisis Hidrologi

Hasil analisis frekuensi menunjukkan bahwa distribusi Log-Pearson Tipe III memberikan kecocokan terbaik untuk data curah hujan yang diamati, berdasarkan uji kesesuaian. Oleh karena itu, distribusi ini dipilih untuk menghitung nilai curah hujan desain. Perkiraan kedalaman curah hujan desain untuk

berbagai periode pengembalian (peristiwa 2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun) dirangkum dalam Tabel 6.

Tabel 6: Rancang Curah Hujan untuk Periode Pengembalian yang Berbeda

Kala Ulang (Tahun)	2	5	10
p	0.5	0.2	0.1
w	1.18	1.79	2.15

Kala Ulang (Tahun)	2	5	10
z	0	0.84	1.28
KT	-0.21	0.71	1.33
Log X	1.98	2.11	2.21
X	95.38	130.31	160.63

Distribusi intensitas curah hujan per jam berdasarkan *Alternating Block Method* (ABM) untuk durasi 12 jam disajikan secara rinci pada Tabel 7.

Tabel 7: ABM Result

Td (Jam)	Δt (Jam)	It (mm/h)	ItTd (mm)	Δp (mm)	Pt (%)	Hyetograph	
						%	mm
1	1	73.38	73.38	73.38	43.68	3.04	3.98
2	1	46.22	92.45	19.07	11.35	3.25	4.25
3	1	35.28	105.83	13.38	7.96	3.50	4.58
4	1	29.12	116.48	10.65	6.34	4.68	6.13
5	1	25.09	125.47	8.99	5.35	7.96	10.43
6	1	22.22	133.33	7.86	4.68	43.68	57.23
7	1	20.05	140.36	7.03	4.18	11.35	14.87
8	1	18.34	146.75	6.39	3.8	6.34	8.31
9	1	16.96	152.63	5.88	3.5	5.35	7.01
10	1	15.81	158.08	5.46	3.25	4.18	5.48
11	1	14.84	163.19	5.10	3.04	3.80	4.98
12	1	14.00	167.99	4.80	2.86	2.86	3.75

Simulasi Model HEC-HMS

Delineasi sub-DAS menggunakan alat hidrologi ArcGIS mengidentifikasi lima sub-DAS di dalam DAS Sanen. Analisis lebih lanjut menggunakan data aliran sungai spasial dari situs web geospasial mengidentifikasi dua sungai utama di daerah tersebut: Sungai Sanen dengan panjang aliran 25.69 km dan Sungai Curahnongko dengan panjang aliran 6.69 km. Hasil ini divisualisasikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Delineasi DAS

Direct Runoff Models

Rentang CN yang dipilih bertujuan untuk memberikan perkiraan limpasan yang representatif secara hidrologis, memastikan realisme model dan

konsistensi dengan kondisi lapangan. Pendekatan ini dibangun di atas studi yang dikalibrasi sebelumnya dalam sub-DAS yang sebanding dan diharapkan dapat meningkatkan akurasi simulasi pembuangan. Klasifikasi CN yang diadopsi dalam penelitian ini dirangkum dalam Tabel 8.

Tabel 8: Parameter SCS CN

Sub Basin	CN	S	Ia	Imp
Sub -Basin 1	81.00	59.58	11.92	1.81
Sub -Basin 2	79.48	65.58	13.12	-
Sub -Basin 3	80.68	60.81	12.16	7.07
Sub -Basin 4	80.14	62.94	12.59	4.76
Sub -Basin 5	76.06	79.96	15.99	21.28

Baseflow Models

Tabel 9 menyajikan debit aliran dasar bulanan (m^3/s) untuk lima sub-DAS. Secara keseluruhan, data menunjukkan pola musiman, dengan debit yang lebih tinggi dari Maret hingga Mei selama musim hujan, dan aliran yang lebih rendah antara Juli dan September, sesuai dengan musim kemarau.

