

Analisis Spasial Kerawanan Banjir di DAS Citarum Hulu: Studi Komparatif 2018 dan 2024 pada Sub DAS Cirasea

Linasari Putri Bangun¹, Hayati Sari Hasibuan¹, dan Ivan Syamsurizal²

¹Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, Indonesia

²Kementerian Koordinator Bidang Pembangunan Manusia dan Kebudayaan, Indonesia

ABSTRAK

Meningkatnya frekuensi dan intensitas kejadian banjir di Daerah Aliran Sungai Citarum Hulu, Jawa Barat, menandakan perlunya penilaian bahaya banjir yang akurat menggunakan metodologi berbasis spasial. Sub-DAS Cirasea, yang terletak di daerah hulu yang kritis, semakin rentan karena faktor alam dan antropogenik. Studi ini bertujuan untuk menganalisis perubahan spasial-temporal dalam tingkat bahaya banjir antara tahun 2018 dan 2024 di Sub-DAS Cirasea. Temuan menunjukkan adanya pergeseran penting dalam distribusi bahaya banjir. Dari tahun 2018 hingga 2024, area yang diklasifikasikan sebagai bahaya rendah meningkat sebesar 5,96%, bahaya sedang menurun sebesar 5,98%, dan bahaya tinggi sedikit meningkat sebesar 2,05%. Pola spasial menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan dan curah hujan berkontribusi terhadap peningkatan zona berisiko tinggi, terutama di daerah hilir. Analisis spasial menunjukkan bahwa meskipun upaya mitigasi tertentu mungkin telah mengurangi risiko banjir di beberapa daerah, yang lain justru memburuk, yang mengindikasikan adanya manajemen risiko yang tidak merata. Studi ini merekomendasikan untuk memprioritaskan pengendalian konversi lahan melalui zonasi dan tata ruang serta pemanfaatan teknologi *green infrastructure* diprioritaskan dalam kawasan permukiman baru.

Kata Kunci: Banjir, Kerawanan, Spasial, Sub DAS Cirasea, Bencana, Risiko

ABSTRACT

The increasing frequency and intensity of flood events in the Upper Citarum River Basin, West Java, underscores the need for accurate flood hazard assessment using spatial-based methodology. The Cirasea Sub-watershed, located in a critical upstream area, is increasingly vulnerable due to natural and anthropogenic factors. This study aims to analyze the spatial-temporal changes in flood hazard levels between 2018 and 2024 in the Cirasea Sub-watershed. This assessment is intended to develop spatial-based disaster risk reduction strategies. The findings indicate a significant shift in the distribution of flood hazards. From 2018 to 2024, the area classified as low hazard increased by 5.96%, moderate hazard decreased by 5.98%, and high hazard slightly increased by 2.05%. Spatial patterns indicate that changes in land cover and rainfall contribute to the increase in high-risk zones, especially in the downstream areas. Spatial analysis reveals that while certain mitigation efforts may have reduced flood risks in some areas, others have worsened, highlighting uneven risk management. This study recommends prioritizing land conversion control through zoning and spatial planning and the use of green infrastructure technology in new residential areas. In low flood-prone areas, critical land conservation is prioritized.

Keywords: Cirasea Watershed, Disaster, Flood, Spatial, Risk, Vulnerability

Citation: Bangun, L. P., Hasibuan, H. S., dan Syamsurizal, I. (2026). Analisis Spasial Kerawanan Banjir di DAS Citarum Hulu: Studi Komparatif 2018 dan 2024 pada Sub DAS Cirasea. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(3), 603-613, doi:10.14710/jil.24.3.603-613

1. PENDAHULUAN

Frekuensi bencana banjir meningkat secara global dalam beberapa tahun terakhir (Jongman, 2018). Banjir juga merupakan bencana alam yang paling sering terjadi di berbagai belahan dunia (Jonkman *et al.*, 2024). Perubahan iklim akibat pemanasan global menyebabkan curah hujan ekstrem yang menaikkan permukaan air laut, dan pada akhirnya meningkatkan risiko banjir (IPCC, 2021). Fenomena ini mengindikasikan risiko banjir akan terus meningkat di masa depan seiring dengan dampak perubahan iklim yang semakin nyata. Kondisi geografis Indonesia

yang berada di daerah tropis, pertemuan dua samudera dan dua benua, membuat Indonesia rawan bencana banjir, tanah longsor, cuaca ekstrem, gelombang ekstrem dan abrasi, dan kekeringan yang juga dapat memicu kebakaran hutan dan lahan. Kejadian bencana di Indonesia menunjukkan adanya tren peningkatan (Supartono *et al.*, 2022) dan peningkatan tajam terjadi dari tahun 2000 hingga tahun 2018 (Fitriyani *et al.*, 2021).

Kecenderungan naiknya frekuensi terjadinya bencana banjir ini disertai dengan dampak bencana yang mengakibatkan jatuhnya korban jiwa, kerugian

ekonomi, serta kerusakan fasilitas umum dan infrastruktur kritis. Pada tahun 2022, jumlah kejadian bencana alam tercatat sebanyak 3.544 kejadian dan tercatat sebanyak 858 orang meninggal dunia akibat bencana dan 6,1 juta orang menderita dan mengungsi (BNPB, 2023). Dalam konteks perubahan iklim global dan pertumbuhan wilayah yang pesat, kejadian banjir tidak hanya dipengaruhi oleh faktor alami seperti curah hujan ekstrem, tetapi juga oleh perubahan penggunaan lahan, degradasi tutupan vegetasi, dan tata ruang yang kurang adaptif terhadap risiko bencana. Fenomena ini menuntut pendekatan analisis yang lebih integratif dan berbasis spasial untuk memahami dinamika bahaya banjir secara lebih akurat.

Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum memiliki peranan vital bagi masyarakat Jawa Barat, berfungsi sebagai sumber air baku untuk kebutuhan domestik, industri, dan irigasi (Fares & Yudianto, 2004). Namun DAS Citarum kini menjadi salah satu DAS strategis yang mengalami degradasi lingkungan serius (D'Arrigo *et al.*, 2009). Sejak tahun 1980-an, proyek konversi lahan besar-besaran di sekitar sungai telah menyebabkan DAS Citarum menjadi rawan banjir (Moe, 2018). Perubahan penggunaan lahan yang tidak seimbang, termasuk bertambahnya lahan pemukiman dan berkurangnya lahan terbuka, sawah, dan lahan basah, telah meningkatkan kejadian banjir akibat kejenuhan tanah dan penurunan kapasitas infiltrasi. Hal ini juga mengubah pola limpasan air dan debit sungai, serta menyebabkan pendangkalan pada sungai dan badan air (Sugianto *et al.*, 2022).

Salah satu wilayah di DAS Citarum hulu yang sering mengalami banjir adalah Sub DAS Cirasea. Sub DAS ini merupakan bagian dari DAS Citarum dan merupakan salah satu daerah yang memberikan suplai air ke sungai Citarum. Sub DAS Cirasea meliputi wilayah kabupaten Bandung yaitu Ciparay, Majalaya, dan sekitarnya. Banjir Majalaya paling sedikit terjadi sebanyak 6 kali pada tahun 2012 dan paling banyak terjadi sebanyak 20 kali pada tahun 2018 (Junnaedhi *et al.*, 2017). Tingginya frekuensi banjir tersebut menunjukkan bahwa masyarakat setempat terus-menerus menghadapi ancaman banjir.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengidentifikasi dan memetakan tingkat kerawanan banjir di DAS Citarum, antara lain Julaeha *et al.*, 2022, Aprilana dan Subagja 2021, Sitorus *et al.*, 2021 yang mengkaji tingkat kerawanan banjir menggunakan analisis spasial di Kabupaten Bandung. Namun, penelitian-penelitian tersebut cenderung bersifat statis dan tidak membandingkan dinamika bahaya banjir dalam rentang waktu yang berbeda. Penelitian lain seperti Yulianto *et al.* 2020 juga masih terbatas pada skala makro dan belum secara spesifik mengevaluasi dinamika perubahan bahaya banjir dalam rentang waktu tertentu pada tingkat sub-DAS.

