

Integrasi Variabilitas Curah Hujan dan Perubahan Penggunaan Lahan untuk Pemetaan Potensi Banjir dan Banjir Bandang di Kabupaten Bireuen, Aceh

Safrizal¹, Cut Azizah^{1*}, Abdul Malik¹, Sarif Robo², dan Misnawati³

¹Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Universitas Almuslim, Indonesia; e-mail: cut.azizah13@gmail.com

²Prodi Ilmu Tanah, Universitas Khairun, Ternate, Maluku Utara, Indonesia

³Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia

ABSTRAK

Banjir dan banjir bandang merupakan bencana hidrometeorologi yang berulang di Kabupaten Bireuen, Aceh, yang dipengaruhi oleh variabilitas curah hujan, perubahan penggunaan lahan, dan kondisi biofisik wilayah. Penelitian ini bertujuan menganalisis variabilitas curah hujan dan perubahan penggunaan lahan serta memetakan potensi banjir dan banjir bandang di Kabupaten Bireuen. Variabilitas curah hujan dianalisis menggunakan data CHIRPS periode 1981–2024 melalui pola tahunan, musiman, dan Antecedent Precipitation Index lima hari (API5) sebagai indikator kondisi basah sebelum kejadian. Perubahan penggunaan lahan dianalisis dengan membandingkan data tahun 1990 dan hasil klasifikasi citra Landsat 9 OLI 2 tahun 2025. Analisis spasial mengintegrasikan perubahan penggunaan lahan dengan Hydrologic Soil Group (HSG), Curve Number (CN), serta Flash Flood Potential Index (FFPI) untuk menggambarkan potensi banjir dan banjir bandang. Hasil menunjukkan bahwa curah hujan di Bireuen memiliki pola ekuatorial dengan dua puncak hujan pada Maret–April dan November–Desember, sedangkan API5 tinggi pada tahun 2020 berasosiasi dengan kejadian banjir besar pada tahun yang sama. Perubahan penggunaan lahan menunjukkan berkurangnya hutan dan semak belukar disertai peningkatan perkebunan dan permukiman selama periode 1990–2025. Sekitar 90,6% wilayah didominasi HSG C dan D yang memiliki kemampuan infiltrasi rendah hingga sangat rendah, sementara 54,7% wilayah berada pada kategori CN tinggi. Hasil FFPI menunjukkan bahwa 63,0% wilayah berada pada kategori potensi banjir bandang sedang dan 27,5% pada kategori tinggi, dengan variasi yang jelas antarkecamatan. Pola spasial tersebut menunjukkan bahwa potensi banjir dan banjir bandang di Kabupaten Bireuen berkaitan dengan kombinasi kondisi hidrometeorologi, penggunaan lahan, karakteristik tanah, dan fisiografi wilayah, sehingga pemetaan potensi dapat mendukung perencanaan tata ruang dan penentuan wilayah prioritas mitigasi.

Kata kunci: Banjir bandang, Curah hujan, Perubahan penggunaan lahan, Curve Number, Tropis lembap

ABSTRACT

Floods and flash floods are recurrent hydrometeorological hazards in Bireuen Regency, Aceh, whose characteristics are influenced by rainfall variability, land use change, and local biophysical conditions. This study analyzes rainfall variability and land use change and maps flood and flash flood potential across Bireuen Regency. Rainfall variability was assessed using CHIRPS data for 1981–2024 based on annual and seasonal patterns and the five day Antecedent Precipitation Index (API5) as an indicator of wet conditions prior to an event. Land use change was analyzed by comparing 1990 land use data with the classification of Landsat 9 OLI 2 imagery for 2025. The spatial analysis integrated land use change with the HSG, CN, and FFPI to characterize flood and flash flood potential. The results show an equatorial rainfall pattern with two rainfall peaks in March–April and November–December, while high API5 values in 2020 were associated with a major flood event in the same year. Land use change from 1990 to 2025 was characterized by reductions in forest and shrubland and increases in plantation and settlement areas. Approximately 90.6% of the study area is dominated by HSG C and D, which are characterized by low to very low infiltration capacity, while 54.7% of the area falls within the high CN category. The FFPI results indicate that 63.0% of the area is classified as having moderate flash flood potential and 27.5% as high, with clear spatial variation among subdistricts. These spatial patterns indicate that flood and flash flood potential in Bireuen is associated with the combined influence of hydrometeorological conditions, land use, soil characteristics, and physiography, providing a basis for spatial planning and the identification of priority areas for disaster mitigation.

Keywords: Flash flood, Rainfall, Land use change, Curve Number, Humid tropics

Citation: Safrizal, Azizah, C., Malik, A., Robo, S., dan Misnawati. (2026). Integrasi Variabilitas Curah Hujan dan Perubahan Penggunaan Lahan untuk Pemetaan Potensi Banjir dan Banjir Bandang di Kabupaten Bireuen, Aceh. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(4), 891-899, doi:10.14710/jil.24.4.891-899

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan bencana hidrometeorologi yang paling dominan di Indonesia. Pada tahun 2024, tercatat 1.420 kejadian banjir dari total 3.472 kejadian bencana nasional, atau sekitar 40,9% (BNPB, 2025). Dampaknya meliputi kerusakan fisik, kerugian ekonomi, hingga ancaman keselamatan jiwa, terutama di wilayah dengan kondisi fisiografi kompleks dan tekanan pembangunan yang meningkat (Azizah *et al.*, 2022; Faradiba, 2022; Ilyas *et al.*, 2025). Secara hidrologis, banjir terjadi ketika masukan air melampaui kemampuan tanah dan sistem aliran dalam menyimpan serta mengalirkan air, sehingga meningkatkan limpasan permukaan yang dapat menggenangi permukiman, infrastruktur, serta lahan produktif (Azizah *et al.*, 2019; Ritter *et al.*, 2021).

Dalam konteks hidrologi tropis, potensi banjir berkaitan dengan interaksi kondisi meteorologis dan karakteristik biofisik wilayah. Variabilitas curah hujan, termasuk akumulasi hujan sebelum kejadian, menentukan kondisi basah awal yang dapat memengaruhi respons hidrologi terhadap hujan berikutnya (Tao and Barros, 2013; Collalti *et al.*, 2024; Azizah *et al.*, 2026). Data CHIRPS menyediakan rekaman curah hujan beresolusi 0,05° sejak 1981 dan banyak digunakan untuk mengkaji variabilitas hidrometeorologi pada wilayah dengan keterbatasan pengamatan stasiun (Funk *et al.*, 2015). Pada sisi lain, perubahan penggunaan lahan mengubah karakteristik infiltrasi dan pembentukan limpasan melalui perubahan tutupan permukaan, terutama ketika vegetasi alami dikonversi menjadi lahan budidaya atau kawasan terbangun (Permatasari *et al.*, 2017; Kelana *et al.*, 2024; Saraswati *et al.*, 2025). Pengaruh iklim dan perubahan penggunaan lahan terhadap respons aliran juga dilaporkan pada berbagai DAS, meskipun kontribusi relatif keduanya berbeda menurut karakteristik wilayah dan skala kejadian (Wray *et al.*, 2024).

