

ANALISIS DAYA RUSAK ALIRAN PERMUKAAN BERBASIS HIDROLOGI FORENSIK PADA BANJIR BANDANG SUB DAS WAY KURIPAN, LAMPUNG

Muhammad Hakiem Sedo Putra^{1*} dan M. Ridho Ulya²

¹Program Studi Rekayasa Tata Kelola Air Terpadu, Institut Teknologi Sumatera

²Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Lampung

*Muhammad.sedo@tka.itera.ac.id

Pemasukan: 11 Juli 2025 Perbaikan: 8 Mei 2026 Diterima: 5 Juni 2026

Intisari

Banjir bandang merupakan salah satu bentuk daya rusak air yang memiliki karakteristik aliran berenergi tinggi dan berpotensi menyebabkan kerusakan signifikan pada wilayah DAS kecil di daerah tropis. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik daya rusak aliran permukaan pada kejadian banjir bandang di Sub DAS Way Kuripan, Lampung, menggunakan pendekatan hidrologi forensik berbasis simulasi hidrologi dan analisis spasial. Metode yang digunakan meliputi simulasi limpasan menggunakan metode SCS-CN dan pemodelan debit banjir dengan HEC-HMS berdasarkan data curah hujan, DEM ALOS PALSAR, penggunaan lahan, serta survei lapangan. Parameter daya rusak dianalisis melalui perhitungan stream power dan shear stress, kemudian divalidasi menggunakan overlay spasial terhadap titik kerusakan aktual hasil observasi lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa curah hujan ekstrem sebesar 128 mm/hari menghasilkan debit puncak sebesar 132,5 m³/s. Nilai *stream power* tertinggi mencapai 365,2 W/m² pada segmen sungai yang curam dan sempit, sedangkan sebagian besar titik kerusakan infrastruktur berada pada zona dengan nilai stream power tinggi. Hasil validasi menunjukkan kesesuaian spasial yang kuat antara area berpotensi rusak dan lokasi kerusakan aktual di lapangan. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan hidrologi forensik mampu merekonstruksi mekanisme banjir bandang secara kuantitatif dan spasial, serta berpotensi mendukung pengembangan mitigasi banjir berbasis risiko pada wilayah DAS rawan bencana.

Kata Kunci : banjir bandang, daya rusak air, hidrologi forensik, *shear stress*, *stream power*

Latar Belakang

Perubahan iklim global telah memicu peningkatan frekuensi dan intensitas kejadian cuaca ekstrem, termasuk curah hujan tinggi dalam waktu singkat. Hal ini berdampak langsung terhadap meningkatnya risiko banjir, terutama banjir bandang yang memiliki karakteristik mendadak, volume besar, serta kecepatan dan energi aliran yang tinggi (Napitupulu et al., 2024). Peristiwa banjir bandang bukan hanya membawa air, tetapi juga lumpur, sedimen, batuan, dan material lainnya yang dapat

menyebabkan kerusakan serius pada infrastruktur, lingkungan, dan mengancam keselamatan manusia (Sakti P, 2022).

Fenomena ini menjadi perhatian khusus pada wilayah-wilayah dengan topografi curam, penggunaan lahan yang tidak terkendali, serta lemahnya kapasitas infrastruktur pengendali banjir. Salah satu aspek penting yang sering luput dalam kajian teknis adalah analisis mengenai "daya rusak air" atau destructive power of water. Konsep ini merujuk pada potensi suatu aliran air untuk menyebabkan kerusakan fisik terhadap lingkungan sekitarnya, baik berupa erosi tanah, kerusakan struktur bangunan, maupun penghanyutan vegetasi dan sedimen (Riska et al., 2021).

Sayangnya, pendekatan yang digunakan dalam banyak studi kebencanaan di Indonesia masih bersifat deskriptif dan reaktif. Kurangnya metode kuantitatif dan analitis yang dapat merekonstruksi serta menjelaskan mekanisme terjadinya kerusakan membuat proses mitigasi menjadi kurang efektif. Di sinilah pendekatan "hidrologi forensik" menjadi penting. Hidrologi forensik adalah pendekatan ilmiah yang digunakan untuk menelusuri kembali penyebab dan jalannya suatu peristiwa hidrologi ekstrem dengan menggabungkan data meteorologi, topografi, hidrologi, dan bukti lapangan (Caesarina & Rahmani, 2021).