Selain itu, kajian komparatif berbasis data spasial yang mengintegrasikan parameter-parameter biofisik seperti curah hujan, penggunaan lahan, kemiringan lereng, elevasi, dan jenis tanah pada wilayah Sub-DAS Cirasea masih belum banyak dilakukan.

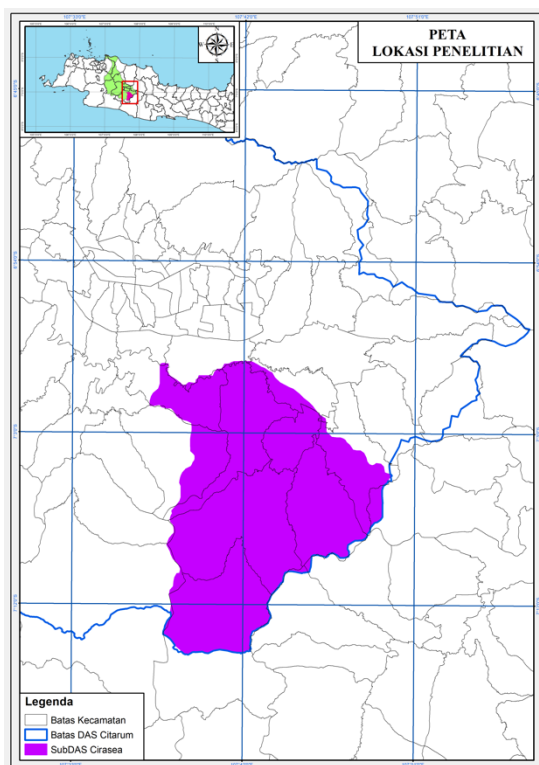
Penelitian ini akan dilakukan dengan pendekatan komparatif spasial yang membandingkan kerawanan banjir pada dua titik waktu yaitu tahun 2018 dan 2024, menggunakan parameter biofisik yang mencakup curah hujan, tutupan lahan, jenis tanah, kemiringan lereng, dan elevasi. Pendekatan ini bertujuan menganalisis perubahan tingkat kerawanan banjir 2018 dan 2024, mengkaji penyebab utama banjir, dan memberikan strategi ketahanan wilayah dalam menghadapi banjir. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah terhadap pemahaman dinamika bahaya banjir di kawasan hulu sungai, serta menjadi dasar bagi perumusan kebijakan penataan ruang dan strategi mitigasi bencana yang adaptif di wilayah Sub-DAS Cirasea khususnya, dan Hulu DAS Citarum pada umumnya.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Studi Area

Pemilihan Sub-DAS Cirasea sebagai lokasi studi didasarkan pada kriteria historis kejadian banjir, posisi hidrologis sebagai anak sungai utama dari DAS Citarum Hulu, dan menjadi fokus dalam program konservasi dan rehabilitasi lingkungan. Sub DAS ini mempunyai bentang alam seluas 388,6 km² yang dialiri oleh sungai-sungai permanen dan periodik. Secara administratif, sub DAS Cirasea terletak di dua wilayah, yaitu Kabupaten Bandung dan Kabupaten Garut. Sub DAS Cirasea memiliki pola kehidupan sosial yang bervariasi mulai dari pedesaan hingga pinggiran Kota Bandung dengan beberapa kawasan industri di hilir, yaitu Baleendah, Ciparay dan Majalaya (Sugito *et al.*, 2019). Sub DAS Cirasea memiliki banyak kawasan lindung, yaitu Cagar Alam Gunung Malabar, Cagar Alam Papandayan, Taman Wisata Alam Kawah Kamojang dan Gunung Mesigit (Nursyifa dan Kuswanto, 2021).

Sub DAS Cirasea telah berkembang pesat sebagai pusat pembangunan. Perubahan bentang alam yang tak terelakkan meliputi perluasan kawasan permukiman dan infrastruktur pendukung kegiatan industri Majalaya (Fathunnisa dan Salami 2015; Sunardi *et al.* 2021). Sub DAS Cirasea mengalami kerusakan berat akibat pemanfaatan lahan yang cukup massif (Susandi *et al.*, 2022). Kerusakan Sub DAS ini semakin dipercepat karena eksploitasi sumber daya alam yang disebabkan oleh pertambahan populasi, benturan kepentingan antar pihak, serta minimnya koordinasi lintas sektor dalam melakukan pengelolaan (Halimatusadian *et al.*, 2012).



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Sub DAS Cirasea

2.2. Pengumpulan dan Analisis Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan metode analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk mengidentifikasi dan membandingkan tingkat bahaya banjir pada tahun 2018 dan 2024 di wilayah Sub-DAS Cirasea, Jawa Barat. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 5 variabel yaitu jenis tanah, ketinggian lahan, kemiringan lereng, curah hujan, dan tutupan lahan. Data tersebut yang diperoleh dari berbagai sumber sekunder. Data batas Sub DAS Cirasea diperoleh dari Bappeda Jawa Barat, data curah hujan tahunan diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Citarum yang berasal dari dua stasiun pengamatan yaitu Stasiun pengamatan Arjasari dan Ancolmekar dengan cakupan tahun 2018 dan 2024. Data jenis tanah berasal dari Kementerian Pertanian, kemiringan lereng dan ketinggian lahan diperoleh dari citra *Digital Elevation Model*, dan data tutupan lahan diperoleh dari hasil interpretasi klasifikasi citra satelit Sentinel 2.

Setiap variabel akan dilakukan analisis spasial dengan menggunakan pembobotan dan skoring atau biasa disebut *weighted scoring*. *Scoring* adalah proses pemberian nilai numerik kepada berbagai faktor atau parameter yang mempengaruhi potensi terjadinya banjir. Tujuan dari *scoring* adalah menguantifikasi pengaruh setiap faktor terhadap risiko banjir. Selanjutnya akan dilakukan pembobotan untuk memberikan nilai kepentingan relatif kepada berbagai faktor yang mempengaruhi risiko banjir. Penentuan skor pada penelitian ini bersifat *expertise judgment* yaitu mengambil pendapat para ahli atau penelitian sebelumnya. Hasil pembobotan kemudian

dilakukan *overlay* untuk mendapatkan peta kerawanan banjir yang kemudian akan diklasifikasikan dari tingkat rendah ke tinggi. Perangkat lunak yang digunakan untuk proses pengolahan dan analisis data dalam penelitian adalah QGIS.

Analisis data dilakukan menggunakan metode *overlay berbobot (weighted overlay analysis)* dalam SIG. Pendekatan ini menggabungkan lima parameter utama yang memengaruhi tingkat bahaya banjir,

Tabel 1. Klasifikasi Skor Setiap Variabel

Variabel	Klasifikasi	Skor
Kemiringan lereng	0 - 8%	9
	8 - 15%	7
	15 - 25%	5
	25 - 40%	3
	> 40%	1
Ketinggian Lahan	0 - 20 mdpl	9
	21 - 50 mdpl	7
	51 - 100 mdpl	5
	101 - 300 mdpl	3
	> 300 mdpl	1
Tutupan lahan	Badan air	9
	Permukiman	7
	Belukar, sawah	5
	Perkebunan	3
	Hutan lahan kering primer	1
	Hutan lahan kering sekunder	1
Curah hujan	>3.001	9
	2.501-3.000	7
	2.001-2.500	5
	1.501-2.000	3
	<1.500	1
Klasifikasi jenis tanah	Aluvial, planosol, hidromorf kelabu, laterik, air tanah	9
	Latosol	7
	Tanah hutan coklat, tanah mediteran	5
	Andosol, grumusol, podsolik	3
	Regosol, litosol, orgasonol, renzina	1

Sumber: Rakuasa et al., 2022

Tabel 2. Klasifikasi Bobot Kerawanan Banjir dari Setiap Parameter

Parameter	Bobot
Kemiringan lereng	0.20
Ketinggian lahan	0.10
Jenis tanah	0.20
Curah hujan	0.25
Tutupan lahan	0.25