Banjir bandang memiliki karakter yang berbeda dengan banjir genangan karena respons alirannya lebih cepat dan sangat dipengaruhi oleh kondisi topografi, karakteristik DAS, kemampuan pembentukan limpasan, serta kondisi hidrometeorologi sebelum dan selama kejadian (Tao and Barros, 2013; Lazarević *et al.*, 2023; Azizah *et al.*, 2026). Kajian pada DAS tropis lembap di Sumatra menunjukkan bahwa kondisi basah sebelum kejadian, curah hujan pemicu, karakteristik morfometri, dan potensi limpasan memberikan informasi yang saling melengkapi dalam menjelaskan potensi banjir bandang (Azizah *et al.*, 2022; Azizah *et al.*, 2026). Pembedaan mekanisme tersebut penting agar pemetaan potensi banjir tidak hanya didasarkan pada curah hujan, tetapi juga mempertimbangkan sifat hidrologi tanah, penggunaan lahan, dan faktor fisik yang mengontrol respons aliran.

Kabupaten Bireuen menunjukkan konteks lokal yang relevan karena kejadian banjir berulang tercatat pada beberapa wilayah. Pada November 2023, luapan

Sungai Leubu menggenangi empat gampong di Kecamatan Makmur dan berdampak pada permukiman, persawahan, serta badan jalan (BPBA, 2023). Pada Maret 2025, banjir kembali terjadi di Kecamatan Juli, Peudada, Makmur, dan Pandrah; di Peudada tercatat 70 rumah terendam, sedangkan di Kecamatan Juli dua orang terseret arus, dengan satu korban meninggal dunia dan satu orang dilaporkan hilang (BPBA, 2025). Wilayah ini mencakup bentang alam dari dataran pesisir hingga wilayah dengan topografi lebih tinggi di bagian selatan, serta dilalui oleh beberapa DAS, termasuk Peusangan, Peudada, Pandrah, Samalanga, dan Nalan. Variasi kondisi tersebut menyebabkan karakter potensi banjir tidak seragam secara spasial, sementara bagian yang lebih curam juga memiliki karakteristik yang relevan terhadap pembentukan banjir bandang.

Berbagai penelitian sebelumnya telah menyoroti peran curah hujan ekstrem maupun perubahan penggunaan lahan terhadap respons banjir. Namun, kajian di Aceh dan DAS tropis Indonesia masih lebih banyak mengevaluasi komponen tersebut pada skala DAS atau menitikberatkan pada aspek tertentu, seperti karakteristik hidrologi, perubahan penggunaan lahan, potensi limpasan, atau potensi banjir bandang (Azizah *et al.*, 2021; Azizah *et al.*, 2022; Kelana *et al.*, 2024; Saraswati *et al.*, 2025; Azizah *et al.*, 2026). Pada skala Kabupaten Bireuen, integrasi variabilitas curah hujan jangka panjang dan kondisi basah sebelum kejadian dengan perubahan penggunaan lahan multitemporal, HSG, CN, serta FFPI belum banyak dikembangkan dalam satu kerangka spasial untuk membedakan potensi banjir dan banjir bandang. Pendekatan tersebut memungkinkan kondisi klimatologis dan perubahan permukaan lahan dibaca bersama dengan karakteristik hidrologi dan fisiografi wilayah, tanpa menempatkan seluruh proses banjir pada satu faktor tunggal.

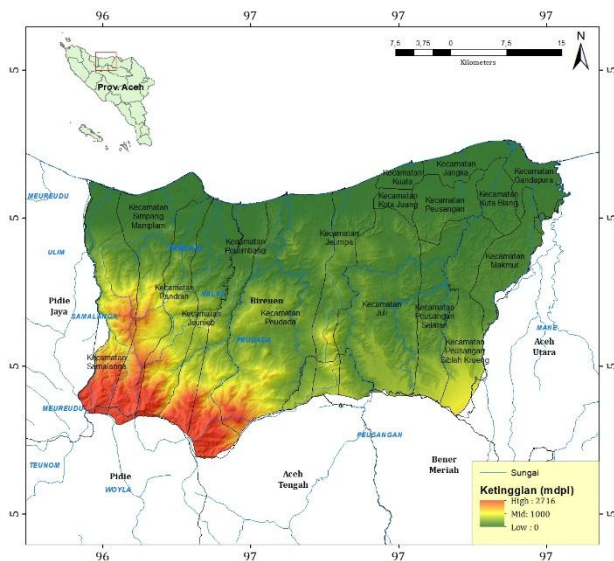
Penelitian ini bertujuan menganalisis variabilitas curah hujan dan perubahan penggunaan lahan serta mengintegrasikan parameter klimatologis dan biofisik untuk memetakan potensi banjir dan banjir bandang di Kabupaten Bireuen. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi curah hujan CHIRPS periode 1981–2024 dan API5 dengan perubahan penggunaan lahan 1990–2025, HSG, CN, serta FFPI pada skala kabupaten. Pendekatan spasial tersebut juga digunakan untuk mengidentifikasi variasi potensi banjir bandang antarkecamatan sebagai informasi bagi pengelolaan DAS, perencanaan tata ruang, dan penentuan wilayah prioritas mitigasi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif spasial untuk menganalisis variabilitas curah hujan dan perubahan penggunaan lahan serta memetakan potensi banjir dan banjir bandang di Kabupaten Bireuen, Provinsi Aceh. Analisis dilakukan melalui integrasi data klimatologis dan biofisik dalam SIG.