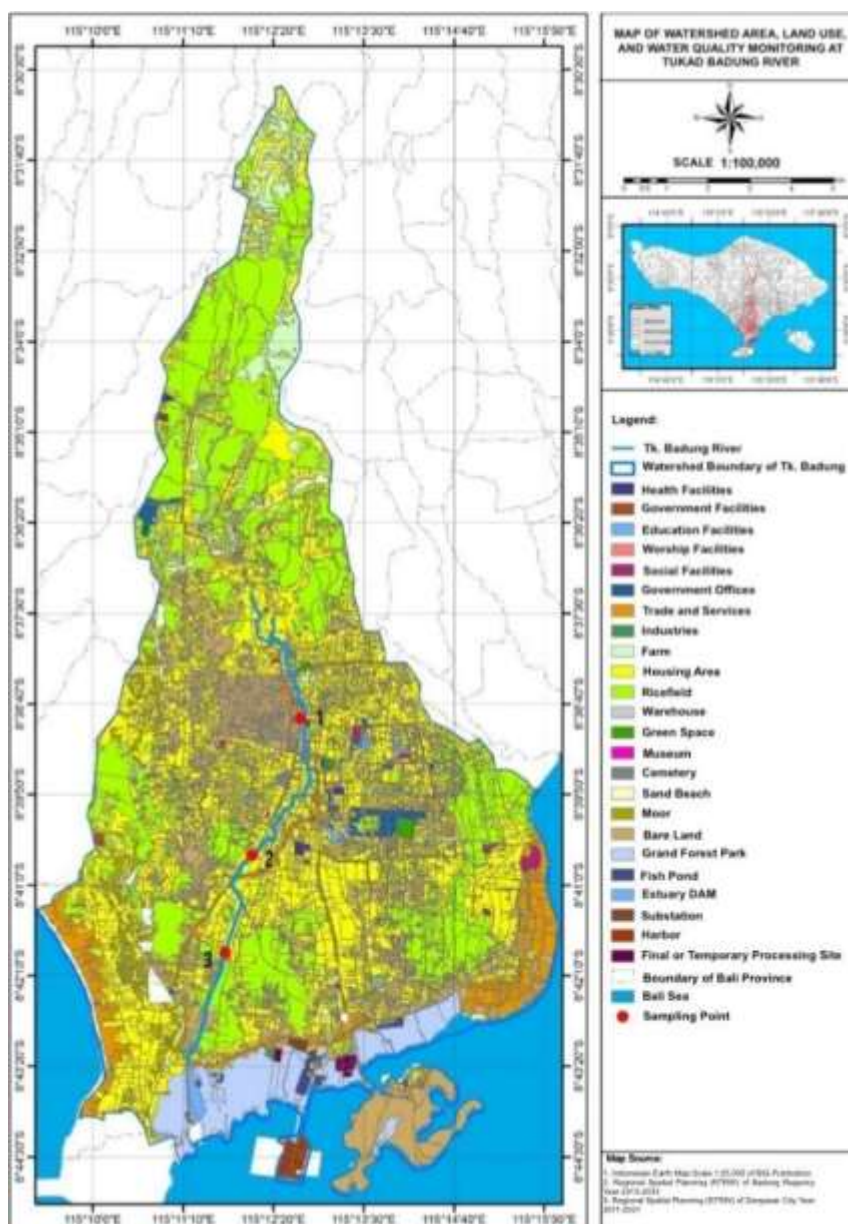
Sub DAS Way Kuripan di Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung, merupakan wilayah yang memiliki kombinasi kerentanan tinggi: morfologi wilayah berbukit curam, perubahan tutupan lahan yang cepat, dan keterbatasan sistem drainase alami maupun buatan. Peristiwa banjir bandang yang terjadi pada awal tahun 2024 menyebabkan kerusakan besar pada jalan desa, tanggul sungai, rumah warga, dan lahan pertanian. Peristiwa ini menjadi kasus ideal untuk dianalisis secara forensik dalam rangka memahami bagaimana karakteristik hujan, kondisi DAS, dan aliran permukaan dapat berkontribusi terhadap daya rusak air (Balahanti et al., 2023).

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis daya rusak aliran permukaan saat banjir bandang dengan pendekatan kuantitatif berbasis hidrologi forensik (Rizquillah et al., 2023). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan pemahaman teknis terhadap risiko banjir dan mendukung kebijakan mitigasi bencana berbasis data.

Metodologi Studi

1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS) Way Kuripan yang berada di Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung. Sub DAS ini merupakan bagian dari sistem DAS Way Sekampung dan memiliki luas sekitar 56 km². Wilayah ini didominasi oleh topografi berbukit dengan kemiringan lahan yang cukup curam di bagian hulu, serta ditandai oleh adanya perubahan penggunaan lahan yang cukup signifikan dalam dua dekade terakhir (Setiawan et al., 2020).



