

Analisis Tingkat Kerawanan Banjir di Kecamatan Klojen Kota Malang Tahun 2020 - 2024

Abdillah Ramadhani^{1*}, Beni Hari Susanto², Yusup Saktiawan³

^{1,2,3}STIKES Widyagama Husada Malang

Alamat: Jl. Taman Borobudur Indah No.3a, Mojolangu, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur, Indonesia

Corresponding: benyharisusanto1126@widayagamahusada.ac.id

Abstract. Flooding is a major urban environmental problem influenced by environmental, socioeconomic, and technical factors. Klojen District, Malang City, recorded 182 flood events during 2020–2024, highlighting the need for a spatial assessment of flood vulnerability. This study aimed to analyze flood vulnerability levels and identify areas with the highest vulnerability in Klojen District during 2020–2024. A descriptive quantitative approach with spatial analysis was employed using a Multi-Criteria Decision Making (MCDM) framework. The Analytical Hierarchy Process (AHP) was used to determine the weights of vulnerability aspects and parameters, including environmental physical factors (rainfall, maximum rainfall, and elevation), socioeconomic factors (population density and building density), and technical-environmental factors (drainage condition, land use, and green open space availability). A weighted overlay analysis was then applied to integrate the weighted parameters into a flood vulnerability index. The analysis focused on five urban villages with the highest flood occurrences. The results showed that socioeconomic and technical-environmental aspects had the highest global weights, each accounting for 0.471. Building density (0.392) and land use (0.314) were the most influential parameters. All five urban villages were classified as having moderate flood vulnerability, with index values ranging from 0.41 to 0.47. Kauman and Bareng were identified as the highest-priority areas, with 10 and 77 flood events, respectively.

Keywords: Analytical Hierarchy Process, flood vulnerability, Geographic Information System, Klojen District.

Abstrak. Banjir merupakan permasalahan perkotaan yang tingkat kerawannya dipengaruhi oleh faktor lingkungan, sosial ekonomi, dan teknis. Kerawanan banjir menunjukkan kondisi suatu wilayah berdasarkan potensi terdampak akibat kombinasi berbagai faktor penyebab banjir. Kecamatan Klojen, Kota Malang, mengalami 182 kejadian banjir selama tahun 2020 - 2024 sehingga diperlukan analisis tingkat kerawanan. Penelitian ini bertujuan menganalisis tingkat kerawanan banjir di Kecamatan Klojen, Kota Malang, tahun 2020 - 2024 serta mengidentifikasi wilayah dengan tingkat kerawanan tertinggi. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif berbasis spasial dengan metode *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) meliputi *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk pembobotan aspek dan parameter yaitu fisik lingkungan (curah hujan, hujan maksimum, dan elevasi), sosial ekonomi (kepadatan penduduk dan kepadatan bangunan), dan lingkungan teknis (kondisi saluran drainase, penggunaan lahan, dan ketersediaan RTH) serta *weighted overlay* untuk mengintegrasikan hasil pembobotan menjadi indeks kerawanan. Penelitian dilakukan pada 5 kelurahan dengan kejadian banjir tertinggi pada periode 2020 - 2024 di Kecamatan Klojen, Kota Malang. Hasil menunjukkan tingkat kerawanan banjir didominasi oleh aspek sosial ekonomi dan lingkungan teknis, dengan bobot global masing-masing 0,471. Parameter dominan adalah kepadatan bangunan (0,392) dan penggunaan lahan (0,314). Kelima kelurahan berada pada tingkat kerawanan sedang dengan indeks 0,41 - 0,47. Kauman dan Bareng memiliki prioritas kerawanan tertinggi dengan jumlah kejadian banjir masing-masing sebanyak 10 kejadian dan 77 kejadian selama tahun 2020 - 2024.

Kata kunci: Analytical Hierarchy Process, kerawanan banjir, Kecamatan Klojen, Sistem Informasi Geografis.