Hasil akhir berupa peta bahaya banjir dalam tiga kategori: rendah, sedang, dan tinggi, untuk masing-masing tahun (2018 dan 2024). Tingkat kerawanan ditentukan dengan membagi sama banyak nilai kerawanan dengan jumlah interval kelas yang ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$Ki = \frac{Xt - Xr}{k}$$

Keterangan:

Ki = Kelas interval

Xt = Data tertinggi

X_r = Data terendah

K = Jumlah kelas yang diinginkan

Analisis perubahan spasial dilakukan dengan membandingkan luas dan distribusi kategori bahaya antar tahun, serta mengevaluasi perubahan parameter yang dominan berkontribusi terhadap pergeseran bahaya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Jenis Tanah

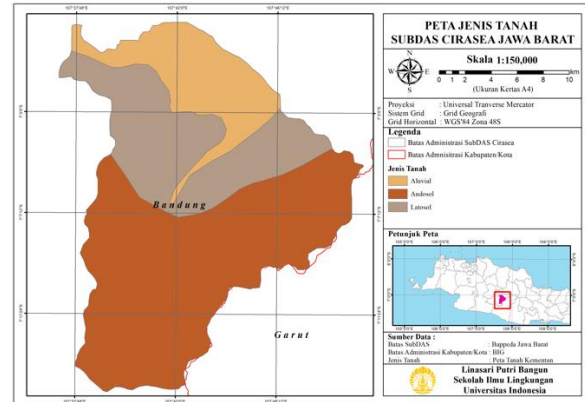
Jenis tanah memiliki peran dalam menentukan potensi terjadinya banjir. Setiap jenis tanah memiliki karakteristik infiltrasi, porositas, dan kapasitas menyimpan air yang berbeda, yang secara langsung mempengaruhi proses aliran air dan risiko banjir. Sub-DAS Cirasea memiliki keragaman jenis tanah yang terdiri dari tiga klasifikasi utama: andosol, aluvial, dan latosol. Tanah andosol mendominasi area pegunungan, sementara Aluvial dan Latosol tersebar pada wilayah yang memiliki topografi datar hingga agak curam. Jenis tanah yang paling banyak ditemukan di sub-DAS Cirasea adalah tanah andosol yaitu sebanyak 21.482 ha atau 55,3%. Tanah andosol berperan penting sebagai penyangga alami terhadap banjir karena kapasitas infiltrasinya yang tinggi mampu menyerap dan menahan air hujan secara efektif, sehingga dapat memperlambat limpasan permukaan.

Terdapat pula jenis tanah latosol, adalah tanah yang telah mengalami pelapukan lanjut dan pencucian intensif di daerah tropis dengan curah hujan tinggi. Dari hasil analisis spasial ditemukan tanah latosol sebanyak 10.670,79 ha atau sebanyak 27,5%. Dari segi hidrologi, tanah latosol memiliki kapasitas infiltrasi sedang hingga rendah terutama saat jenuh air, dan kandungan liat tinggi dapat membatasi pergerakan air ke dalam tanah setelah hujan berkepanjangan. Pada area dengan kemiringan lereng tinggi, tanah latosol rentan mengalami erosi yang dapat berkontribusi terhadap sedimentasi sungai, mengurangi kapasitas tampung, dan akhirnya meningkatkan risiko banjir. Jenis tanah berikutnya adalah tanah aluvial sebanyak 6.707,22 ha atau meliputi 17,3% wilayah tersebut. Tanah ini memiliki karakteristik tekstur yang bervariasi dari pasir hingga lempung dengan struktur berlapis sesuai periode pengendapan. Saat terjadi hujan lebat, tanah aluvial terutama yang didominasi lempung memiliki permeabilitas rendah yang menghambat infiltrasi air, sehingga meningkatkan risiko banjir karena air sulit meresap ke dalam tanah.

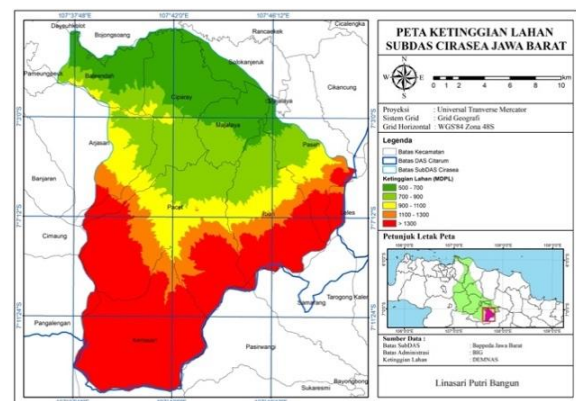
3.2. Ketinggian Lahan

Dalam hidrologi, elevasi yang tinggi seperti ini berperan penting sebagai wilayah tangkapan air dan menjadi sumber utama aliran permukaan yang akan mengalir menuju daerah hilir (Hoque *et al.*, 2019). Dari hasil analisis diketahui ketinggian lahan semakin meningkat ke bagian hulu. Sejalan dengan penelitian

terdahulu yang menyatakan bahwa Sub DAS Cirasea berada pada ketinggian 657-2.357 meter di atas permukaan laut (Dede *et al.*, 2024). Hal ini menunjukkan bahwa Sub DAS Cirasea didominasi oleh wilayah dataran tinggi atau perbukitan, yang umumnya menjadi wilayah hulu dalam sistem DAS. Secara umum, daerah dengan elevasi tinggi memiliki risiko banjir yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan dataran rendah, karena air cenderung mengalir dari dataran tinggi menuju dataran rendah (Cao *et al.*, 2016). Data ketinggian lahan diasumsikan sama tahun 2018 dan tahun 2024.



Gambar 2. Peta Jenis Tanah



Gambar 3. Peta Ketinggian Lahan

3.3. Kemiringan Lereng

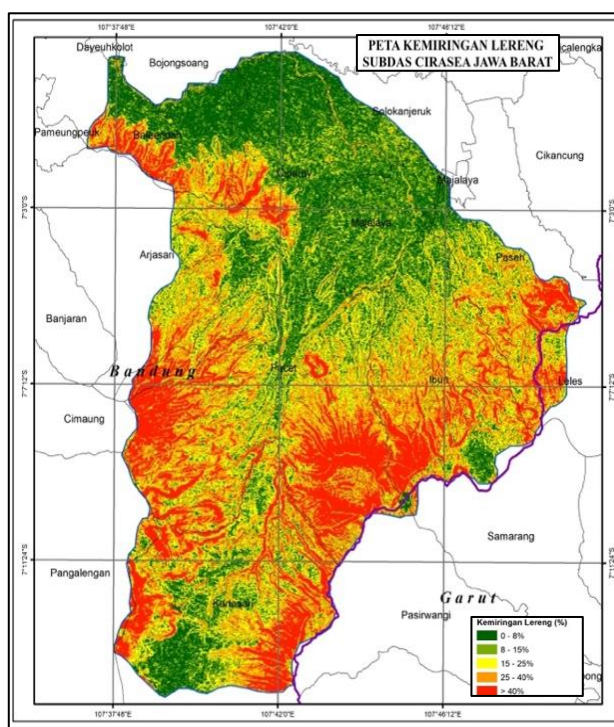
Kemiringan lereng memengaruhi kecepatan, volume, dan distribusi air hujan di suatu wilayah, yang selanjutnya berdampak langsung pada risiko banjir. Pada bagian utara dan tengah di dominasi dengan kemiringan lereng landai (0-8%), sedangkan bagian timur dan barat sub DAS Cirasea didominasi oleh kemiringan lereng sedang hingga curam (15%-40%). Total luas kemiringan lereng sedang hingga curam ini sebanyak 23.545,13 ha. Semakin curam sudut lereng, semakin singkat waktu konsentrasi air, yang berarti air hujan akan lebih cepat mengumpul di daerah hilir dan meningkatkan potensi banjir.