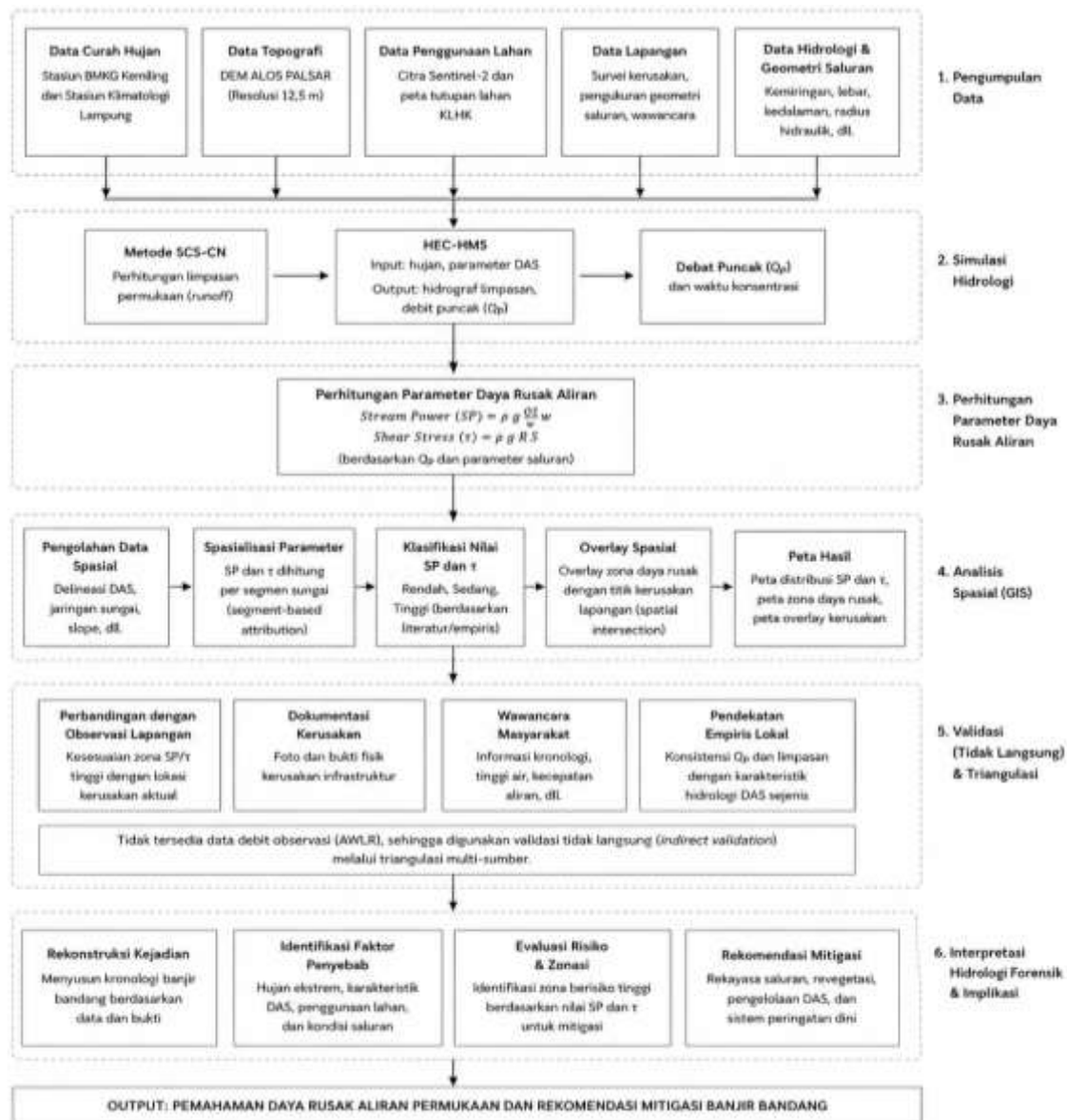
(sumber: Google, 2025)

Gambar1. Peta Sub DAS Way Kuripan

2. Pendekatan dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus dengan rancangan analitis-kuantitatif yang berfokus pada integrasi data hidrometeorologis, morfometri DAS, dan bukti kerusakan lapangan untuk merekonstruksi kejadian banjir bandang secara menyeluruh.

Tahapan penelitian dilakukan secara terintegrasi mulai dari pengumpulan data hidrometeorologi, simulasi hidrologi, analisis parameter daya rusak aliran, analisis spasial, hingga interpretasi hidrologi forensik. Alur metodologi penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



(sumber: Google, 2025)

Gambar 2. Diagram Alur Metodologi Penelitian

Diagram alur tersebut menunjukkan hubungan antar tahapan analisis yang digunakan untuk merekonstruksi kejadian banjir bandang dan mengevaluasi karakteristik daya rusak aliran permukaan di Sub DAS Way Kuripan. Proses penelitian dibagi ke dalam tiga tahap utama berikut:

a. Pengumpulan Data Sekunder dan Primer

Tahap awal mencakup akuisisi data curah hujan harian dari stasiun klimatologi terdekat, data topografi berupa DEM ALOS PALSAR, serta peta penggunaan lahan dari KLHK dan interpretasi citra satelit Sentinel-2. Selain itu, dilakukan survei lapangan untuk mengidentifikasi titik-titik kerusakan aktual, mendokumentasikan kondisi saluran dan infrastruktur (Di et al., 2022), serta wawancara warga terdampak untuk memperoleh informasi kualitatif yang mendukung analisis.