1. LATAR BELAKANG

Tingginya kejadian banjir di Kecamatan Klojen berkaitan dengan berbagai faktor yang saling berinteraksi. Nugroho dan Handayani (2021) menjelaskan bahwa curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan limpasan permukaan, sedangkan Risnawati *et al.* (2023) menyatakan bahwa hujan dengan intensitas tinggi dalam waktu singkat meningkatkan potensi banjir. Ka'u *et al.* (2021) juga menjelaskan bahwa elevasi memengaruhi arah aliran air. Pada kawasan perkotaan,

Pahleviannur *et al.* (2023) menyatakan bahwa peningkatan kepadatan bangunan dapat memperluas permukaan kedap air sehingga mengurangi infiltrasi. Sementara itu, Yutantri *et al.* (2023) menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan dan kondisi drainase turut memengaruhi kejadian banjir, sedangkan Asrul *et al.* (2025) dan Oktariansyah (2024) menekankan pengaruh perubahan penggunaan lahan dan keterbatasan ruang terbuka hijau (RTH) terhadap peningkatan limpasan permukaan.

Meskipun penelitian mengenai kerawanan banjir telah banyak dilakukan, kajian yang mengintegrasikan faktor fisik lingkungan, sosial ekonomi, dan lingkungan teknis secara bersamaan pada Kecamatan Klojen Kota Malang masih terbatas. Hulu *et al.* (2025) menunjukkan bahwa pendekatan *Multi Criteria Decision Analysis* (MCDA) dapat digunakan untuk mengintegrasikan berbagai kriteria dalam analisis kerawanan, sedangkan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dapat digunakan untuk menentukan bobot relatif antarvariabel. Integrasi pendekatan tersebut dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) memungkinkan analisis berbagai faktor kerawanan banjir secara spasial.

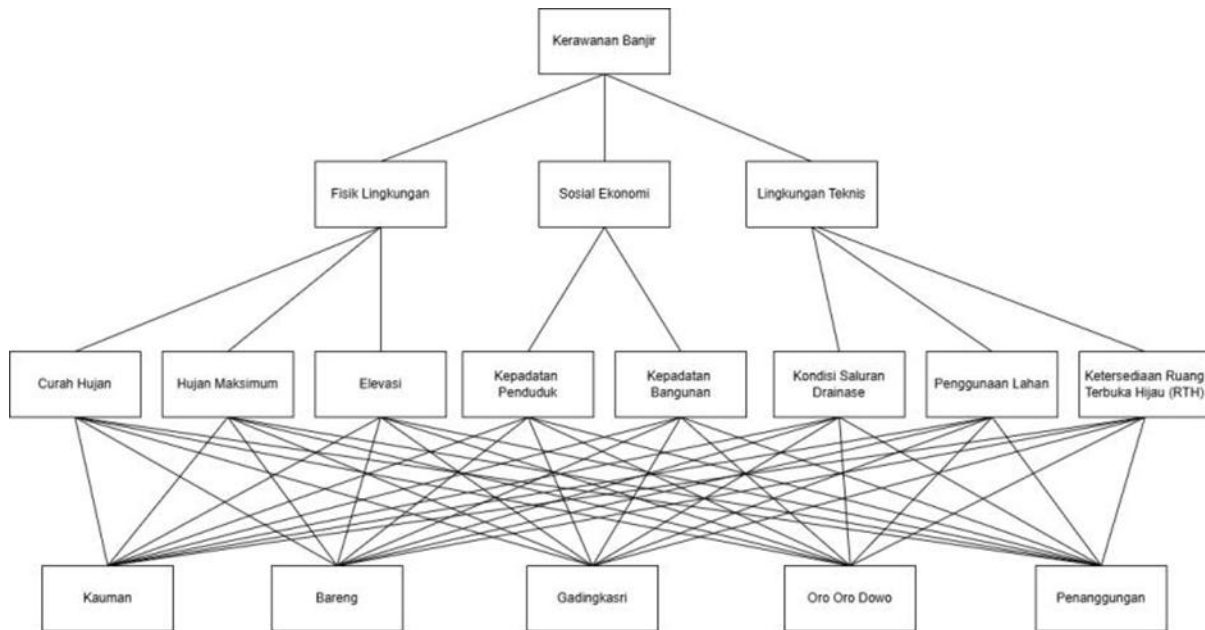
Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis tingkat kerawanan banjir di Kecamatan Klojen Kota Malang Tahun 2020–2024 menggunakan variabel hujan maksimum, elevasi, curah hujan, kepadatan bangunan, kepadatan penduduk, penggunaan lahan, kondisi saluran drainase, dan RTH dengan pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG), *Multi Criteria Decision Analysis* (MCDA), dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai distribusi tingkat kerawanan banjir sebagai dasar dalam mendukung mitigasi, pengendalian banjir, dan penataan ruang di Kecamatan Klojen Kota Malang.