Dari hasil analisis, kemiringan lereng 0-8% terdapat seluas 7.822,72 ha dan kemiringan lereng 8-15% seluas 7.493,25 ha. Kemiringan lereng antara 0-15% termasuk dalam lereng kemiringan landai. Kemiringan ini cenderung lebih rawan banjir

genangan, dimana air hujan akan mengalir lebih lambat, sehingga berpotensi mengumpul di permukaan (Asriningrum *et al.*, 2015). Apabila di kemiringan lereng landai terdapat drainase buruk serta tanah tidak menyerap air dengan baik, banjir sangat mudah terjadi. Kemiringan lereng juga berkaitan erat dengan proses erosi dan sedimentasi. Lereng curam lebih rentan terhadap erosi tanah, yang dapat mengubah struktur lahan dan mempengaruhi pola aliran air. Erosi yang parah dapat menyebabkan pengendapan material di daerah hilir, yang selanjutnya dapat menghambat aliran sungai dan meningkatkan risiko banjir. Perubahan bentuk lahan akibat erosi dapat mengubah saluran aliran air, menciptakan potensi genangan dan banjir di area tertentu.

Tabel 3. Luasan Tiap Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng	Luas (ha)
0 - 8%	7.822,72
8 - 15%	7.493,25
15-25%	8.006,78
25-40%	8.186,14
> 40%	7.351,57



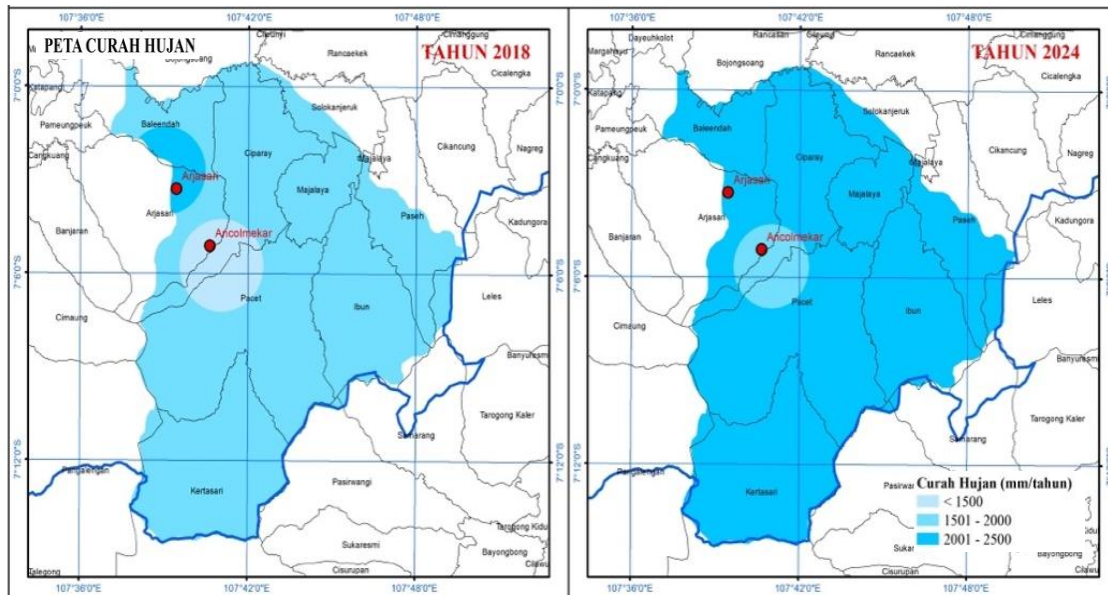
Gambar 4. Peta Kemiringan Lereng

3.4. Curah Hujan

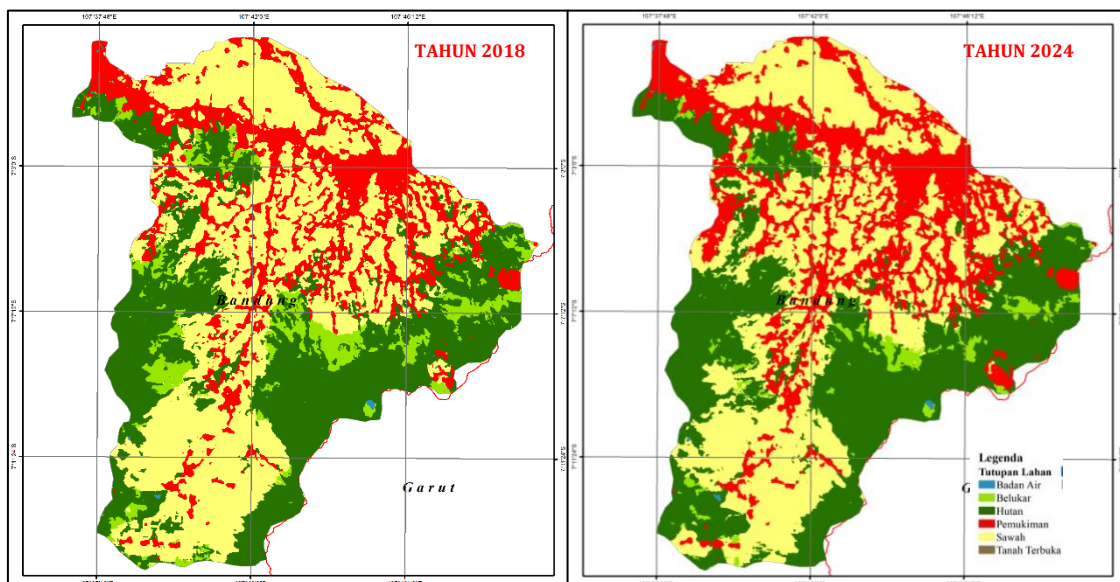
Distribusi curah hujan tahun 2024 didominasi oleh kategori intensitas tinggi (2.001-2.500 mm) yang ditandai dengan warna biru tua di hampir seluruh wilayah SubDAS Cirasea. Hanya terdapat satu area dengan intensitas curah hujan sedang (1.501-2.000 mm) yang membentuk lingkaran kecil di sekitar pos pengamatan hujan Ancolmekar di wilayah Bandung. Peta curah hujan tahunan dibentuk dengan menginterpolasi data titik yang diperoleh dari BBWS Citarum. Teknik interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) merupakan prosedur yang digunakan secara luas untuk menginterpolasi data metrologi seperti curah hujan dan suhu (Ullah *et al.*, 2020, Ryu *et al.*, 2020).

Berbeda dengan periode 2018, kategori curah hujan rendah (<1.500 mm) tidak lagi muncul pada peta tahun 2024 ini. Hal ini menunjukkan terjadi peningkatan signifikan intensitas curah hujan di sebagian besar wilayah SubDAS Cirasea. Area dengan curah hujan tinggi (2.001-2.500 mm) yang pada tahun 2018 hanya terkonsentrasi di sekitar pos pengamatan Arjasari, kini telah meluas hingga mencakup hampir seluruh wilayah SubDAS. Zona dengan curah hujan sedang (1.501-2.000 mm) yang mendominasi wilayah pada tahun 2018 kini menyusut drastis, hanya tersisa di sekitar stasiun Ancolmekar dalam bentuk lingkaran yang lebih kecil dibandingkan area curah hujan rendah pada peta 2018. Kategori curah hujan rendah (<1.500 mm) yang sebelumnya terdapat di sekitar Ancolmekar pada tahun 2018 kini tidak lagi ada, mengindikasikan bahwa seluruh wilayah SubDAS mengalami peningkatan intensitas curah hujan.

Perbandingan data tahun 2018 dan 2024 menunjukkan curah hujan tahun 2024 lebih tinggi dibandingkan tahun 2018 pada data yang digunakan dalam penelitian ini. Perbedaan tersebut tidak dimaksudkan untuk menggambarkan tren klimatologis jangka panjang karena penelitian ini hanya membandingkan dua titik waktu. Peningkatan luas area dengan intensitas curah hujan tinggi ini berimplikasi pada meningkatnya potensi limpasan permukaan dan berkurangnya waktu resapan air (Nugroho dan Handayani, 2021). Temuan ini konsisten dengan meningkatnya perhatian terhadap risiko hujan ekstrem dalam konteks perubahan iklim. Namun demikian, penelitian ini tidak dirancang untuk menguji pengaruh perubahan iklim secara langsung karena hanya menggunakan dua periode pengamatan.