2.1. Lokasi Penelitian

Kabupaten Bireuen terletak di pesisir utara Provinsi Aceh dan terdiri atas 17 kecamatan. Topografinya bervariasi dari dataran rendah hingga pegunungan (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Kabupaten Bireuen, Aceh, Indonesia, yang Menunjukkan Variasi Ketinggian dari Pesisir Utara hingga Pegunungan di Selatan

2.2. Data dan Sumber Data

Data klimatologi berupa curah hujan harian periode 1981–2024 diperoleh dari CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station) beresolusi $0,05^\circ \times 0,05^\circ$. Data ini digunakan untuk menganalisis variabilitas curah hujan dan menghitung API5 sebagai indikator kondisi basah sebelum kejadian. Data spasial meliputi peta jenis tanah skala 1:250.000 dari LREP–BIG untuk menentukan HSG, citra Landsat 9 OLI 2 resolusi 30 m untuk klasifikasi penggunaan lahan, DEM SRTM 30 m dari USGS untuk memperoleh informasi topografi dan kemiringan lereng, peta geologi skala 1:250.000 dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, serta peta kerentanan gerakan tanah skala 1:250.000 dari PVMBG, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Batas administrasi diperoleh dari Ina Geoportal dan Bappeda Bireuen untuk pembatasan wilayah studi.

2.3. Pengolahan Data

1. Analisis Variabilitas Curah Hujan

Variabilitas curah hujan dianalisis pada tiga skala. Akumulasi curah hujan tahunan periode 1981–2024 digunakan untuk menggambarkan fluktuasi antartahun, sedangkan rata-rata bulanan digunakan untuk mengidentifikasi pola musiman. Kondisi basah sebelum kejadian dianalisis menggunakan Antecedent Precipitation Index lima hari (API5) yang dihitung dari data curah hujan harian pada periode lima hari dengan pembobotan peluruhan, menggunakan persamaan $API_i = k(API_{i-1}) + P_i$. Dalam persamaan tersebut, API_i merupakan nilai API pada

waktu ke- i , P_i merupakan curah hujan pada waktu ke- i , dan k merupakan konstanta peluruhan. Nilai $k=0,90$ digunakan untuk memperhitungkan pengaruh curah hujan sebelumnya terhadap kondisi basah sebelum kejadian. Perhitungan API mengikuti formulasi Fedora dan Beschta (1989), sedangkan API5 digunakan sebagai indikator kondisi awal yang relevan terhadap potensi banjir bandang (Misnawati et al., 2018; Azizah et al., 2022; Azizah et al., 2026).

2. Analisis Perubahan Penggunaan Lahan

Perubahan penggunaan lahan dianalisis dengan membandingkan data KLHK tahun 1990 dan hasil klasifikasi citra Landsat 9 OLI 2 tahun 2025. Seluruh data diseragamkan pada resolusi 30 m dan sistem proyeksi WGS 1984 UTM Zone 47N menggunakan metode Nearest Neighbor. Citra tahun 2025 diklasifikasikan secara terbimbing menggunakan algoritma Maximum Likelihood Classification dengan 215 training region of interest (ROI). Akurasi klasifikasi dievaluasi menggunakan 320 titik validasi independen yang diperoleh dari koordinat hasil survei lapangan, didistribusikan secara stratifikasi, dan disusun dalam matriks konfusi. Hasil evaluasi menghasilkan akurasi keseluruhan (Overall Accuracy) sebesar 90,00% dan koefisien Kappa sebesar 0,890. Perubahan penggunaan lahan tahun 1990–2025 selanjutnya dianalisis melalui *pixel-based raster overlay* untuk menyusun matriks transisi dan menghitung perubahan luas antarkelas (Azizah et al., 2022).

3. Analisis Potensi Banjir dan Banjir Bandang

Potensi banjir dievaluasi melalui parameter biofisik yang memengaruhi infiltrasi dan limpasan. Pertama, HSG ditentukan berdasarkan karakteristik tekstur tanah mengikuti klasifikasi SCS/USDA–NRCS yang membagi tanah ke dalam empat kelompok hidrologi, yaitu A dengan laju infiltrasi tinggi, B dengan laju infiltrasi sedang, C dengan laju infiltrasi rendah, dan D dengan laju infiltrasi sangat rendah serta umumnya didominasi tanah berliat atau memiliki lapisan kedap dekat permukaan (Azizah et al., 2024). Kelompok A umumnya berkaitan dengan tanah bertekstur kasar dan berpasir, kelompok B dengan tekstur sedang, kelompok C dengan tekstur lebih halus dan kandungan liat lebih tinggi, sedangkan kelompok D didominasi tanah berliat atau memiliki lapisan kedap dekat permukaan.

Kedua, CN dianalisis secara spasial berdasarkan kombinasi HSG dan penggunaan lahan tahun 2025 mengacu pada klasifikasi USDA (Azizah et al., 2019, 2021). DEM digunakan untuk merepresentasikan kondisi topografi dan kemiringan lereng dalam analisis spasial.

Analisis potensi banjir bandang dilakukan menggunakan FFPI yang mengintegrasikan kemiringan lereng, geologi, kerentanan gerakan tanah, API5, dan CN. Pemilihan parameter tersebut merepresentasikan pengaruh topografi terhadap

limpasan, kondisi geologi dan gerakan tanah terhadap kestabilan material, kondisi basah sebelum kejadian melalui API5, serta potensi limpasan melalui CN. Kemiringan lereng direklasifikasi menjadi lima kelas, yaitu 0–8%, 8–15%, 15–25%, 25–45%, dan >45%; geologi menjadi batuan beku, metamorf, dan sedimen; kerentanan gerakan tanah menjadi sangat rendah hingga sangat tinggi; API5 menjadi 0–100, 100–150, dan >150 mm; serta CN menjadi 30–50, 50–70, dan 70–100. Bobot parameter kemiringan lereng, geologi, kerentanan gerakan tanah, API5, dan CN masing-masing sebesar 16,0%, 6,5%, 8,4%, 34,1%, dan 34,9%, mengacu pada hasil AHP penelitian sebelumnya (Azizah, 2020; Azizah et al., 2022). Seluruh raster diseragamkan pada resolusi 30 m dan diintegrasikan menggunakan teknik weighted overlay dalam SIG.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Variabilitas Curah Hujan

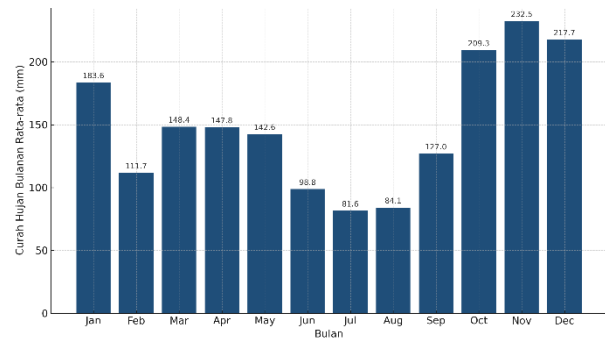
Analisis curah hujan Kabupaten Bireuen memperlihatkan adanya fluktuasi antartahun yang cukup lebar, dengan nilai tahunan terendah sekitar 1.351 mm dan tertinggi mencapai 2.240 mm. Rentang hampir 900 mm ini menunjukkan variabilitas curah hujan antartahun yang cukup besar di Kabupaten Bireuen. Kondisi tersebut menunjukkan adanya perbedaan kondisi hidrometeorologi antara tahun yang relatif basah dan tahun yang relatif kering (Mandapaka et al., 2016; Marzuki et al., 2025).