b. Simulasi Hidrologi dan Perhitungan Daya Rusak Aliran

Data yang terkumpul digunakan dalam simulasi hidrologi menggunakan metode SCS-CN untuk menghitung volume limpasan dan HEC-HMS untuk memperoleh debit puncak banjir. Dengan hasil debit puncak dan parameter saluran (kemiringan, lebar, radius hidraulik), dilakukan perhitungan kuantitatif terhadap parameter daya rusak aliran seperti stream power dan shear stress (Sakdiah & Rahmawati, 2021). Perhitungan ini bertujuan mengestimasi potensi energi destruktif aliran permukaan saat kejadian banjir bandang.

c. Analisis Spasial dan Interpretasi Forensik:

Nilai-nilai parameter daya rusak diplotkan dalam bentuk peta spasial menggunakan QGIS. Lokasi dengan nilai stream power tinggi dibandingkan secara spasial dengan lokasi kerusakan aktual dari dokumentasi lapangan. Tahap ini juga melibatkan analisis pola penyebaran kerusakan untuk mengidentifikasi keterkaitan antara karakteristik fisik DAS dan dampak banjir (Jannah & ITRATIP, 2017). Interpretasi hasil dilakukan dengan pendekatan forensik untuk menyusun kronologi, sebab akibat, dan potensi risiko ulang di masa depan.

3. Data dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari berbagai sumber data sekunder dan primer yang bersifat kuantitatif dan kualitatif, sebagai berikut:

a. Data Curah Hujan

Merupakan data harian dari dua stasiun utama, yaitu Stasiun BMKG Kemiling dan Stasiun Klimatologi Lampung. Data ini digunakan untuk menentukan intensitas dan akumulasi hujan selama periode kejadian banjir, serta sebagai input dalam perhitungan limpasan menggunakan metode SCS-CN dan simulasi debit puncak pada HEC-HMS.

b. Data Topografi

Menggunakan Model Elevasi Digital (DEM) ALOS PALSAR dengan resolusi spasial 12.5 meter. DEM ini digunakan untuk analisis morfometri DAS seperti luas, panjang alur utama, kemiringan, dan deliniasi sub DAS. Data topografi ini juga menjadi dasar dalam menghitung parameter kemiringan saluran dan radius hidraulik (Febriyanti et al., 2023).

c. Data Penggunaan Lahan

Data ini diperoleh dari interpretasi citra satelit Sentinel-2 yang dikombinasikan dengan peta resmi tutupan lahan dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Informasi ini digunakan untuk menentukan nilai Curve Number (CN) berdasarkan klasifikasi jenis penggunaan lahan dan tipe tanah, serta untuk menilai degradasi vegetasi yang mempengaruhi volume limpasan.

d. Dokumentasi Lapangan Data

Dikumpulkan melalui survei langsung ke lokasi terdampak banjir. Dokumentasi meliputi foto kerusakan infrastruktur (jalan, jembatan, tanggul, pemukiman), wawancara semi-terstruktur dengan warga terdampak dan perangkat desa, serta

pengukuran manual terhadap dimensi saluran (lebar, kedalaman) pada titik-titik kritis.

e. Data Hidrologi dan Geometri Saluran

Termasuk parameter fisik saluran seperti kemiringan saluran (diperoleh dari analisis DEM dan pengukuran lapangan), radius hidraulik, lebar dan kedalaman saluran, serta estimasi debit aliran dari hasil simulasi HEC-HMS (Di et al., 2022). Data ini menjadi dasar dalam perhitungan nilai stream power dan shear stress untuk menganalisis potensi daya rusak aliran saat kejadian banjir (Raco et al., 2022).

4. Simulasi dan Perhitungan

Simulasi limpasan permukaan dilakukan menggunakan metode SCS-Curve Number (CN) untuk menentukan volume limpasan. Estimasi debit puncak dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-HMS versi 4.10 berdasarkan data curah hujan aktual dan parameter DAS. Selanjutnya, parameter daya rusak dihitung berdasarkan:

Stream Power (SP):

$$SP = \frac{\rho g Q S}{w} \quad (1)$$

Dimana:

ρ : densitas air (1000 kg/m³), g : gravitasi (9.81 m/s²), Q : debit aliran (m³/s), S : kemiringan saluran, dan w : lebar saluran (m).

Shear Stress (τ):

$$\tau = \rho g R S \quad (2)$$

Dimana R = radius hidraulik (m).

Parameter stream power dipilih karena mampu merepresentasikan energi aliran yang tersedia untuk melakukan kerja geomorfik seperti erosi, pengangkutan sedimen, dan kerusakan infrastruktur. Sementara itu, shear stress digunakan untuk menggambarkan gaya geser aliran terhadap dasar dan tebing saluran yang berpengaruh terhadap kestabilan material permukaan. Kedua parameter tersebut banyak digunakan dalam analisis hidraulik banjir bandang karena mampu menjelaskan hubungan antara karakteristik aliran dan tingkat kerusakan fisik yang ditimbulkan.