2. METODE PENELITIAN

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) untuk menentukan tingkat kerawanan banjir berdasarkan beberapa kriteria yang memiliki tingkat kepentingan berbeda. Metode *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) digunakan untuk mengintegrasikan berbagai kriteria dan subkriteria yang berpengaruh terhadap kerawanan banjir sehingga dapat diperoleh nilai indeks kerawanan pada masing-masing wilayah penelitian. Proses analisis dilakukan secara bertahap, mulai dari penentuan alternatif, kriteria dan subkriteria, pemberian skor, pembobotan menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP), penghitungan nilai akhir, hingga pengambilan keputusan. Hasil analisis selanjutnya dipetakan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan dilakukan evaluasi serta validasi untuk mengetahui kesesuaian hasil analisis dengan kondisi kejadian banjir di wilayah penelitian.

a. Penentuan Kriteria, Subkriteria dan Alternatif

Penentuan alternatif dan kriteria dilakukan setelah tujuan penelitian ditetapkan. Dalam proses *Multi Criteria Decision Making* (MCDM), alternatif merupakan opsi atau objek yang akan dievaluasi untuk mencapai tujuan, sedangkan kriteria digunakan sebagai dasar untuk menilai kinerja masing-masing alternatif. Kriteria dapat disusun dalam suatu struktur hierarki sesuai dengan tingkatannya sehingga permasalahan yang kompleks dapat diuraikan menjadi komponen yang lebih terstruktur (Adem Esmail and Geneletti 2018). Adapun susunan dari hierarki pada penelitian ini antara lain



Gambar 1. Struktur Hierarki Analytical Hierarchy Process (AHP)

b. Pembobotan Kriteria dan Subkriteria Menggunakan Analytical Hierarchy Process (AHP)

Hasil pembobotan menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) menunjukkan tingkat kepentingan relatif masing-masing variabel dalam penyusunan kerawanan banjir berdasarkan *expert judgment* dari BPBD, DPUPRKP, Bappeda, BMKG, dan DLH Kota Malang. Semakin besar bobot suatu variabel, semakin besar tingkat kepentingannya dalam penyusunan indeks kerawanan banjir.

Tabel 1. Hasil Pembobotan Variabel atau Kriteria dalam Penelitian Menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

No	Variabel	Bobot	Dasar Penentuan
A. Faktor Fisik Lingkungan			
1.	Curah hujan	0,005	Faktor pemicu utama kejadian banjir
2.	Hujan Maksimum	0,028	Menentukan kecepatan dan volume limpasan
3.	Elevasi	0,026	Mempengaruhi arah aliran akumulasi air di suatu wilayah yang

		dapat berpotensi menjadi genangan	
Total Bobot Fisik Lingkungan		0,059	
B. Faktor Sosial ekonomi			
4.	Kepadatan penduduk	0,079	Faktor <i>exposure</i> dan tekanan lahan
5.	Kepadatan bangunan	0,392	Mengurangi kemampuan wilayah dalam menyerap air secara alami
Total Bobot Sosial Ekonomi		0,471	
C. Faktor Lingkungan – Teknis			
6.	Sistem drainase	0,121	Berfungsi mengalirkan air dan menjadi faktor pengendali utama banjir di perkotaan
7.	Penggunaan lahan	0,314	Mempengaruhi kemampuan wilayah dalam menyerap air hujan
8	Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau (RTH)	0,035	Menjadi faktor mitigasi karena dapat mengurangi risiko banjir
Total Bobot Lingkungan Teknis		- 0,471	
Total Keseluruhan		1	

Berdasarkan Tabel 1, kepadatan bangunan memperoleh bobot global tertinggi sebesar 0,392, diikuti penggunaan lahan (0,314), kondisi saluran drainase (0,121), kepadatan penduduk (0,079), RTH (0,035), hujan maksimum (0,028), elevasi (0,026), dan curah hujan (0,005). Hasil ini menunjukkan bahwa karakteristik kawasan perkotaan lebih berpengaruh dalam penyusunan kerawanan banjir dibandingkan faktor fisik alamiah. Temuan tersebut sejalan dengan pendapat ahli dari BPBD, DPUPRKP, dan Bappeda Kota Malang yang menyatakan *bahwa alih fungsi lahan menjadi kawasan terbangun, pembangunan di sekitar DAS, serta kondisi drainase yang kurang optimal menjadi faktor penting dalam peningkatan kerawanan banjir di Kecamatan Klojen. Berkurangnya lahan resapan meningkatkan limpasan permukaan, sementara drainase yang tidak memadai mengurangi kemampuan wilayah dalam mengalirkan air hujan*. Hal ini memperkuat dominannya bobot kepadatan bangunan, penggunaan lahan, dan kondisi saluran drainase dalam AHP.