1. Sub-DAS 4 memiliki aliran tertinggi dan paling konsisten sepanjang tahun, memuncak pada 1,42 m^3/s pada bulan April.
2. Sub-DAS 2 dan 5 menunjukkan nilai debit terendah, kemungkinan karena daerah tangkapan air yang lebih kecil atau laju infiltrasi yang tinggi.

Commented [5]: Menampilkan lokasi sungai bagian hulu dan hilir yang menjadi bagian dari sub basin

Commented [L6R5]: Sudah dilengkapi

Commented [7]: Tabel 10?

Commented [L8R7]: Sdh diperbaiki

3. Sub-DAS 1 dan 3 menunjukkan aliran sedang, dengan debit puncak masing-masing pada bulan April dan November.

Variasi ini mencerminkan respons hidrologi setiap sub-DAS dan sangat penting untuk merencanakan alokasi air dan infrastruktur pengendalian banjir.

Tabel 9. Ringkasan Debit Setiap Sub-Cekungan

Debit(m ³ /s)	Sub-Basin				
	Sub-Basin 1	Sub-Basin 2	Sub-Basin 3	Sub-Basin 4	Sub-Basin 5
Januari	0.70	0.20	0.41	1.04	0.23
Februari	0.71	0.21	0.42	1.06	0.23
Maret	0.80	0.23	0.47	1.19	0.26
April	0.96	0.28	0.56	1.42	0.31
Mei	0.76	0.22	0.44	1.13	0.31
Juni	0.74	0.21	0.43	1.10	0.24
Juli	0.55	0.16	0.32	0.82	0.18
Agustus	0.55	0.16	0.32	0.82	0.18
September	0.55	0.16	0.32	0.82	0.18
Oktober	0.51	0.15	0.30	0.76	0.16
November	1.09	0.31	0.64	1.63	0.35
Desember	0.77	0.22	0.45	0.35	0.25

Routing Models' Effect on the Retention Pond

Tabel 10 menyajikan parameter perutean Muskingum yang digunakan untuk simulasi aliran di dua segmen sungai. Kedua segmen menggunakan faktor pembobotan $X = 0.3$, yang menunjukkan keseimbangan sedang antara pengaruh arus masuk dan keluar dalam perilaku penyimpanan.

1. Segmen sungai 1 dengan panjang 6,699 meter memiliki konstanta waktu penyimpanan (K) 1.861 jam, menunjukkan respons aliran yang relatif cepat.
2. Segmen sungai 2, yang secara signifikan lebih panjang pada 25,698 meter, memiliki nilai K yang lebih besar, yaitu 7.138 jam, yang mencerminkan redaman aliran yang lebih lambat karena peningkatan panjang saluran dan kapasitas penyimpanan.

Parameter ini sangat penting untuk mensimulasikan waktu dan besarnya perutean aliran dalam model hidrologi.

Tabel 10: Parameter Muskingum

Sungai	Panjang (m)	X	K (Jam)
1	6699	0.3	1.861
2	25698	0.3	7.138

Effect of Retention Pond on Peak Discharge

Hasil simulasi menunjukkan bahwa penerapan retensi pada Tabel 11 secara signifikan mengurangi debit puncak di berbagai periode pengembalian:

1. Untuk periode pengembalian 2 tahun, aliran puncak menurun dari 90.2 m³/s menjadi 54.0 m³/s, mencapai pengurangan 40%.

2. Untuk periode pengembalian 5 tahun, pengurangannya adalah 33%, dengan debit turun dari 163.6 m³/s menjadi 110.2 m³/s.

3. Untuk periode pengembalian 10 tahun, aliran berkurang sebesar 28%, dari 234.6 m³/s menjadi 168.2 m³/s.

Hasil ini menegaskan efektivitas cekungan retensi dalam melemahkan puncak banjir, terutama selama curah hujan yang sering dan sedang.