5. Kalibrasi dan Validasi Model

Karena keterbatasan data debit observasi pada saat kejadian banjir bandang, proses kalibrasi model HEC-HMS secara langsung tidak dapat dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan pendekatan validasi tidak langsung (indirect validation) melalui triangulasi berbagai sumber data lapangan dan empiris. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi debit puncak terhadap:

- a. dokumentasi tinggi genangan dan kerusakan lapangan,
- b. kapasitas geometrik saluran hasil pengukuran lapangan,
- c. pola sebaran kerusakan infrastruktur,

d. karakteristik hidrologi DAS berdasarkan pendekatan empiris regional.

Selain itu, hasil simulasi diverifikasi secara spasial melalui overlay antara zona dengan nilai stream power tinggi dan lokasi kerusakan aktual hasil survei lapangan. Tingkat kesesuaian spasial yang tinggi menunjukkan bahwa model mampu merepresentasikan karakteristik daya rusak banjir bandang secara memadai.

6. Analisis Spasial dan Overlay

Hasil estimasi daya rusak diplotkan ke dalam peta spasial menggunakan software QGIS. Peta ini kemudian dibandingkan (overlay) dengan lokasi kerusakan aktual yang terdokumentasi di lapangan untuk melihat korelasi spasial antara nilai stream power/shear stress dengan titik kerusakan infrastruktur.

Analisis spasial dilakukan menggunakan perangkat lunak QGIS versi 3.34 untuk memetakan distribusi parameter daya rusak aliran. Data DEM ALOS PALSAR digunakan untuk menghasilkan peta kemiringan lereng (slope map) melalui analisis terrain. Nilai stream power dan shear stress dihitung pada setiap segmen saluran berdasarkan parameter hidraulik hasil simulasi HEC-HMS dan pengukuran lapangan.

Proses spasialisasi parameter dilakukan menggunakan metode segment-based attribution pada jaringan sungai tanpa interpolasi raster, karena parameter dihitung langsung berdasarkan karakteristik fisik tiap segmen saluran. Nilai stream power kemudian diklasifikasikan menjadi tiga kelas daya rusak, yaitu rendah (<100 W/m²), sedang (100–300 W/m²), dan tinggi (>300 W/m²), mengacu pada pendekatan empiris kerusakan hidraulik pada saluran alami dan infrastruktur sungai.

Analisis overlay dilakukan menggunakan teknik spatial intersection antara peta zona daya rusak dan titik kerusakan hasil survei lapangan. Tingkat kesesuaian spasial dianalisis untuk mengevaluasi hubungan antara distribusi energi aliran dan kerusakan aktual yang terjadi selama peristiwa banjir bandang.

7. Validasi dan Triangulasi

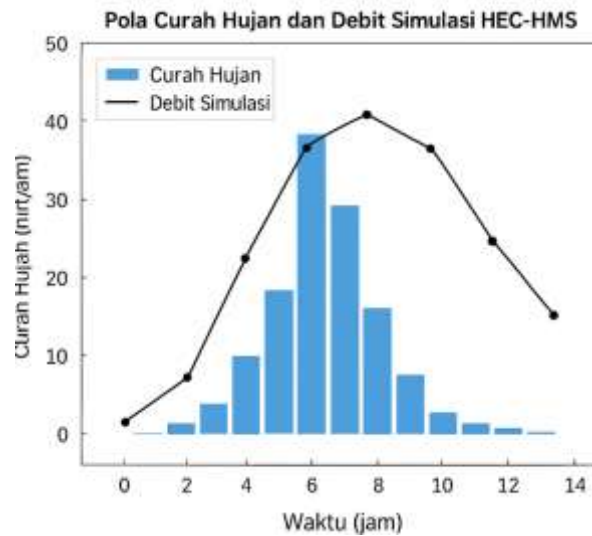
Untuk memperkuat hasil, dilakukan triangulasi melalui:

- a. Wawancara singkat dengan warga terdampak
- b. Foto-foto lapangan yang menunjukkan dampak kerusakan
- c. Validasi parameter debit dan limpasan dengan pendekatan empiris lokal

Hasil Studi dan Pembahasan

1. Curah Hujan dan Simulasi Debit

Hasil analisis data curah hujan menunjukkan bahwa pada tanggal 11 Januari 2024 terjadi curah hujan ekstrem sebesar 128 mm/hari di wilayah Sub DAS Way Kuripan. Berdasarkan simulasi HEC-HMS, debit puncak yang dihasilkan dari kejadian tersebut mencapai 132,5 m³/s, dengan waktu konsentrasi sekitar 2,1 jam. Debit ini tergolong sangat tinggi untuk DAS kecil dengan luas 56 km², dan menunjukkan kapasitas destruktif yang besar.