Butler *et al.* (2024) menjelaskan bahwa perkembangan perkotaan meningkatkan permukaan kedap air sehingga mengurangi infiltrasi dan meningkatkan limpasan. Hal serupa ditunjukkan oleh Kamila *et al.* (2025), bahwa perubahan penggunaan lahan akibat urbanisasi yang tidak diimbangi kapasitas drainase dapat meningkatkan risiko banjir. Dengan demikian, hasil AHP dan penelitian terdahulu menegaskan pentingnya pengendalian pemanfaatan ruang, pengelolaan drainase, dan penyediaan RTH dalam mengurangi kerawanan banjir di Kecamatan Klojen.

c. Penghitungan Nilai Akhir

Analisis *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) dilakukan dengan mengintegrasikan skor dan bobot setiap kriteria untuk memperoleh nilai akhir tingkat kerawanan banjir pada setiap wilayah. Pendekatan MCDM berbasis *Analytical Hierarchy Process* (AHP) telah digunakan dalam pemetaan kerawanan banjir untuk menghasilkan indeks kerawanan secara spasial (Fakana, Falta, and Feleha 2025). Adapun rumus yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

$$IR = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \times S_i)}{3}$$

Keterangan :

- I_{kel} : Indeks kerawanan Kecamatan atau Kelurahan
 W_i : Bobot variabel ke-i
 S_i : Skor variabel ke-i
 n : Jumlah variabel

d. Pengambilan Keputusan

Penentuan prioritas merupakan proses pengurutan alternatif berdasarkan nilai atau tingkat kepentingan yang diperoleh dari hasil analisis multikriteria (Ayele *et al.* 2025). Dalam penelitian ini, prioritas wilayah ditentukan dengan membandingkan nilai indeks kerawanan pada masing-masing alternatif wilayah. Wilayah dengan nilai indeks yang lebih tinggi ditempatkan pada prioritas yang lebih tinggi.

e. Pengambilan Keputusan

Pengambilan keputusan merupakan tahapan dalam *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) yang bertujuan menentukan pilihan atau keputusan berdasarkan hasil evaluasi terhadap sejumlah kriteria dan alternatif (Matos *et al.* 2024). Dalam penelitian ini, pengambilan keputusan dilakukan dengan menentukan tingkat kerawanan banjir berdasarkan nilai indeks yang diperoleh dari hasil analisis *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM). Nilai indeks tersebut kemudian diklasifikasikan menjadi tingkat kerawanan rendah, sedang, dan tinggi. Adapun klasifikasi nilai indeks yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

Tabel 2. Klasifikasi Nilai Indeks Kerawanan

Klasifikasi Kerawanan	Nilai Indeks	Keterangan
Rendah	$\leq 0,33$	Kerawanan rendah
Sedang	$0,33 - 0,66$	Kerawanan sedang
Tinggi	$\geq 0,66$	Kerawanan tinggi

Sumber : Suni *et. al* (2023)