Variabilitas antartahun merupakan karakter penting curah hujan di wilayah Benua Maritim Indonesia karena distribusi hujan dipengaruhi oleh interaksi proses atmosfer pada skala regional dengan kondisi geografis dan topografi setempat. Analisis CHIRPS jangka panjang di Indonesia juga menunjukkan bahwa karakter variabilitas dan kecenderungan curah hujan tidak seragam antardaerah, sehingga informasi pada skala wilayah tetap diperlukan untuk menggambarkan kondisi hidrometeorologi lokal (Marzuki et al., 2025).

Rata-rata klimatologi bulanan (Gambar 2) menunjukkan pola ekuatorial dengan dua puncak hujan pada Maret–April dan November–Desember. Periode kering relatif berlangsung pada Juni–Agustus, sedangkan Februari–Maret juga memperlihatkan curah hujan yang lebih rendah. Pola ini sejalan dengan tipologi hujan Sumatra yang dipengaruhi oleh interaksi monsun barat, sirkulasi lokal, dan dinamika ekuatorial (Aldrian and Dwi Susanto, 2003; Nuryanto et al., 2016). Karakter dua puncak hujan tersebut merupakan ciri yang umum pada bagian ekuatorial dan utara Sumatra, berbeda dengan sebagian wilayah Indonesia bagian selatan yang menunjukkan siklus monsun tahunan yang lebih kuat.

Periode relatif basah di Bireuen tidak terkonsentrasi pada satu musim hujan, tetapi muncul pada dua periode dalam satu tahun. Puncak hujan akhir tahun bertepatan dengan periode kejadian banjir besar yang tercatat pada November–Desember, khususnya di wilayah hilir yang dialiri Sungai Peusangan. Kesesuaian waktu tersebut menunjukkan

pentingnya memperhatikan distribusi hujan musiman, selain total hujan tahunan, dalam memahami kondisi yang menyertai kejadian banjir di wilayah ini. Pola dua puncak hujan pada wilayah ekuatorial dan bagian utara Sumatra juga telah dilaporkan dalam kajian dinamika curah hujan Benua Maritim Indonesia (Aldrian and Dwi Susanto, 2003; Nuryanto et al., 2016).



Gambar 2. Rata-Rata Curah Hujan Bulanan di Kabupaten Bireuen. Pola Hujan Menunjukkan Tipe Ekuatorial dengan Dua Puncak (Maret–April dan November–Desember) serta Musim Kering Relatif pada Juni–Agustus

Pada skala kejadian, kondisi hidrometeorologi tidak hanya ditentukan oleh hujan yang sedang berlangsung, tetapi juga oleh kondisi basah yang terbentuk sebelum kejadian. Distribusi spasial API5 pada tahun 2020 memperlihatkan dominasi kategori tinggi di sebagian besar wilayah. Hal ini bertepatan dengan banjir besar yang melanda Bireuen pada tahun yang sama. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa nilai API5 yang tinggi, sebagai indikator kondisi basah sebelum kejadian, berasosiasi dengan kejadian banjir besar di Bireuen pada tahun 2020.

Secara hidrologis, hujan sebelumnya dapat mengurangi kapasitas penyimpanan air yang masih tersedia dalam tanah sehingga respons suatu DAS terhadap hujan berikutnya dapat berbeda antara kondisi awal yang relatif kering dan kondisi awal yang telah basah. Karena itu, besarnya hujan pemicu saja belum selalu menggambarkan respons banjir secara utuh. Studi lintas DAS menunjukkan bahwa kondisi kelembapan awal dapat memengaruhi pembentukan dan besarnya respons banjir, meskipun pengaruhnya bergantung pada karakter DAS dan magnitudo kejadian (Grillakis et al., 2016; Staudinger et al., 2025).

Temuan API5 di Bireuen juga sejalan dengan hasil penelitian pada DAS tropis lembap di Sumatra yang menunjukkan bahwa curah hujan sebelumnya yang tinggi merupakan salah satu kondisi prakondisi yang perlu dipertimbangkan bersama hujan pemicu dan karakteristik fisik DAS dalam menilai potensi banjir bandang (Azizah et al., 2022; Azizah et al., 2026).

3.2. Perubahan Penggunaan Lahan

Analisis perubahan penggunaan lahan tahun 1990–2025 menunjukkan perubahan komposisi penggunaan lahan yang cukup besar di Kabupaten Bireuen. Pada tahun 1990, hutan merupakan kelas

penggunaan lahan terluas, yaitu 81.940 ha, diikuti pertanian lahan kering campur seluas 55.308 ha dan semak belukar seluas 20.959 ha. Pada tahun 2025, luas hutan berkurang menjadi 69.396 ha, pertanian lahan kering campur menjadi 48.942 ha, dan semak belukar menjadi 7.176 ha (Tabel 1).

Tabel 1. Perubahan Penggunaan Lahan Kabupaten Bireuen

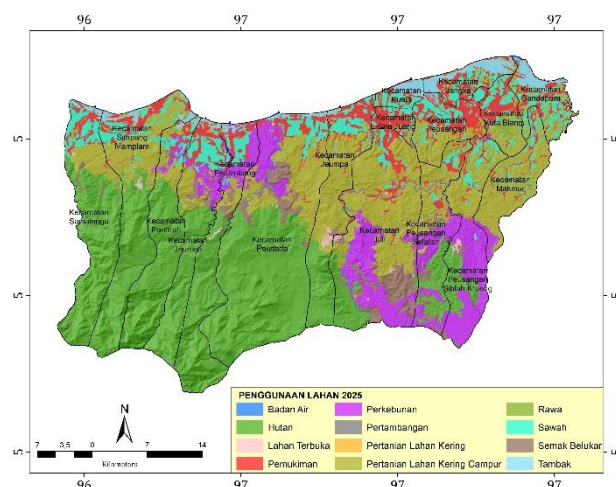
Penggunaan lahan	1990 (ha)	2025 (ha)	Perubahan (%)
Badan Air	739	724	2,0 (-)
Hutan	81.940	69.396	15,3 (-)
Lahan Terbuka	913	763	16,5 (-)
Permukiman	1.151	15.261	1.226 (+)
Perkebunan	7	17.774	253.814,3 (+)
Pertanian Lahan Kering	1.834	0	100,0 (-)
Pertanian Lahan Kering Campur	55.308	48.942	11,5 (-)
Rawa	102	274	170,0 (+)
Sawah	11.832	15.105	27,7 (+)
Semak Belukar	20.959	7.176	65,8 (-)
Tambak	4.912	4.276	13,0 (-)
Pertambangan		5	Kelas baru (+)
Total luas	179.696	179.696	