Tabel 11: Pengurangan Setelah Implementasi Kolam Retensi

Kala Ulang (Tahun)	Sebelum Implementasi (m ³ /s)	Setelah Implementasi (m ³ /s)	Reduksi (m ³ /s)	Persentase (%)
2	90.20	54.00	6.20	40
5	163.60	110.20	53.40	33
10	234.60	168.20	66.40	28

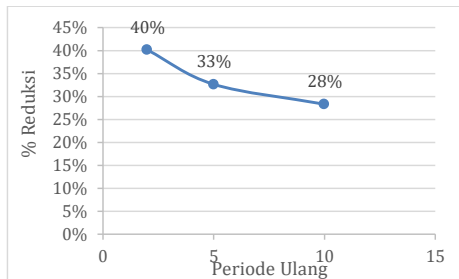
Pembahasan

Implementasi kolam retensi di wilayah hilir Sub-DAS Sanen menunjukkan pengaruh terhadap pengurangan aliran puncak pada seluruh kala ulang yang dianalisis. Berdasarkan Gambar 6 dan Tabel 12, debit puncak setelah implementasi kolam retensi mengalami penurunan dibandingkan dengan kondisi eksisting. Grafik juga menunjukkan bahwa persentase reduksi debit cenderung menurun seiring meningkatnya kala ulang banjir. Pola ini mengindikasikan bahwa kemampuan kolam retensi dalam meredam debit puncak relatif lebih efektif pada kejadian banjir dengan volume limpasan yang lebih rendah dibandingkan dengan kejadian yang lebih ekstrem. Pada kala ulang yang lebih besar, volume

Commented [9]: Buat dalam grafik atau tabel matriks perbandingan

Commented [L10R9]: Sudah kami tambahkan grafik gambar 6

limpasan yang masuk ke sistem meningkat sehingga proporsi aliran yang dapat ditampung oleh kolam retensi menjadi relatif lebih kecil.



Gambar 6. Pengurangan debit puncak

Temuan penelitian ini juga memiliki kesesuaian Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa studi sebelumnya yang melaporkan kontribusi struktur retensi dalam mengurangi debit puncak banjir. Simulasi kinerja Bendungan Kering Ciawi dan Sukamahi menunjukkan bahwa keberadaan tampungan sementara mampu mereduksi debit puncak banjir sebesar 36,4–39% pada kala ulang 50 dan 100 tahun (Hartono et al., 2022). Sementara itu, penerapan kolam regulasi di DAS Wanggu, Kota Kendari, dilaporkan mampu menurunkan debit puncak banjir kala ulang 25 tahun hingga 54,12% (C Maddi et al., 2021).

Temuan penelitian ini juga konsisten dengan hasil yang dilaporkan oleh (Theochari & Baltas, 2024), yang menunjukkan bahwa kolam retensi mampu menurunkan debit puncak sekitar 28%, sedangkan kombinasi beberapa solusi berbasis alam menghasilkan reduksi hingga 40,5%. Kisaran reduksi yang diperoleh pada penelitian ini berada dalam rentang yang sebanding dengan hasil tersebut. Perbedaan nilai reduksi yang ditemukan antar penelitian kemungkinan dipengaruhi oleh variasi karakteristik DAS, kapasitas tampungan, kondisi penggunaan lahan, serta besarnya kejadian hujan yang digunakan dalam simulasi.