Gambar 5. Peta Curah Hujan



Gambar 6. Peta Tutupan Lahan

3.5. Tutupan Lahan

Secara *time series*, sub DAS Cirasea mengalami perubahan tutupan lahan signifikan. Perubahan tutupan lahan di Sub DAS Cirasea terus mengalami perubahan sebagai akibat dari berbagai aktivitas manusia. Areal badan air meningkat sebesar 12,79% menjadi 33,798 ha pada tahun 2024. Di sisi lain, perubahan areal belukar menurun signifikan sebanyak 58,46% dari 2628,193 ha menjadi 1091,799 ha. Luas tutupan lahan untuk areal hutan terus meningkat sebesar 7,91%. Ini mengindikasikan perubahan baik seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga ekosistem hutan. Kondisi tutupan hutan di DAS Citarum hulu hingga tahun 2024, terus mengalami penambahan luas menjadi 13.554,574 ha. Penambahan luas hutan tersebut akan berdampak pada meningkatnya daya tampung dan daya dukung suatu DAS.

Peningkatan luasan permukiman juga cukup signifikan terjadi di sub DAS Cirasea dari tahun 2018 hingga 2024 sebesar 22,18%. Ini menunjukkan adanya pertumbuhan urban di wilayah tersebut. Ekspansi permukiman ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pertumbuhan populasi, urbanisasi dari wilayah sekitar. Perubahan tutupan lahan dari area vegetasi menjadi permukaan kedap air seperti jalan dan bangunan meningkatkan volume dan kecepatan limpasan permukaan, memberikan tekanan lebih pada sistem drainase yang ada. Selama 30 tahun terakhir, pembangunan ekonomi yang pesat telah menyebabkan peningkatan ekstraksi air dan alih fungsi lahan dari daerah hijau menjadi daerah terbangun (Kuntoro, 2018). Penelitian oleh Widiawaty dan Ismail, *et al.* (2020) mengungkapkan hal yang sama, bahwa kawasan terbangun untuk tujuan perumahan, amenitas, dan ekonomi menunjukkan keterkaitan spasial, dengan lokasi

mereka yang relatif berdekatan satu sama lain. Penelitian terdahulu oleh Handayani (2019) menunjukkan bahwa wilayah hilir DAS Cirasea menjadi episentrum perkembangan industri tekstil di Bandung Raya, dibuktikan dengan keberadaan produsen multinasional yang berlokasi dekat dengan jalan raya dan permukiman yang membentang dari sisi timur (Majalaya) hingga barat (Baleendah). Fenomena ini telah mengubah proporsi tata guna lahan dan tutupan lahan secara dinamis selama kurun waktu 1993 hingga 2023.

Tabel 4. Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2018 dan 2024

Jenis	Luas (ha)		Perubahan (%)
	2018	2024	
Badan air	29,964	33,798	+12,79
Belukar	2628,193	1091,799	-58,46
Hutan	12560,880	13554,574	+7,91
Permukiman	7665,284	9365,784	+22,18
Sawah	15974,167	14813,363	-7,27
Tanah terbuka	1980	1150	-41,92

Sumber: Olahan penulis, 2025

Dari keenam kategori tersebut, dapat dilihat bahwa setiap kategori mengalami perubahan yang signifikan dalam enam tahun terakhir. Peningkatan luas badan air dan hutan diikuti dengan penurunan drastis tanah terbuka mengindikasikan perbaikan kemampuan dan infiltrasi air di wilayah tersebut. Program Citarum Harum yang sudah berjalan enam tahun menunjukkan adanya kemajuan dalam upaya restorasi ekosistem dan pengendalian banjir di DAS Citarum hulu (Pitaloka *et al.*, 2020; Ayyasy *et al.*, 2021). Untuk itu, upaya pemantauan terhadap perubahan tutupan lahan masih perlu dilakukan untuk menjaga kestabilan ekosistem DAS dan memastikan keberlanjutan perbaikan ekologis.

3.6. Kerawanan Banjir

Penelitian ini dilakukan secara *time series* yaitu tahun 2018 dan 2024. Pemilihan rentang waktu 2018-2024 dalam analisis spasial didasarkan pada beberapa pertimbangan strategis yang saling berkaitan. Tahun 2018 dipilih sebagai tahun baseline karena menandai dimulainya Program Citarum Harum yang diinisiasi oleh Presiden Joko Widodo melalui Peraturan Presiden Nomor 15 Tahun 2018 tentang Percepatan Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Daerah Aliran Sungai Citarum. Program ini diluncurkan sebagai respons terhadap kondisi kritis Sungai Citarum yang telah mendapat predikat sebagai salah satu sungai terkotor di dunia, dengan tingkat pencemaran yang sangat tinggi akibat limbah industri, domestik, dan sampah plastik yang mencapai kondisi mengkhawatirkan (Prayoga *et al.*, 2022). Pemilihan tahun 2024 sebagai tahun akhir analisis memberikan gambaran komprehensif mengenai dampak implementasi program selama 6 tahun, yang memungkinkan evaluasi perubahan kondisi hidrologi dan tingkat kerawanan banjir sebelum program resmi

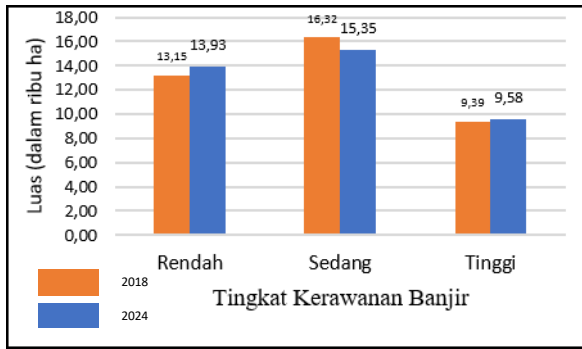
berakhir pada 2025. Rentang waktu 6 tahun ini dianggap representatif untuk menganalisis tren perubahan spasial kerawanan banjir, mengingat perubahan kondisi hidrologi dan morfologi sungai memerlukan waktu yang cukup untuk menunjukkan dampak yang terukur.

Dalam studi ini, kerawanan banjir dianalisis tanpa mempertimbangkan latar sosial dan budaya. Dalam studi ini, peneliti mengambil lima kriteria, yaitu tutupan lahan, elevasi, lereng, jenis tanah, dan curah hujan. Di sisi lain, Feloni *et al.*, 2020 menggunakan sembilan parameter, sementara Vojtek *et al.*, 2019 menggunakan menggunakan enam parameter. Akibatnya, harus dinyatakan bahwa tidak ada kesepakatan pasti tentang parameter mana yang harus diterapkan untuk analisis kerentanan fisik (Hussain *et al.*, 2021). Jumlah parameter harus disesuaikan dengan kondisi lingkungan binaan lokal. Pada penelitian ini telah ditentukan menggunakan lima variabel yang telah diklasifikasikan dan *scoring*, maka selanjutnya dilakukan pembobotan pada setiap parameter yang berpengaruh terhadap banjir. Setelah itu, dilakukan analisis spasial dengan tumpang tindih peta-peta digital sebelumnya yang telah diberi skor dan bobot pada masing-masing peta digital, sehingga menghasilkan peta zonasi yang akan dianalisis selanjutnya untuk mengetahui tingkat kerawanan banjir rendah, sedang, dan tinggi. Hasil analisis spasial dapat dilihat pada Gambar 7. Bagian hilir didominasi tingkat kerawanan banjir tinggi, sedangkan bagian tengah dan hulu didominasi tingkat kerawanan banjir sedang dan rendah.