Sebaliknya, permukiman meningkat dari 1.151 ha menjadi 15.261 ha, perkebunan dari 7 ha menjadi 17.774 ha, dan sawah dari 11.832 ha menjadi 15.105 ha. Persentase peningkatan perkebunan yang sangat besar terutama dipengaruhi oleh luas awal kelas tersebut yang sangat kecil pada tahun 1990. Pertanian lahan kering seluas 1.834 ha pada tahun 1990 tidak lagi teridentifikasi sebagai kelas tersendiri pada tahun 2025.

Perubahan spasial tersebut terlihat pada distribusi penggunaan lahan tahun 2025 (Gambar 3). Hutan masih terkonsentrasi pada bagian selatan Kabupaten Bireuen, sedangkan penggunaan lahan budidaya dan permukiman lebih berkembang pada bagian tengah hingga pesisir. Perubahan paling menonjol selama periode pengamatan adalah berkurangnya hutan sebesar 15,3% dan semak belukar sebesar 65,8%, bersamaan dengan peningkatan luas perkebunan dan permukiman. Pola perubahan dari tutupan vegetasi menuju penggunaan lahan budidaya dan terbangun juga dilaporkan pada berbagai wilayah yang mengalami perkembangan aktivitas ekonomi dan urbanisasi (Rustiadi et al., 2021; Surya et al., 2021).

Matriks transisi penggunaan lahan (Tabel 2) memperlihatkan arah perubahan antarkelas secara lebih rinci. Dari 81.940 ha hutan pada tahun 1990, sekitar 67.922 ha tetap menjadi hutan pada tahun 2025, sedangkan 8.828 ha berubah menjadi perkebunan dan 4.699 ha menjadi semak belukar. Semak belukar terutama berubah menjadi perkebunan seluas 8.529 ha dan permukiman seluas 5.581 ha. Pertanian lahan kering campur sebagian besar tetap pada kelas yang sama, yaitu 48.942 ha, tetapi sekitar 4.735 ha berubah menjadi permukiman dan 1.213 ha menjadi sawah. Selain itu, sekitar 2.559 ha sawah berubah menjadi permukiman. Data tersebut memperlihatkan bahwa peningkatan

perkebunan terutama berasal dari hutan dan semak belukar, sedangkan perluasan permukiman melibatkan konversi beberapa kelas penggunaan lahan, terutama semak belukar, pertanian lahan kering campur, dan sawah.



Gambar 3. Peta penggunaan Lahan Kabupaten Bireuen Tahun 2025 Memperlihatkan Distribusi Kelas Penggunaan Lahan di Wilayah Penelitian

Perubahan penggunaan lahan seperti ini memiliki implikasi hidrologis karena karakteristik tutupan permukaan menentukan proses intersepsi, infiltrasi, penyimpanan air, dan pembentukan limpasan. Pada DAS Comet di Australia, konversi tutupan hutan menjadi padang rumput dan lahan pertanian disertai perubahan respons limpasan pada skala DAS (Siriwardena et al., 2006).

Pada lingkungan tropis, Nainar et al. (2018) menemukan bahwa konversi hutan menjadi perkebunan kelapa sawit meningkatkan aliran saat hujan dan menurunkan aliran dasar, sementara DAS berhutan menunjukkan aliran yang lebih teratur. Hasil pemodelan pada DAS Kais, Papua Barat, juga menunjukkan bahwa pengembangan perkebunan kelapa sawit meningkatkan limpasan permukaan dibandingkan kondisi dasar sebelum konversi lahan (Asmara and Randhir, 2024).

Peningkatan permukiman juga relevan terhadap respons hidrologi karena perkembangan permukaan terbangun dapat mengubah jalur dan kecepatan pembentukan limpasan. Zhang et al. (2018) menunjukkan bahwa perubahan lahan menuju permukaan kedap memengaruhi berbagai metrik limpasan, terutama pada aliran tinggi dan skala sub DAS. Pada Kabupaten Bireuen, hubungan antara penggunaan lahan dan potensi limpasan direpresentasikan melalui nilai CN yang ditentukan berdasarkan kombinasi kelas penggunaan lahan dan kelompok hidrologi tanah. Azizah et al. (2022) juga menunjukkan bahwa perbedaan penggunaan lahan dan karakteristik tanah menghasilkan nilai CN dan respons limpasan yang berbeda pada DAS tropis lembap.

Tabel 2. Matriks Transisi Penggunaan Lahan Kabupaten Bireuen Tahun 1990–2025

Penggunaan Lahan 1990	Penggunaan Lahan 2025												
	Badan Air	Hutan	Lahan Terbuka	Permukiman	Perkebunan	Pertambangan	Pertanian Lahan Kering	Pertanian Lahan Kering Campur	Rawa	Sawah	Semak Belukar	Tambak	Total
Badan Air	724			15	0					0	0		739
Hutan		67.922	492		8.828						4.699		81.940
Lahan Terbuka			192	51	215					131	6	319	913
Permukiman				1.151									1.151
Perkebunan					7								7
Pertanian Lahan Kering				770			0			1.064	0		1.834
Pertanian Lahan Kering Campur		4	4	4.735	167			48.942	173	1.213	68	3	55.308
Rawa			0						102				102
Sawah		0	0	2.559	9					9.258	5	0	11.832
Semak Belukar		1.470	54	5.581	8.529	5				2.927	2.393	0	20.959
Tambak			21	400	20					513	5	3.954	4.912
Total	724	69.396	763	15.261	17.774	5	0	48.942	274	15.105	7.176	4.276	179.696