Selain mengevaluasi kinerja hidrologi, penelitian ini mengintegrasikan analisis spasial dalam proses identifikasi lokasi kolam retensi melalui pertimbangan kemiringan lereng, penggunaan lahan, kedekatan terhadap jaringan sungai, dan aksesibilitas lokasi. Pendekatan ini digunakan untuk memilih lokasi yang secara teknis memungkinkan dan berpotensi memberikan manfaat hidrologi yang lebih baik. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh tidak hanya menggambarkan pengaruh kolam retensi terhadap debit puncak, tetapi juga menunjukkan pentingnya pemilihan lokasi dalam perencanaan infrastruktur pengendalian banjir berbasis retensi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kolam retensi memberikan kontribusi terhadap penurunan debit puncak pada berbagai kala ulang banjir yang dianalisis. Meskipun efektivitas relatifnya menurun pada kejadian dengan kala ulang yang lebih besar, keberadaan kolam retensi tetap berperan dalam meredam aliran puncak yang menuju wilayah hilir. Temuan ini menunjukkan bahwa kolam retensi dapat dipertimbangkan sebagai salah satu komponen pengelolaan banjir pada Sub-DAS Sanen, terutama apabila dikombinasikan dengan strategi pengelolaan DAS lainnya untuk meningkatkan efektivitas pengurangan risiko banjir.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan efektivitas kolam retensi yang terletak di Desa Wonosari, Kecamatan Tempurejo, dalam mengurangi debit puncak di dalam Sub DAS Sanen. Menggunakan analisis overlay berbasis SIG untuk mengidentifikasi lokasi optimal dan mensimulasikan skenario banjir dengan HEC-HMS, kolam yang diusulkan dengan kapasitas penyimpanan 1,57 juta m³ terbukti mengurangi aliran puncak sebesar 40% untuk periode ulang 2 tahun, 33% untuk 5 tahun, dan 28% untuk 10 tahun. Sementara hasil ini menegaskan potensi kolam retensi sebagai solusi berbasis alam untuk mitigasi banjir, studi ini juga menyoroti tantangan utama untuk penelitian di masa depan. Tidak adanya data debit yang diamati membatasi kalibrasi model, dan hanya skenario kolam tunggal yang dinilai. Studi masa depan harus menggabungkan konfigurasi retensi multi-lokasi, pemodelan hidrolik untuk analisis aliran terperinci, dan mempertimbangkan dampak perubahan iklim dan penggunaan lahan untuk meningkatkan akurasi dan ketahanan strategi pengelolaan banjir.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Laboratorium Pengelolaan Sumber Daya Air Fakultas Teknik Universitas Jember atas dukungan, fasilitas, dan bantuan teknis yang diberikan selama penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Sipil Universitas Jember, dan penyedia data yang relevan untuk mendukung analisis spasial dan hidrologi yang digunakan dalam penelitian ini.

Kontribusi Penulis

- Raden Paundra Dewata Sultansyah Judhokusumo: Konseptualisasi, pengumpulan data, analisis spasial dan hidrologi, pemodelan HEC-HMS, visualisasi, penulisan draft awal.
- Entin Hidayah: Supervisi, validasi metodologi, interpretasi hasil, peninjauan dan penyuntingan naskah, serta administrasi penelitian.

Pendanaan

Penelitian ini tidak menerima pendanaan khusus dari lembaga pendanaan publik, komersial, maupun nirlaba.

Conflicts of Interest

Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian maupun publikasi artikel ini.