Tabel 5. Perbandingan Tingkat Kerawanan Banjir Tahun 2018 dan 2024

Tingkat Kerawanan Banjir	Luas 2018 (Ha)	Luas 2024 (Ha)	Perubahan (%)
Rendah	13.146,055	13.929,271	5,96
Sedang	16.324,914	15.349,309	-5,98
Tinggi	9.389,281	9.581,670	2,05

Berdasarkan Tabel 5 tentang hasil analisis tingkat kerawanan banjir, dapat diketahui pada tahun 2024, yang memiliki daerah paling luas adalah kelas rawan banjir sedang dengan luas 15.349,31 ha atau sebanyak 35,84%. Wilayah yang masuk dalam kelas rawan banjir rendah sebanyak 13.929,27 ha atau 39,5%. Hal ini karena wilayah ini didominasi oleh daerah hutan dan belukar. Wilayah dengan kelas rawan banjir tinggi diketahui sebanyak 9.581,67 ha atau 24,66%. Penyebab tingginya kerawanan banjir di wilayah ini jika dilihat dari parameternya disebabkan karena jenis tanah alluvial, tutupan lahan yang mendominasi adalah sawah dan permukiman, dan kemiringan landai antara 0-15%. Pada tahun 2024, didapatkan hasil yang sama dimana kelas rawan sedang merupakan paling dominan, diikuti kelas rawan rendah dan rawan tinggi.

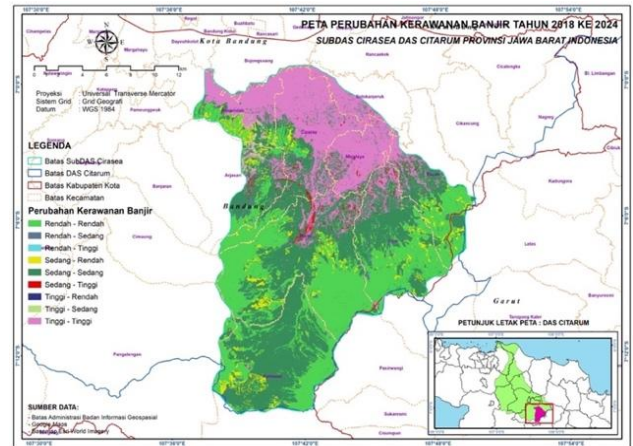


Gambar 8. Perbandingan Luasan Tiap Kelas Kerawanan Banjir

Sumber: Olahan Penulis, 2025

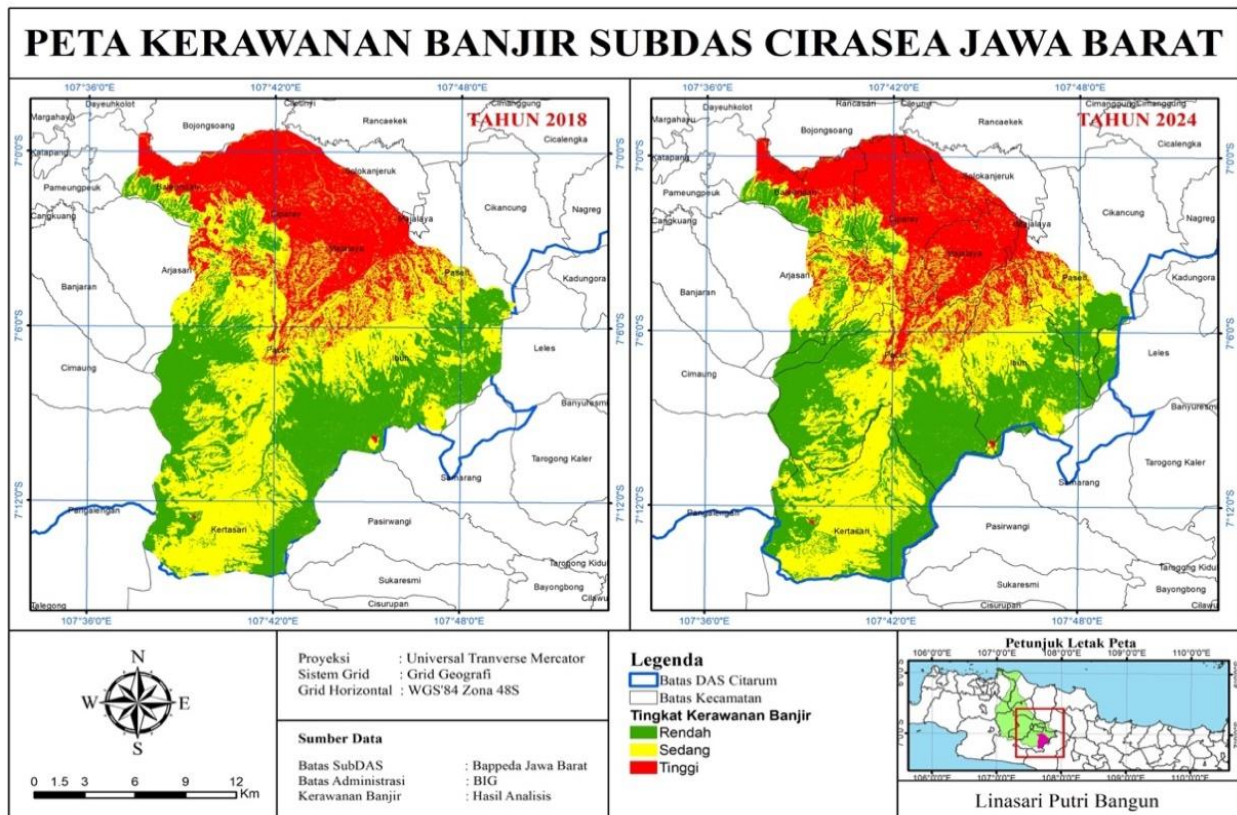
Terdapat peningkatan area dengan kerawanan banjir rendah sebanyak 5,96% yang mana menunjukkan keberhasilan upaya mitigasi di beberapa lokasi. Pada saat yang sama, terjadi pula peningkatan simultan pada area berisiko tinggi sebanyak 2,05%, sementara di kategori sedang mengalami penurunan sebanyak 5,98%. Ini mengindikasikan terjadi pergeseran zona-zona yang sebelumnya berisiko sedang ke arah baik atau justru lebih berbahaya. Beberapa faktor potensial adalah intervensi mitigasi yang tidak merata atau tidak menjangkau semua area. Sub DAS Cirasea menjadi salah satu fokus program Citarum Harum dalam melakukan konservasi dan rehabilitasi (Nursyifa dan Kaswanto, 2021). Faktor lainnya adalah konversi

lahan terbuka menjadi area terbangki yang mengurangi kemampuan penyerapan air, sehingga mengubah area berisiko sedang menjadi berisiko tinggi. Sebaliknya, peningkatan infrastruktur drainase di beberapa tempat mungkin menurunkan risiko dari sedang ke rendah. Selanjutnya hasil analisis kerawanan banjir tahun 2018 dan 2024 dilakukan *overlay* untuk mengetahui lebih rinci daerah mana saja yang mengalami perubahan kelas kerawanan. Setelah dilakukan *overlay*, terlihat perubahannya pada Gambar 9.



Gambar 9. Peta Perubahan Tingkat Kerawanan Banjir 2018 dan 2024

Sumber: Olahan Penulis, 2025



Gambar 7. Peta Kerawanan Banjir

Dari Tabel 6 dapat dilihat perubahan setiap kelas kerawanan banjir. Terdapat beberapa luasan yang mengalami penurunan dari kelas kerawanan banjir sedang yang berpindah menjadi kelas kerawanan banjir rendah sebanyak 1.407,479 ha atau 3,622% dan dari kelas kerawanan banjir tinggi ke rendah sebanyak 1,483 ha atau 0,004%. Selain itu, ada pula yang mengalami kenaikan kelas kerawanan, yaitu dari sedang ke tinggi sebanyak 433,836 ha atau 1,116%. Adapula dari kelas kerawanan rendah yang berpindah ke tinggi, namun jumlahnya sangat kecil yaitu 0,001%.