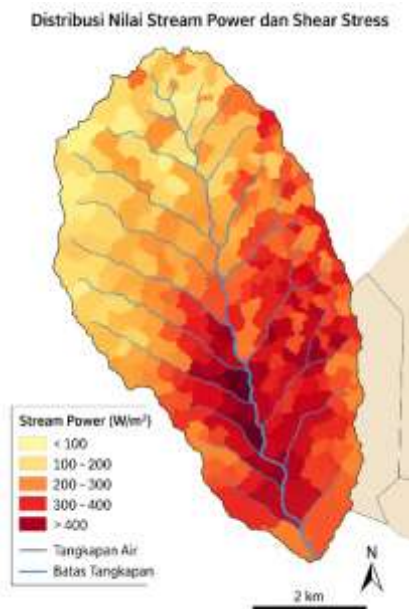


(sumber: Muhammad Hakiem Sedo Putra, 2025)

Gambar1. Curah Hujan dan Simulasi Debit HEC-HMS

2. Distribusi Nilai Stream Power dan Shear Stress

Perhitungan daya rusak aliran dilakukan dengan pendekatan Stream Power (SP) dan Shear Stress (τ). Hasilnya menunjukkan bahwa nilai SP tertinggi mencapai 365,2 W/m², terutama pada segmen sungai dengan kemiringan >8% dan lebar saluran <4 meter. Titik-titik dengan nilai shear stress >100 N/m² juga ditemukan pada area dengan radius hidraulik kecil dan dasar saluran berbatu.

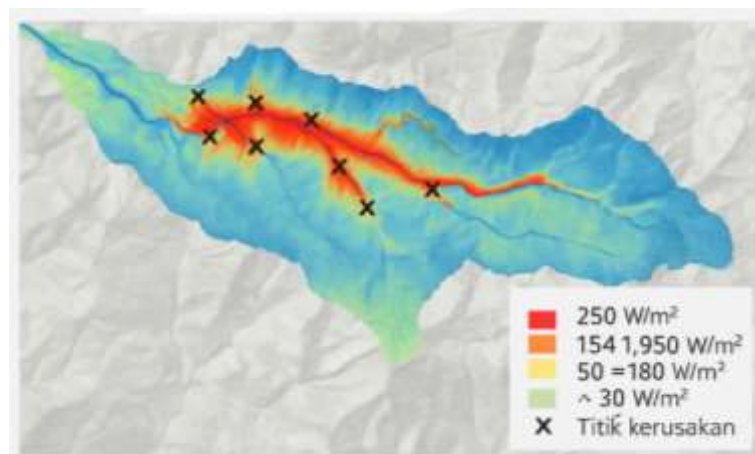


(sumber: Muhammad Hakiem Sedo Putra, 2025)

Gambar2. Distribusi Nilai Stream Power dan Shear Stress

3. Overlay dengan Titik Kerusakan Lapangan

Analisis overlay spasial antara hasil pemodelan stream power dan dokumentasi kerusakan lapangan menunjukkan kecocokan tinggi. Dari total 12 titik kerusakan infrastruktur yang terdokumentasi, 10 di antaranya berada pada zona dengan nilai SP >250 W/m². Hal ini mengindikasikan bahwa variabel stream power merupakan indikator yang relevan dalam memprediksi daya rusak banjir bandang.



(sumber: Muhammad Hakiem Sedo Putra, 2025)

Gambar 3. Overlay Titik Kerusakan subDAS

4 Pembahasan Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingginya nilai stream power pada segmen tertentu di Sub DAS Way Kuripan berkaitan erat dengan kombinasi debit puncak yang besar, kemiringan saluran yang curam, dan penyempitan geometri sungai. Secara hidraulik, peningkatan debit dan kemiringan akan meningkatkan energi spesifik aliran sehingga kemampuan aliran untuk mengerosi, mengangkut sedimen, dan merusak struktur di sekitar saluran menjadi lebih besar. Kondisi ini menjelaskan mengapa sebagian besar kerusakan infrastruktur ditemukan pada segmen sungai dengan nilai stream power tinggi.

Selain dipengaruhi faktor hidraulik, perubahan penggunaan lahan di wilayah hulu diduga turut mempercepat respons limpasan permukaan. Berkurangnya vegetasi penutup lahan menyebabkan infiltrasi menurun dan meningkatkan limpasan langsung (direct runoff), sehingga waktu konsentrasi menjadi relatif singkat. Kondisi ini memperbesar potensi terjadinya banjir bandang dengan karakteristik aliran berenergi tinggi.

Nilai stream power maksimum sebesar 365,2 W/m² pada penelitian ini menunjukkan kategori daya rusak tinggi terhadap saluran alami dan infrastruktur ringan. Nilai tersebut sejalan dengan beberapa studi hidraulik banjir bandang yang menyatakan bahwa stream power di atas 300 W/m² memiliki kemampuan signifikan dalam menyebabkan erosi tebing, pengangkutan material kasar, dan kerusakan struktur sederhana pada daerah aliran sungai berlereng curam.