3.3. Potensi Banjir dan Banjir Bandang

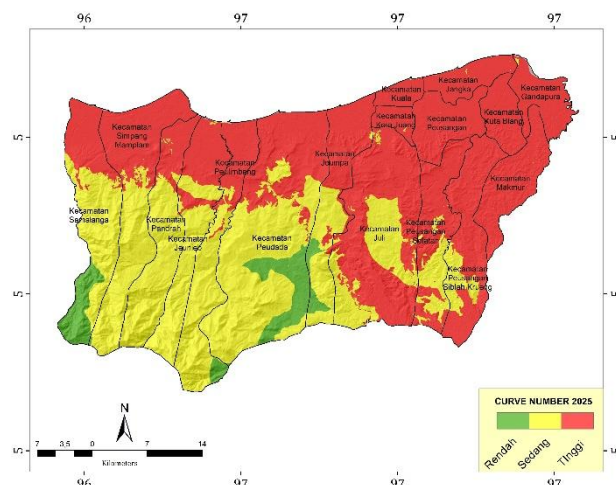
Karakteristik potensi banjir di Kabupaten Bireuen ditinjau dari distribusi Hydrologic Soil Group (HSG) dan Curve Number (CN). Hasil analisis HSG menunjukkan bahwa kelompok D mencakup sekitar 46,3% wilayah dan kelompok C sekitar 44,3%, sedangkan kelompok B dan A masing-masing hanya sekitar 7,8% dan 1,5%. Dengan komposisi tersebut, sekitar 90,6% wilayah Kabupaten Bireuen berada pada HSG C dan D, yang dicirikan oleh kapasitas infiltrasi rendah hingga sangat rendah. Dominasi kelompok tersebut menunjukkan keterbatasan kemampuan tanah dalam meresapkan air dibandingkan wilayah dengan HSG A dan B. Karakteristik fisik dan hidrologi tanah, terutama tekstur dan kapasitas infiltrasi, berperan penting dalam menentukan respons tanah terhadap hujan dan pembentukan limpasan (Azizah et al., 2019; Azizah et al., 2024).

Kondisi tersebut tercermin pada distribusi CN tahun 2025. Hasil analisis menunjukkan bahwa 54,7% wilayah Kabupaten Bireuen berada pada kategori CN tinggi, 40,8% pada kategori sedang, dan 4,5% pada kategori rendah (Gambar 4). Dominasi kategori sedang hingga tinggi memperlihatkan bahwa sebagian besar wilayah memiliki karakteristik permukaan yang mendukung pembentukan limpasan. Nilai CN tidak hanya dipengaruhi oleh kelompok hidrologi tanah, tetapi juga oleh penggunaan lahan. Sebagai contoh, pada HSG C dan D yang dominan di Bireuen, hutan primer memiliki nilai CN masing-masing 70 dan 77, sedangkan pertanian lahan kering memiliki nilai 85 dan 89 serta lahan terbuka 91 dan 94 (Azizah, 2020). Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa pada kelompok hidrologi tanah yang sama, kelas penggunaan lahan menghasilkan karakteristik CN yang berbeda.

Peningkatan permukiman dan perkebunan yang ditemukan pada analisis perubahan penggunaan lahan memberikan karakteristik hidrologi yang berbeda dibandingkan tutupan hutan. Hubungan antara perubahan penggunaan lahan, karakteristik tanah, dan respons limpasan juga dilaporkan pada berbagai DAS di Indonesia (Permatasari et al., 2017; Kelana et al., 2024; Saraswati et al., 2025). Pada DAS tropis lembap, kombinasi penggunaan lahan dan HSG juga menghasilkan variasi CN yang berpengaruh terhadap potensi pembentukan limpasan (Azizah et al., 2022).

Hasil analisis FFPI menunjukkan bahwa 63,0% wilayah Kabupaten Bireuen berada pada kategori sedang, 27,5% pada kategori tinggi, dan 9,5% pada kategori rendah (Gambar 5). Sebaran kategori tinggi terutama ditemukan pada wilayah dengan kombinasi lereng yang lebih curam, kondisi geologi dan kerentanan gerakan tanah tertentu, kondisi basah sebelum kejadian, serta nilai CN yang mendukung pembentukan limpasan. Berbeda dengan potensi banjir yang pada penelitian ini ditinjau melalui karakteristik HSG dan CN, FFPI mengintegrasikan

kondisi topografi, geologi, kerentanan gerakan tanah, kondisi basah sebelum kejadian, dan potensi limpasan untuk menggambarkan variasi spasial potensi banjir bandang. Pendekatan berbasis integrasi faktor fisik tersebut juga digunakan dalam pemetaan potensi banjir bandang karena prosesnya dipengaruhi oleh kombinasi karakteristik morfometri, kondisi permukaan, dan faktor hidrometeorologi (Lazarević et al., 2023; Azizah et al., 2022).

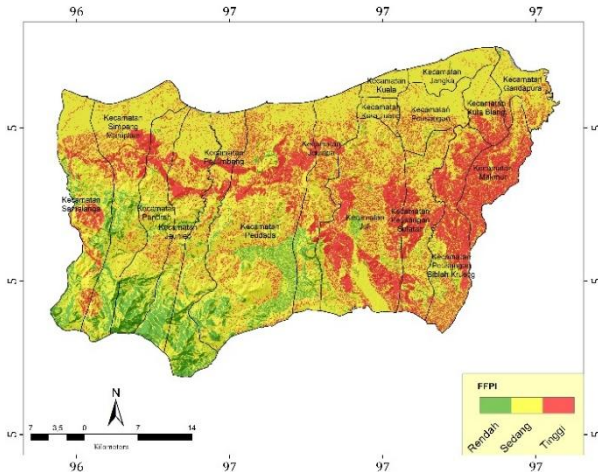


Gambar 4. Peta Distribusi Nilai CN di Kabupaten Bireuen Tahun 2025 yang Menunjukkan Sebaran Kategori Potensi Limpasan Rendah, Sedang, dan Tinggi

Distribusi kategori tinggi FFPI memperlihatkan variasi yang nyata antarkecamatan. Berdasarkan luas absolut, kategori tinggi paling luas terdapat di Kecamatan Juli sekitar 9.822 ha, Peudada 7.141 ha, Peusangan Siblah Krueng 6.145 ha, Makmur 5.072 ha, dan Peusangan Selatan 4.013 ha. Namun, pola yang berbeda terlihat ketika luas kategori tinggi dibandingkan dengan luas masing-masing kecamatan. Makmur memiliki proporsi kategori tinggi terbesar, sekitar 70,7%, diikuti Peusangan Siblah Krueng 55,2%, Peusangan Selatan 42,6%, dan Juli 42,4%. Perbedaan tersebut menunjukkan pentingnya membedakan luas absolut wilayah berpotensi tinggi dengan proporsinya terhadap luas administratif kecamatan, terutama ketika menentukan wilayah yang memiliki konsentrasi potensi banjir bandang lebih besar.