Tabel 6. Luas Perubahan Tiap Kelas Kerawanan Banjir

No	Perubahan	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Rendah - Rendah	12.520,309	32,219
2	Rendah - Sedang	625,398	1,609
3	Rendah - Tinggi	0,349	0,001
4	Sedang - Rendah	1.407,479	3,622
5	Sedang - Sedang	14.483,59	37,271
6	Sedang - Tinggi	433,836	1,116
7	Tinggi - Rendah	1,483	0,004
8	Tinggi - Sedang	240,312	0,618
9	Tinggi - Tinggi	9.147,486	23,539

Sumber: Olahan penulis, 2025

Perubahan tingkat kerawanan banjir yang ditunjukkan pada Gambar 9 memiliki keterkaitan yang erat dengan dinamika tutupan lahan selama periode 2018–2024. Hasil interpretasi spasial menunjukkan bahwa wilayah yang mengalami peningkatan kelas kerawanan, khususnya perubahan dari kelas sedang menjadi tinggi (ditunjukkan dengan warna merah pada Gambar 9), umumnya berada pada bagian tengah hingga utara Sub DAS Cirasea. Wilayah tersebut juga merupakan kawasan yang mengalami perkembangan permukiman cukup pesat, terutama di sekitar Kecamatan Majalaya, Ciparay, dan koridor kawasan perkotaan yang berkembang mengikuti jaringan jalan utama.

Peningkatan luas permukiman sebesar 22,18% selama periode penelitian menunjukkan adanya konversi sebagian lahan non-terbangun menjadi kawasan terbangun. Secara spasial, perkembangan tersebut terjadi pada area yang sebelumnya didominasi oleh sawah, belukar, maupun lahan terbuka. Perubahan tersebut menyebabkan meningkatnya luas permukaan kedap air (*impervious surface*), sehingga kemampuan infiltrasi tanah menurun dan limpasan permukaan meningkat. Kondisi tersebut menjelaskan mengapa beberapa wilayah yang sebelumnya berada pada kelas kerawanan sedang bergeser menjadi kelas kerawanan tinggi.

Sebaliknya, beberapa wilayah yang mengalami penurunan kelas kerawanan, terutama perubahan dari kelas sedang menjadi rendah, banyak dijumpai pada bagian selatan dan barat daya Sub DAS Cirasea. Berdasarkan interpretasi peta tutupan lahan, wilayah tersebut menunjukkan peningkatan luas tutupan hutan sebesar 7,91%, disertai penurunan luas belukar dan tanah terbuka. Bertambahnya vegetasi pada kawasan hulu meningkatkan kapasitas infiltrasi dan

memperkuat fungsi daerah tangkapan air sehingga mampu mengurangi limpasan permukaan. Temuan ini mengindikasikan bahwa perubahan kerawanan banjir di Sub DAS Cirasea tidak berlangsung secara seragam, tetapi dipengaruhi oleh dua proses yang terjadi secara bersamaan, yaitu rehabilitasi tutupan vegetasi di sebagian kawasan hulu dan ekspansi kawasan terbangun pada wilayah tengah hingga hilir.

Maka dari itu, strategi ketahanan wilayah dari aspek lingkungan dan fisik harus berfokus pada pengendalian tata guna lahan, rehabilitasi lingkungan, dan pembangunan infrastruktur adaptif. Strategi fisik yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya banjir di daerah rawan bencana banjir tinggi antara lain mencakup pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur pengendali banjir seperti embung, kolam retensi, drainase berwawasan lingkungan, dan tanggul alami. Pemanfaatan teknologi *green infrastructure* seperti taman resapan dan sumur biopori harus diprioritaskan dalam kawasan permukiman baru. Perencanaan sumur resapan memiliki efektivitas reduksi debit limpasan 94,81% (Alsadilla *et al.*, 2024). Penerapan strategi-strategi ini secara simultan dapat meningkatkan daya lenting wilayah dalam menghadapi banjir, sekaligus menjaga keberlanjutan fungsi ekologis DAS Citarum Hulu.