Hasil overlay spasial menunjukkan bahwa 10 dari 12 titik kerusakan berada pada zona dengan nilai stream power tinggi. Namun demikian, hubungan antara

parameter hidrologi dan kerusakan infrastruktur tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya energi aliran, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi material bangunan, stabilitas tebing, kapasitas saluran, serta keberadaan sedimen dan material hanyutan selama banjir berlangsung. Dengan demikian, kerusakan yang terjadi merupakan hasil interaksi kompleks antara karakteristik hidrologi, geomorfologi, dan kondisi infrastruktur lokal.

Pendekatan hidrologi forensik dalam penelitian ini memberikan keuntungan karena mampu mengintegrasikan simulasi hidrologi, bukti lapangan, dan analisis spasial dalam merekonstruksi kejadian bencana secara sistematis. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi area kritis berbasis proses fisik aliran sehingga dapat mendukung penyusunan strategi mitigasi yang lebih adaptif pada wilayah DAS rawan banjir bandang.

5. Ketidakpastian dan Keterbatasan Model

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil. Model SCS-CN yang digunakan mengasumsikan hubungan empiris antara hujan dan limpasan berdasarkan kondisi penggunaan lahan dan tipe tanah yang bersifat homogen, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan variabilitas spasial kondisi lapangan. Selain itu, model HEC-HMS digunakan dengan asumsi parameter DAS yang bersifat lumped, sehingga penyebaran aliran secara detail pada skala mikro belum dapat dimodelkan secara penuh.

Keterbatasan utama penelitian ini adalah tidak tersedianya data debit observasi (*Automatic Water Level Recorder/AWLR*) saat kejadian banjir, sehingga proses kalibrasi model dilakukan secara tidak langsung melalui pendekatan triangulasi lapangan dan validasi spasial. Oleh karena itu, hasil simulasi debit dan parameter daya rusak masih memiliki tingkat ketidakpastian tertentu.

Sensitivitas parameter terutama dipengaruhi oleh nilai Curve Number (CN), intensitas hujan, kemiringan saluran, dan dimensi geometri sungai. Perubahan kecil pada parameter-parameter tersebut dapat mempengaruhi hasil estimasi debit puncak maupun nilai *stream power*. Meskipun demikian, kesesuaian spasial yang tinggi antara hasil simulasi dan kerusakan aktual menunjukkan bahwa model masih mampu menggambarkan pola umum daya rusak banjir bandang secara memadai. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan hidrologi forensik mampu digunakan untuk merekonstruksi mekanisme banjir bandang dan mengevaluasi karakteristik daya rusak aliran permukaan pada Sub DAS Way Kuripan secara kuantitatif dan spasial. Integrasi simulasi hidrologi, parameter hidraulik, analisis spasial GIS, dan observasi lapangan terbukti efektif dalam mengidentifikasi zona-zona kritis yang memiliki potensi kerusakan tinggi.

Hasil analisis menunjukkan bahwa tingginya daya rusak aliran dipengaruhi oleh kombinasi curah hujan ekstrem, morfologi DAS yang curam, penyempitan saluran, serta perubahan penggunaan lahan yang meningkatkan limpasan permukaan. Nilai *stream power* terbukti memiliki keterkaitan yang kuat terhadap pola kerusakan

infrastruktur, sehingga parameter ini dapat digunakan sebagai indikator penting dalam analisis risiko banjir bandang pada DAS kecil di wilayah tropis.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini tidak hanya memberikan gambaran mengenai lokasi terdampak, tetapi juga membantu menjelaskan mekanisme fisik yang menyebabkan kerusakan selama kejadian banjir. Dengan demikian, metode hidrologi forensik berpotensi dikembangkan sebagai pendekatan evaluatif dan prediktif dalam perencanaan mitigasi bencana berbasis DAS.

Saran

1. Diperlukan integrasi pendekatan hidrologi forensik ke dalam sistem perencanaan tata ruang dan sistem peringatan dini di daerah rawan banjir bandang.
2. Pemerintah daerah perlu meningkatkan kapasitas monitoring hidrologi dan pemetaan risiko spasial, terutama pada sub DAS yang memiliki morfologi curam dan tutupan lahan yang mulai terdegradasi.
3. Penelitian lanjutan sebaiknya menggabungkan data historis multi-tahun serta teknologi drone untuk akurasi spasial yang lebih tinggi.
4. Pendidikan masyarakat dan pemangku kepentingan lokal mengenai daya rusak air harus menjadi bagian penting dari program mitigasi bencana..

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dilakukan secara mandiri oleh penulis dan tim tanpa dukungan dana dari lembaga manapun. Oleh karena itu, penulis menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi secara langsung maupun tidak langsung dalam kelancaran proses penelitian ini.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada warga Sub DAS Way Kuripan, khususnya para tokoh masyarakat dan aparat desa, atas kesediaan menerima kunjungan dan memberikan informasi lapangan yang sangat penting bagi validasi temuan penelitian ini.