f. Evaluasi dan Validasi Hasil

Evaluasi dan validasi merupakan tahapan untuk menilai kesesuaian hasil analisis dengan kondisi atau data yang digunakan sebagai pembanding (Nguyen, Fukuda, and Nguyen 2024). Dalam penelitian ini, evaluasi dan validasi dilakukan dengan membandingkan hasil tingkat kerawanan banjir dengan data kejadian banjir tahun 2020–2024 serta informasi kondisi aktual wilayah yang diperoleh dari instansi terkait. Hasil perbandingan tersebut digunakan untuk mengetahui kesesuaian hasil analisis dengan kondisi kerawanan banjir di Kecamatan Klojen Kota Malang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Kecamatan Klojen, Kota Malang, Provinsi Jawa Timur, dengan menggunakan data periode 2020–2024. Kecamatan Klojen merupakan salah satu dari lima kecamatan di Kota Malang yang terdiri atas 11 kelurahan, yaitu Kasin, Sukoharjo, Kidul Dalem, Kauman, Bareng, Gadingkasri, Oro-Oro Dowo, Klojen, Rampal Celaket, Samaan, dan Penanggungan. Sebagai kawasan perkotaan, Kecamatan Klojen didominasi kawasan terbangun dengan intensitas pemanfaatan ruang yang tinggi untuk pemerintahan, perdagangan, pendidikan, permukiman, dan jaringan jalan utama (Setijawan, Subagyo, and Arani 2021). Berdasarkan data BPBD Kota Malang, Kecamatan Klojen mencatat 182 kejadian banjir selama periode 2020–2024, tertinggi dibandingkan kecamatan lainnya. Oleh karena itu, penelitian difokuskan pada lima kelurahan dengan frekuensi kejadian banjir tertinggi, yaitu Bareng, Kauman, Gadingkasri, Oro-Oro Dowo, dan Penanggungan.

b. Analisis Faktor Kerawanan Banjir

1) Faktor Fisik Lingkungan

Aspek fisik lingkungan dianalisis melalui tiga variabel, yaitu curah hujan, hujan maksimum, dan elevasi pada lima kelurahan dengan kejadian banjir tertinggi selama 2020–2024, yaitu Kauman, Bareng, Gadingkasri, Oro-Oro Dowo, dan Penanggungan. Hasil skoring masing-masing variabel disajikan pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5

Tabel 3. Skor Kerawanan Berdasarkan Curah Hujan

Kelurahan	Curah Hujan				
	2020	2021	2022	2023	2024
Kauman	Sedang (2)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Sedang (2)	Sedang (2)
Bareng	Sedang (2)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Sedang (2)	Sedang (2)
Gadingkasri	Sedang (2)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Sedang (2)	Sedang (2)
Oro Oro Dowo	Sedang (2)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Sedang (2)	Sedang (2)
Penanggungan	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Sedang (2)	Sedang (2)

Berdasarkan Tabel 3, Kauman, Bareng, Gadingkasri, dan Oro-Oro Dowo memiliki pola skoring curah hujan yang sama, yaitu skor 2 pada 2020, skor 1 pada 2021–2022, dan

kembali skor 2 pada 2023–2024. Penanggungan memperoleh skor 1 pada 2020–2022 dan skor 2 pada 2023–2024. Data periode 2020–2024 diperoleh peneliti pada tahun 2026, dengan variasi skoring lebih terlihat antar tahun dibandingkan antar kelurahan.

Tabel 4. Skor Kerawanan Berdasarkan Hujan Maksimum

Kelurahan	Hujan Maksimum				
	2020	2021	2022	2023	2024
Kauman	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)
Bareng	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Sedang (2)	Tinggi (1)	Tinggi (1)
Gadingkasri	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)
Oro Oro Dowo	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)
Penanggungan	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)

Berdasarkan Tabel 4, skoring hujan maksimum relatif seragam. Kauman, Gadingkasri, Oro-Oro Dowo, dan Penanggungan memperoleh skor 1 sepanjang 2020–2024, sedangkan Bareng memperoleh skor 1 kecuali pada 2022 dengan skor 2. Data periode 2020–2024 diperoleh peneliti pada tahun 2026

Tabel 5. Skor Kerawanan Berdasarkan Elevasi

Kelurahan	Elevasi				
	2020	2021	2022	2023	2024
Kauman	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Sedang (2)	Sedang (2)	Sedang (2)
Bareng	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Sedang (2)	Sedang (2)	Sedang (2)
Gadingkasri	Tinggi (1)	Rendah (3)	Rendah (3)	Rendah (3)	Rendah (3)
Oro Oro Dowo	Tinggi (1)	Rendah (3)	Sedang (2)	Rendah (3)	Sedang (2)
Penanggungan	Tinggi (1)	Rendah (3)	Rendah (3)	Rendah (3)	Rendah (3)

Tabel 5 menunjukkan bahwa skoring elevasi lebih bervariasi. Kauman dan Bareng memperoleh skor 1 pada 2020–2021 dan skor 2 pada 2022–2024. Gadingkasri dan Penanggungan memperoleh skor 1 pada 2020 dan skor 3 pada 2021–2024, sedangkan Oro-Oro Dowo memperoleh skor 1 pada 2020, skor 3 pada 2021, skor 2 pada 2022, skor 3 pada 2023, dan skor 2 pada 2024. Data elevasi diperoleh dan diolah peneliti pada tahun 2026. Secara keseluruhan, ketiga variabel fisik lingkungan menunjukkan kondisi yang relatif seragam pada lima kelurahan penelitian.