4. KESIMPULAN

Bencana yang disebabkan oleh iklim, khususnya banjir di DAS Citarum hulu, telah menyebabkan kerusakan dan kerugian. Penelitian ini menggunakan pendekatan multikriteria berbasis SIG untuk menggambarkan kerawanan banjir SIG di Sub DAS Cirasea pada dua periode waktu. Tingkat kerawanan banjir dari tahun 2018 ke tahun 2024 menunjukkan adanya perubahan ditandai dengan penambahan area kelas kerawanan banjir rendah sebanyak 5,96%, pengurangan kelas rawan sedang sebanyak 5,98% dan penambahan kelas rawan tinggi sebanyak 2,05%. Tahun 2024, Sub DAS Cirasea didominasi kelas kerawanan banjir sedang seluas 15.349,31 ha (39,5%), kerawanan banjir rendah seluas 13.929,71 ha (35,84%), dan kerawanan banjir tinggi seluas 9.581,67 ha (24,66%). Kerawanan banjir tinggi terdapat di bagian utara, rawan banjir sedang terdapat di bagian tengah, dan rawan banjir rendah di bagian timur, tenggara dan barat Sub DAS Cirasea. Untuk itu di setiap masing-masing zona rawan. Pihak berwenang perlu mempertimbangkan untuk mengembangkan kebijakan tata ruang berbasis risiko bencana yang lebih ketat, memperkuat implementasi peraturan zonasi, serta mengintegrasikan pendekatan pembangunan berkelanjutan yang memperhatikan keseimbangan antara kebutuhan permukiman dan pelestarian fungsi ekologis lahan. Meskipun demikian, peneliti menyadari bahwa penelitian ini terbatas pada satu kategori bencana meskipun ada potensi bencana lain di Sub DAS Cirasea. Penelitian di masa mendatang sangat penting untuk meningkatkan ketahanan di Daerah Aliran Sungai melalui integrasi berbagai jenis bencana.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh LPDP. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada LPDP Kementerian Keuangan yang telah mendukung penuh penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsadilla S, WardhaniE. Perencanaan Konsep Zero Runoff dengan Menggunakan Sumur Resapan di Perumahan X, Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, Vol. 9 No 2, 147-156.
- Aprilana, Subagja, M. R. (2021). Analisis Spasial Daerah Rawan Banjir Berbasis Sistem Informasi Geografis Di Kabupaten Bnadung, Jawa Barat (Studi Kasus : Kecamatan Banjaran dan Kecamatan Arjasari). FTSP Series 2 : Seminar Nasional dan Disemaninasi Tugas Akhir 2021. Itenas
- Asriningrum, W., Harsanugraha, W. K., & Prasasti, I. (Eds.). (2015), Bunga Rampai Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Mitigasi Bencana Banjir. PT Penerbit IPB Press.
- Ayyasy MNI, Herdiansyah H, Kosandi M. 2021. Accelerating Citarum river restoration by involving peculiar multi-stakeholders approach. *IOP Conference Series Earth Environment Science*, 802(1):012026. doi:10.1088/1755- 1315/802/1/012026
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana.. (2023). Geoportal Kebencanaan Indonesia. Jakarta : BNPB.
- Cao, C., Xu, P., Wang, Y., Chen, J., Zheng, L., & Niu, C. (2016), "Flash Flood Hazard Susceptibility Mapping Using Frequency Ratio and Statistical Index Methods in Coalmine Subsidence Areas", *Sustainability*, Vol.8, No.9, hal. 1-18. <https://doi.org/10.3390/su8090948>
- D'Arrigo R, Abram N, Ummenhofer C, Palmer J, Mudelsee M. (2011). Reconstructed streamflow for citarum river, Java, Indonesia: linkages to tropical climate dynamics. *Climate Dynamics* 2011; 36(3-4): 451-62.
- Fares, Y. R., Yudianto, D. (2004). Hydrological Modeling Of The Upper Citarum Catchment, West Java. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:131203811>
- Fathunnisa F, Salami IRS. (2015). Content of heavy metals in the water and water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in water bodies receiving wastewater from textile industry (Case study: cikacembang River, Majalaya Districts, Bandung Regency). *The Third Joint Seminar of Japan and Indonesia Environmental Sustainability and Disaster Prevention* (3rd ESDP-2015); p. 207-217.
- Feloni, E., Mousadis, I., & Baltas, E. (2020). Flood vulnerability assessment using a GIS-based multi-criteria approach—The case of Attica region. *Journal of Flood Risk Management*, 13, e12563.
- Fitriyani, J., Khoirudin Apriyadi, R., Winugroho, T., Hartono, D., Dewa Ketut Kerta Widana, et al. (2021). Karakteristik Histori Bencana Indonesia Periode 1815 - 2019 Berdasarkan Jumlah Bencana, Kematian, Keterpaparan dan Kerusakan Rumah Akibat Bencana. PENDIPA. *Journal of Science Education*, 5(3), 322- 327. <https://doi.org/10.33369/pendipa.5.3.322-327>
- Halimatusadiah, S. Hadi Dharmawan, A. Mardiana, R. (2012). Efektivitas Kelembagaan Partisipapatoris di Hulu Daerah Aliran Sungai Citaru. *Jurnal Sosiologi Pedesaan..* Volume VI No. I, 71-90.
- Handayani S. (2019). Majalaya as the center for textile industry in spatial historical perspectives. *IOP Conf Ser Earth Environment Science*, 243:012167. doi:10.1088/1755-1315/243/1/012167.
- Hussain, M., Tayyab, M., Zhang, J., Shah, A. A., Ullah, K., Mehmood, U., & Al-Shaibah, B. (2021). GIS-Based Multi-Criteria Approach for Flood Vulnerability Assessment and Mapping in District Shangla: Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Sustainability*, 13(6), 3126. <https://doi.org/10.3390/su13063126>
- IPCC Working Group I. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
- Jongman, B. (2018). Effective adaptation to rising flood risk. *Nature Communications*, 9 (1), 1-3.
- Jonkman, S. N., Curran, A., Bouwer, L.M. (2024). Floods hace become less deadly: an analysis of global flood fatalities 1975-2022. *Natural Hazard*, 120:6327-6342.
- Julaeha, S., Kendarto, D. W., Solihin, M. A. (2022). Analisis Tingkat Kerawanan Longsor di Sub Daerah Aliran Sungai Cisangkuy, Citarum Hulu Kabupaten Bandung Menggunakan Metode Skoring. *Applied Information System and Management (AISM)*. Volume 5, (2) 2022, p. 97-104
- Junnaedhi et al., (2017). Majalaya Flood Early Warning System: A Community Based Approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 71, no. 1, p. 012013, Jun. 2017, doi:10.1088/1755-1315/71/1/012013.
- Kuntoro, A. A., Cahyono, M., & Soentoro, E. A. (2018). Land Cover and Climate Change Impact on River Discharge: Case Study of Upper Citarum River Basin. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 50(3), 364-381. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2018.50.3.4>
- Nugroho, D. A., & Handayani, W. (2021). Kajian Faktor Penyebab Banjir dalam Perspektif Wilayah Sungai: Pembelajaran Dari Sub Sistem Drainase Sungai Beringin. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, Vol.17, No.2, hal. 119-136. <https://doi.org/10.14710/pwkv17i2.33912>
- Nursyifa, F., Kuswanto. (2021). Kelembagaan Program Citarum Harum dalam Pengelolaan Sub DAS Cirasea Citarum Hulu. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan*, Vol. 8 No. 3, 121-135. <https://doi.org/10.29244/jkebijakan.v8i3.28064>
- Peraturan Presiden Nomor 15 Tahun 2018 tentang Percepatan Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Daerah Aliran Sungai Citarum.
- Pitaloka EF, Karuniasa M, Moersidik SS. 2020. Time series of forest land cover change in the Upper Citarum Watershed, West Java Province, Indonesia. *E3S Web Conferences* 211:04001. doi:10.1051/e3sconf/202021104001
- Prayoga, A., Khaerul Umam, & Sakrim Miharja. (2022). Studi Collaborative Governance Program Citarum Harum Dalam Perbaikan Kualitas Air Sungai Citarum. *Moderat: Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*, 8(3), 469-485. <https://doi.org/10.25157/moderat.v8i3.2759>
- Rakuasa, H., Sihasale, D.A., Mehdila, M. C., Wlary, A.P. (2022). Analisis spasial tingkat kerawanan banjir di Kecamatan Teluk Ambon Baguala, kota Ambon. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, Vol, 3, No 2, 60-69. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2022.v3i2.80>

- Bangun, L. P., Hasibuan, H. S., dan Syamsurizal, I. (2026). Analisis Spasial Kerawanan Banjir di DAS Citarum Hulu: Studi Komparatif 2018 dan 2024 pada Sub DAS Cirasea. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(3), 603-613. doi:10.14710/jil.24.3.603-613
- Ryu, S.; Song, J.J.; Kim, Y.; Jung, S.H.; Do, Y.; Lee, G.W. (2020). Spatial Interpolation of Gauge Measured Rainfall Using Compressed Sensing. *Asia-Pacific Journal Atmosphere Science*. <https://doi.org/10.1007/s13143-020-000200-7>
- Sitorus, I. H. O., Bioresta, F., Hayati, N. (2021). Analisa Tingkat Rawan Banjir di Daerah Kabupaten Bandung Menggunakan Metode Pembobotan dan Scoring. *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 10, No. 1. DOI: [10.12962/j23373539.v10i1.60082](https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i1.60082)
- Sugito, N. T., Gumilar, I., Hernandi, A., Handayani, A. P., Dede, M. (2023). Utilizing semi-variograms and geostatistical approach for land value model in the urban region. *International Journal of Engineering*, 36(12), 2222-2231. DOI: [10.5829/IJE.2023.36.12C.12](https://doi.org/10.5829/IJE.2023.36.12C.12)
- Sunardi S, Ariyani M, Withaningsih S, Darma AP, Wikarta K, Parikesit P, Kamarudin MKA, Abdoellah OS. (2021). Peri-urbanization and sustainability of a groundwater resource. *Environment Development Sustainability* 23(6):8394–8404. doi: [10.1007/s10668-020-00972-y](https://doi.org/10.1007/s10668-020-00972-y)
- Supartono, B., Ambari, M.D., Rudi, M. (2022). Community Centered Mitigation Based on Science Literature to Reduce the Risk of Disaster in Indonesia. *Indonesian Red Crescent Humanitarian Journal*, Vol.1, No.1, hal. 26-33. <https://doi.org/10.56744/irchum.v1i1.12>
- Susandi, A., Budi, B.I., Rahesanita, D., Arifin, E.T.N., Satryo, I.F., Ali, M.F., Rahmah, N.N., Khahfi, Y.M. (2022). Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis dalam Pemetaan Laju Erosi Menggunakan Metode USLE di Sub DAS Cirasea. *PIG (Jurnal Pendidikan dan Ilmu Geografi)*, Vol. 7, No. 1, Maret 2022, 62-78. <https://doi.org/10.21067/jpig.v7i1.6649>
- Ullah, K.; Zhang, J. (2020). GIS-Based Flood Hazard Mapping Using Relative Frequency Ratio Method: A Case Study of Panjkora River Basin, Eastern Hindu Kush. *PLoS ONE*, 15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229153>
- Vojtek, M., & Vojteková, J. (2019). Flood susceptibility mapping on a national scale in Slovakia using the analytical hierarchy process. *Water*, 11(2), 364. <https://doi.org/10.3390/w11020364>
- Widiawaty MA, Ismail A, Dede M, Nurhanifah N. 2020. Modeling land use and land cover dynamic using geographic information system and Markov-CA. *Geos Ind.* 5(2):210. doi: [10.19184/geosi.v5i2.17596](https://doi.org/10.19184/geosi.v5i2.17596)
- Yulianto F., Suwarsono, Nugroho U. C., Nugroho N. P., Sunarmodo W., Khomarudin M. R., 2020. Spatial-temporal dynamics land use/land cover change and flood hazard mapping in the Upstream Citarum watershed, West Java, Indonesia. *Quaestiones Geographicae*, 39(1), Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, pp. 125–146. DOI: <https://doi.org/10.2478/quageo-2020-0010>