Terakhir, penulis berharap hasil studi ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan ilmu kebencanaan air dan menjadi referensi bagi pengambil kebijakan dalam upaya mitigasi risiko banjir bandang di masa mendatang. oleh penulis dan tim tanpa dukungan dana dari lembaga manapun. Penulis menyampaikan terima kasih kepada warga Sub DAS Way Kuripan atas partisipasi dan informasi lapangan yang diberikan, serta kepada mahasiswa dan rekan sejawat yang turut serta dalam pengumpulan data dan validasi di lapangan.

Daftar Referensi

- Balahanti, R., Mononimbar, W., & Gosal, P. H. (2023). Kerentanan Banjir Di Kecamatan Singkil Kota Manado. *Jurnal spasial*, 11(1), 69-79.
- Di, H., Pasar, K., Pagi, P., Anwar, K. K., & Leuser, G. (2022). Kajian Sistem Jaringan Drainase Guna Menanggulangi Genangan Air Hujan Di Kawasan Pasar Pajak Pagi Kutacane: Study of the Drainage Network System to. *Jurnal.Ceredindonesia.or.Id*, 3(1), 7–12.
<https://doi.org/10.53695/jm.v3i1.643>

- Jannah, W., & ITRATIP, I. (2017). Analisa Penyebab Banjir Dan Normalisasi Sungai Unus Kota Mataram. *Jurnal Ilmiah Mandala Education*, 3(1), 242-249. <https://doi.org/10.58258/jime.v3i1.60>
- Riska, R., Fauziah, Y., Hayatunnufus, I., Fatimah, S., Effendi, M., Rayyan, M., ... & Hadijah, S. (2021). Pelaksanaan Kuliah Kerja Nyata (Kkn) Di Desa Sungai Panangah Angkatan Xxiii Kecamatan Danau Panggangkabupaten Hulu Sungai Utara. *Journal of Community Dedication*, 1(1), 37-47.
- Nandini, R., & Kusumandari, A. (2022). Land use improvement as the drought mitigation to manage climate change in the Dodokan Watershed, Lombok, Indonesia. *Land*, 11(7), 1060. <https://doi.org/10.3390/land11071060>
- Napitupulu, R. T., & Putra, M. H. S. (2024). Pengaruh bod, cod dan do terhadap lingkungan dalam penentuan kualitas air bersih di sungai pesanggrahan. *Civeng: jurnal teknik sipil dan lingkungan*, 5(2), 79-82. <https://doi.org/10.30595/civeng.v5i2.17878>
- Febriyanti, R., Vita, N., Rahayu, A., Pitaloka, W. D., & Yakob, A. (2023). Edukasi Pemilahan Sampah sebagai Upaya Penanganan Masalah Sampah di SD Muhammadiyah Baitul Fallah Mojogedang. 5 (1), 37-45. <https://doi.org/10.23917/bkkndik.v5i1.22456>
- Caesarina, H. M., & Rahmani, D. R. (2021). Keterkaitan Permukiman Tepi Sungai dan Ruang Terbuka Hijau-Biru terhadap Kerentanan Bencana Banjir di Kota Kasongan Kalimantan Tengah. In *Perencanaan dan Pemanfaatan Ruang Berbasis Pengurangan Resiko Bencana. Seminar Nasional Plano Earth (Vol. 2, pp. 88-92)*.
- Raco, B., Wicaksono, A., Triweko, R. W., Kunci, K., Tondano, D., Erosi, L., Erosi, B., & Lahan, T. (2022). Tingkat Bahaya Erosi Akibat Perubahan Tutupan Lahan Pada Daerah Tangkapan Air Danau Tondano. *Sipil.Ejournal.Web.Id*, 11(1). <https://www.sipil.ejournal.web.id/index.php/jts/article/view/506>
- Rizqullah, E. F., Feriska, Y., & Tolani, M. (2023). Analisis Tata Kelola Drainase Perkotaan Sigeleng dalam Mengatasi Banjir di Kecamatan Brebes. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(2), 10103-10111.
- Sakdiyah, C., & Rahmawati, D. (2021). Strategi Penanganan Permukiman Kumuh Kawasan DAS Metro Kota Malang Berdasarkan Prinsip Sustainable Development Goals (SDGs). *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), C223-C230.
- Sulaiman, M. E., Setiawan, H., Jalil, M., Purwadi, F., Brata, A. W., & Jufda, A. S. (2020). Analisis penyebab banjir di kota Samarinda. *Jurnal Geografi Gea*, 20(1, April), 39-43. <https://doi.org/10.17509/gea.v20i1.22021>
- Sakti, P. (2022). Perencanaan Drainase Sebagai Upaya Penanggulangan Analisis Banjir Di Desa Analahumbuti Kecamatan Anggoota Kabupaten Konawe. *SIBATIK JOURNAL: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, Dan Pendidikan*, 1(7), 1263-1270. <https://doi.org/10.54443/sibatik.v1i7.151>