Sebaran spasial pada Gambar 5 memperlihatkan bahwa kategori FFPI tinggi lebih banyak berkembang pada bagian tengah hingga selatan Kabupaten Bireuen, yang secara topografis lebih bergelombang hingga curam dibandingkan dataran pesisir. Karakter tersebut relevan dengan mekanisme banjir bandang yang memiliki respons lebih cepat dibandingkan banjir dataran rendah karena dipengaruhi oleh kemiringan lereng, konsentrasi aliran, kondisi basah sebelum kejadian, serta ketersediaan material yang dapat terangkut. Kajian banjir bandang pada DAS tropis juga menunjukkan bahwa kombinasi karakteristik fisik DAS dan kondisi hidrometeorologi merupakan faktor penting dalam pembentukan

potensi spasial banjir bandang (Azizah et al., 2022; Azizah et al., 2026). Temuan pada wilayah lain juga menunjukkan bahwa zona potensi banjir bandang tinggi cenderung berkaitan dengan kombinasi lereng yang lebih curam, kemampuan pembentukan limpasan, dan kondisi fisik DAS yang mendukung respons aliran cepat (Lazarević et al., 2023).



Gambar 5. Peta FFPI Kabupaten Bireuen yang Menunjukkan Sebaran Potensi Banjir Bandang Kategori Rendah, Sedang, dan Tinggi, dengan Konsentrasi Kategori Tinggi di Wilayah Hulu dan Lereng Curam

4. KESIMPULAN

Variabilitas curah hujan di Kabupaten Bireuen menunjukkan perubahan temporal pada skala antartahun dan musiman, sedangkan kondisi basah sebelum kejadian memberikan konteks hidrologi penting terhadap kejadian banjir. Perubahan penggunaan lahan yang ditandai oleh berkurangnya tutupan vegetasi dan berkembangnya lahan budidaya serta kawasan terbangun, bersama karakteristik tanah dengan kemampuan infiltrasi rendah dan nilai CN yang cenderung sedang hingga tinggi, menunjukkan adanya kondisi yang mendukung pembentukan limpasan di sebagian besar wilayah.

Potensi banjir bandang tidak tersebar secara merata dan lebih menonjol pada wilayah yang memiliki kombinasi kondisi hidrometeorologi dan fisiografi yang mendukung respons aliran cepat. Perbedaan karakter antara potensi banjir dan banjir bandang menunjukkan bahwa pengelolaannya perlu disesuaikan dengan kondisi masing-masing wilayah. Prioritas pengelolaan diarahkan pada pengendalian perubahan penggunaan lahan, perlindungan fungsi hidrologi wilayah hulu, serta pemanfaatan zonasi potensi dalam perencanaan tata ruang dan penentuan wilayah prioritas mitigasi.

DAFTAR PUSTAKA

Aldrian, E. and Dwi Susanto, R., (2003), Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature, *International Journal of Climatology*, 23(12), 1435–1452. doi:10.1002/joc.950.

- Asmara, B. and Randhir, T.O., (2024), Modeling the impacts of oil palm plantations on water quantity and quality in the Kais River Watershed of Indonesia, *Science of The Total Environment*, 928, 172456. doi:10.1016/j.scitotenv.2024.172456.
- Azizah, C., Pawitan, H., Dasanto, B.D., Ridwansyah, I., and Taufik, M., (2019), Sifat Fisik Tanah dan Hubungannya dengan Kapasitas Infiltrasi DAS Tamiang, *Jurnal Tanah dan Iklim*, 43(2), 167–173. doi:10.21082/jti.v43n2.2019.167-173.
- Azizah, C., (2020), Karakteristik Hidrologi dan Potensi Banjir Bandang di Kawasan Humid Tropics: Kasus DAS Tamiang Aceh, Disertasi, IPB University, Bogor.
- Azizah, C., Pawitan, H., Nuraida, Satriawan, H., Abbas, R., Robo, S., and Misnawati, (2021), Hydrological Characteristics and Its Impact On Flood Jambo Aye Basin In Aceh Indonesia, *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 5(2), 171–184. doi:10.20886/jppdas.2021.5.2.171-184.
- Azizah, C., Pawitan, H., Dasanto, B.D., Ridwansyah, I., and Taufik, M., (2022), Risk assessment of flash flood potential in the humid tropics Indonesia: a case study in Tamiang River basin, *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 13(1), 57–73. doi:10.1504/IJHST.2022.119236.
- Azizah, C., Lizar, C.A., and Risna, Y.K., (2024), Metode empiris untuk menganalisis aliran limpasan permukaan dalam perancangan sumberdaya air, *Jurnal Lingkungan Almuslim*, 3(1), 18–26.
- Azizah, C., Robo, S., Misnawati, Taufik, M., Lizar, C.A., and Zubaidah, S., (2026), Potential Flash Flood Dynamics in the Humid Tropics: Insights from Three Basins in Sumatra, *Frontiers in Water*, 8, 1800323. doi:10.3389/frwa.2026.1800323.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), (2025), Indeks Risiko Bencana Indonesia Tahun 2024, Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Jakarta.
- Badan Penanggulangan Bencana Aceh (BPBA), (2023), 4 Gampong Terendam Banjir di Kabupaten Bireuen, Badan Penanggulangan Bencana Aceh, 30 November 2023, diakses 18 Agustus 2026. <https://bpba.acehprov.go.id/berita/kategori/bencana/4-gampong-terendam-banjir-di-kabupaten-bireuen>
- Badan Penanggulangan Bencana Aceh (BPBA), (2025), Bireuen Banjir Dilanda Banjir 7 Desa Terendam 1 Orang Meninggal Dunia dan 1 Orang Hilang, Badan Penanggulangan Bencana Aceh, 8 Maret 2025, diakses 18 Agustus 2026. <https://bpba.acehprov.go.id/berita/kategori/bencana/akibat-hujan-deras-bireuen-banjir-dilanda-banjir-7-desa-terendam-1-orang-meninggal-dunia>
- Collalti, D., Spencer, N., and Strobl, E., (2024), Flash flood detection via copula-based intensity-duration-frequency curves: Evidence from Jamaica, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 24(3), 873–890. doi:10.5194/nhess-24-873-2024.
- Faradiba, F., (2022), The Impact of Climate on Flood Disasters in Indonesia, *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 31(1), 364–371.
- Fedora, M.A. and Beschta, R.I., (1989), Storm runoff simulation using an antecedent precipitation index (API) model, *Journal of Hydrology*, 112(1–2), 121–133. doi:10.1016/0022-1694(89)90184-4.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., and Michaelsen, J., (2015), The climate hazards