Daftar Pustaka

- Adham, A., Naba, K., Abed, R., Arbi, M., Wesseling, J. G., Riksen, M., Fleskens, L., Karim, U., Ritsema, C. J., Sayl, K. N., Abed, R., Abdeladhim, M. A., Wesseling, J. G., Riksen, M., Fleskens, L., Karim, U., & Ritsema, C. J. (2018). A GIS-based approach for identifying potential sites for harvesting rainwater in the Western Desert of Iraq. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(4), 297–304. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.07.003>
- Arrighi, C., Rossi, L., Trasforini, E., Rudari, R., Ferraris, L., Brugioni, M., Franceschini, S., & Castelli, F. (2018). Quantification of flood risk mitigation benefits: A building-scale damage assessment through the RASOR platform. *Journal of Environmental Management*, 207, 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.017>
- C Maddi, H., Musa, R., & Ashad, H. (2021). Kajian Pengendalian Banjir dengan Menggunakan Waduk Regulasi. *Jurnal Flyover*, 1(1), 21–32. <https://doi.org/10.52103/jfo.v1i1.658>
- Debbarma, S., Dey, S., Bandyopadhyay, A., Bhadra, A., Bandyopadhyay, A., & Bhadra, A. (2024). Simulation of Flood Inundation Extent by Integration of HEC-HMS, GA-based Rating Curve and Cost Distance Analysis. *Water Resources Management*, 38(4), 1397–1417. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11269-023-03727-2>
- FAO. (2023). *Disasters on Agriculture and Food Security Through Investment in Resilience*.
- 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>
- Hartono, A. O., Istiarto, & Sujono, J. (2022). Redaman Banjir Pasca Pembangunan Bendungan Ciawi dan Sukamahi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2022*. <https://proceedings.ums.ac.id/sipil/article/view/945/923>
- Hidayah, E., Putri, A. P. P., Saifurridzal, S., Saifuridzal, & Putri, A. P. P. (2023). Analisis Potensi Penerapan Sistem Rainwater Harvesting di Daerah Aliran Sungai Bedadung Kabupaten Jember. *Jurnal Teknik Sipil*, 30(2), 233–244. <https://doi.org/10.5614/jts.2023.30.2.11>
- Hidayah, E., Saifurridzal, S., Utami, Retno Wiyono, A., & Widiarti, W. Y. (2024). Performance of GPM-IMERG satellite precipitation for rainfall-runoff modeling in Indonesia Uncorrected Proof Indonesia. *Water Practice & Technology*, 19(10), 3909–3928. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.2166/wpt.2024.240>
- IPPC. (2022). *Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation and Vulnerability Working* (H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. M. B. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, A. Alegria, S. Langsdorf, S. Löschke, B. Rama, V. Möller, & A. Okem (eds.)). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.Front>
- Listyarini, D., Hidayat, Y., & Tjahjono, B. (2018). Mitigasi Banjir Das Citarum Hulu Berbasis Model Hec-Hms. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 20(1), 40–48. <https://doi.org/10.29244/jitl.20.1.40-48>
- Nyame, J., Gyam, C., & Arthur, E. (2023). Impacts of retention basins on downstream flood peak attenuation in the Odaw river basin, Ghana. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 47(March), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101364>
- Nyirenda, F., Mhizha, A., Gumindoga, W., & Shumba, A. (2021). A gis-based approach for identifying suitable sites for rainwater harvesting technologies in kasungu district, malawi. *Water SA*, 47(3), 347–355. <https://doi.org/10.17159/wsa/2021.v47.i3.11863>
- Odey, G., & Cho, Y. (2025). Event-Based vs . Continuous Hydrological Modeling with HEC-HMS: A Review of Use Cases , Methodologies , and Performance Metrics. *Hydrology*, 12(39). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/hydrology12020039>
- Pelealu, R. H., Sembel, A. S., & Warouw, F. (2022). Potensi Lokasi Penerapan Infastruktur Hijau pada Daerah Aliran Sungai Tondano di Kota Manado. *Sabua : Jurnal Lingkungan Binaan Dan Arsitektur*, 11(2), 1–10. <https://doi.org/10.35793/sabua.v11i2.45968>
- Putri, D. A. I., Yunarni, W. W., & Halik, G. (2021). DAMPAK PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN TERHADAP DEBIT PUNCAK DI SUB DAS TALANG KABUPATEN JEMBER. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(1), 30–38. [10.24002/jts.v16i1.4216](https://doi.org/10.24002/jts.v16i1.4216)
- Rossman, L. A., & Huber, W. C. (2016). Storm water

- management model reference manual – Volume I Hydrology (Revised). *Environmental Protection Agency, I*(EPA/600/R-17/111), 231.
- Saragih, D. F., Medan, P. N., Abdullah, R., & Ahamad, M. S. S. (2020). *UNTUK PENGELOLAAN AIR HUJAN PERKOTAAN MENGGUNAKAN METODE GIS - MCDA and A HP berkurangnya area yang dapat menyerap air hujan . Kolam retensi adalah salah*. 129(May).
- Theochari, A. P., & Baltas, E. (2024). The Nature-Based Solutions and climate change scenarios toward flood risk management in the greater Athens area—Greece. *Natural Hazards*, 120(5), 4729–4747. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06409-3>
- USACE. (2000). Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual. In *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual* (Issue March).