- Safrizal, Azizah, C., Malik, A., Robo, S., dan Misnawati. (2026). Integrasi Variabilitas Curah Hujan dan Perubahan Penggunaan Lahan untuk Pemetaan Potensi Banjir dan Banjir Bandang di Kabupaten Bireuen, Aceh. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(4), 891-899. doi:10.14710/jil.24.4.891-899
- infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes, *Scientific Data*, 2, 150066. doi:10.1038/sdata.2015.66.
- Grillakis, M.G., Koutroulis, A.G., Komma, J., Tsanis, I.K., Wagner, W., and Blöschl, G., (2016), Initial soil moisture effects on flash flood generation – A comparison between basins of contrasting hydro-climatic conditions, *Journal of Hydrology*, 541, 206–217. doi:10.1016/j.jhydrol.2016.03.007.
- Ilyas, I.S., Rahardi, C.S., and Kurniawan, A., (2025), The Influence of Flood Disasters on Economic Growth and Poverty in Indonesia, *Ganaya: Jurnal Ilmu Sosial dan Humaniora*, 8(1), 98–108. doi:10.37329/ganaya.v8i1.3657.
- Kelana, Y.A.P., Pramulya, M., Saziati, O., and Jumiati, J., (2024), Analisis Kemampuan Resapan Air pada Perubahan Tata Guna Lahan di DAS Melawi Kabupaten Melawi, *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(6), 1594–1601. doi:10.14710/jil.22.6.1594-1601.
- Lazarević, K., Todosijević, M., Vulević, T., Polovina, S., Momirović, N., and Caković, M., (2023), Determination of Flash Flood Hazard Areas in the Likodra Watershed, *Water*, 15(15), 2698. doi:10.3390/w15152698.
- Mandapaka, P.V., Qin, X., and Lo, E.Y.M., (2016), Seasonal and Interannual Variability of Wet and Dry Spells over Two Urban Regions in the Western Maritime Continent, *Journal of Hydrometeorology*, 17(5), 1579–1600. doi:10.1175/JHM-D-15-0100.1.
- Marzuki, M., Ramadhan, R., Yusnaini, H., Vonnisa, M., Muharsyah, R., Nugraha, Y., Sari, A.Y., and Erajalita, A., (2025), Long-Term Spatial-Temporal Variability, Trends and Extreme Rainfall Events Over Indonesia Based on 43 Years of CHIRPS Data, *International Journal of Climatology*, 45(14), e70107. doi:10.1002/joc.70107.
- Misnawati, Boer, R., June, T., and Faqih, A., (2018), Perbandingan Metodologi Koreksi Bias Data Curah Hujan CHIRPS, *Limnotek*, 25(1), 18–29.
- Nainar, A., Tanaka, N., Bidin, K., Annammala, K.V., Ewers, R.M., Reynolds, G., and Walsh, R.P.D., (2018), Hydrological dynamics of tropical streams on a gradient of land-use disturbance and recovery: A multi-catchment experiment, *Journal of Hydrology*, 566, 581–594. doi:10.1016/j.jhydrol.2018.09.022.
- Nuryanto, D.E., Pawitan, H., Hidayat, R., and Aldrian, E., (2016), Heavy Rainfall Distributions Over Java Sea in Wet Season, *Procedia Environmental Sciences*, 33, 178–186. doi:10.1016/j.proenv.2016.03.068.
- Permatasari, R., Arwin, and Natakusumah, D.K., (2017), Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Rezim Hidrologi DAS (Studi Kasus: DAS Komerang), *Jurnal Teknik Sipil*, 24(1), 91–98. doi:10.5614/jts.2017.24.1.11.
- Ritter, J., Berenguer, M., Park, S., and Sempere-Torres, D., (2021), Real-time assessment of flash flood impacts at pan-European scale: The ReAFFINE method, *Journal of Hydrology*, 603, 127022. doi:10.1016/j.jhydrol.2021.127022.
- Rustiadi, E., Pravitasari, A.E., Setiawan, Y., Mulya, S.P., Pribadi, D.O., and Tsutsumida, N., (2021), Impact of continuous Jakarta megacity urban expansion on the formation of the Jakarta-Bandung conurbation over the rice farm regions, *Cities*, 111, 103000. doi:10.1016/j.cities.2020.103000.
- Saraswati, G.S., Asdak, C., and Joy, B., (2025), Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) Air Bengkulu dan Perubahan Penggunaan Lahannya dalam Kaitannya dengan Kejadian Banjir, *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(4), 915–922. doi:10.14710/jil.23.4.915-922.
- Siriwardena, L., Finlayson, B.L., and McMahon, T.A., (2006), The impact of land use change on catchment hydrology in large catchments: The Comet River, Central Queensland, Australia, *Journal of Hydrology*, 326(1–4), 199–214. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.10.030.
- Staudinger, M., Kauzlaric, M., Mas, A., Evin, G., Hingray, B., and Viviroli, D., (2025), The role of antecedent conditions in translating precipitation events into extreme floods at the catchment scale and in a large-basin context, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 25, 247–265. doi:10.5194/nhess-25-247-2025.
- Surya, B., Salim, A., Hernita, H., Suriani, S., Menne, F., and Rasyidi, E.S., (2021), Land Use Change, Urban Agglomeration, and Urban Sprawl: A Sustainable Development Perspective of Makassar City, Indonesia, *Land*, 10(6), 556. doi:10.3390/land10060556.
- Tao, J. and Barros, A.P., (2013), Prospects for flash flood forecasting in mountainous regions: An investigation of Tropical Storm Fay in the Southern Appalachians, *Journal of Hydrology*, 506, 69–89. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.02.052.
- Wray, N., Bowie, D., Pattison, I., Angeloudis, A., and Beevers, L., (2024), Disentangling climate change & land use change effects on river flows: A probabilistic approach, *Journal of Hydrology*, 639, 131665. doi:10.1016/j.jhydrol.2024.131665.
- Zhang, Y., Xia, J., Yu, J., Randall, M., Zhang, Y., Zhao, T., Pan, X., Zhai, X., and Shao, Q., (2018), Simulation and assessment of urbanization impacts on runoff metrics: insights from landuse changes, *Journal of Hydrology*, 560, 247–258. doi:10.1016/j.jhydrol.2018.03.031