Hasil pembobotan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) menunjukkan bahwa aspek fisik lingkungan memperoleh bobot global sebesar 0,059, terendah dibandingkan aspek sosial ekonomi dan lingkungan teknis. Hujan maksimum memiliki bobot tertinggi sebesar 0,028, diikuti elevasi sebesar 0,026 dan curah hujan sebesar 0,005. Hasil ini menunjukkan bahwa aspek fisik lingkungan memiliki tingkat kepentingan lebih rendah dibandingkan faktor karakteristik kawasan perkotaan. Pendapat ahli BPBD Kota Malang, DPUPRKP Kota Malang, dan Bappeda Kota Malang turut memperkuat hasil tersebut. Para ahli menyatakan bahwa *alih fungsi lahan menjadi kawasan terbangun, pembangunan di sekitar DAS, dan kondisi drainase yang kurang optimal menjadi faktor penting dalam meningkatkan kerawanan banjir*. Berkurangnya lahan resapan meningkatkan limpasan

permukaan, sementara drainase yang tidak memadai mengurangi kemampuan wilayah mengalirkan air hujan.

Butler *et al.* (2024) menjelaskan bahwa perkembangan kawasan perkotaan meningkatkan luas permukaan kedap air (*impervious surface*), sehingga mengurangi infiltrasi dan meningkatkan limpasan permukaan. Dalam kondisi tersebut, drainase berperan penting dalam mengendalikan limpasan. Apabila kapasitas drainase tidak mampu mengimbangi peningkatan limpasan akibat urbanisasi, potensi genangan dan banjir semakin tinggi. Temuan ini sejalan dengan Kamila *et al.* (2025) yang menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan akibat urbanisasi tanpa diimbangi peningkatan kapasitas drainase dapat meningkatkan risiko banjir.

Berdasarkan hasil skoring, pembobotan *Analytical Hierarchy Process* (AHP), pendapat ahli, dan penelitian terdahulu, aspek fisik lingkungan lebih berperan sebagai faktor pemicu daripada faktor dominan dalam menentukan kerawanan banjir. Kondisi fisik yang relatif seragam dan rendahnya bobot *Analytical Hierarchy Process* (AHP) menunjukkan bahwa perbedaan tingkat kerawanan lebih berkaitan dengan karakteristik kawasan terbangun, seperti kepadatan bangunan, penggunaan lahan, kondisi drainase, dan RTH.

2) Sosial Ekonomi

Aspek sosial ekonomi dianalisis melalui kepadatan penduduk dan kepadatan bangunan karena keduanya mencerminkan tekanan aktivitas perkotaan yang dapat memengaruhi kerawanan banjir. Data kepadatan penduduk diperoleh dari Kecamatan Klojen Dalam Angka 2020–2024, sedangkan kepadatan bangunan dianalisis secara spasial menggunakan QGIS. Seluruh data kemudian diberi skor berdasarkan kriteria penelitian.

Tabel 6. Skor Kerawanan Berdasarkan Kepadatan Penduduk

Kelurahan	Kepadatan Penduduk				
	2020	2021	2022	2023	2024
Kauman	Rendah (3)	Rendah (3)	Rendah (3)	Rendah (3)	Rendah (3)
Bareng	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Sedang (2)	Rendah (3)	Rendah (3)
Gadingkasri	Rendah (3)	Rendah (3)	Rendah (3)	Rendah (3)	Rendah (3)
Oro Oro Dowo	Rendah (3)	Rendah (3)	Rendah (3)	Rendah (3)	Rendah (3)

Berdasarkan Tabel 6, kepadatan penduduk menunjukkan variasi selama 2020–2024.

Bareng mengalami perubahan dari kategori tinggi menjadi sedang, Penanggungan konsisten pada kategori sedang, sedangkan Kauman, Gadingkasri, dan Oro-Oro Dowo didominasi kategori rendah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perbedaan kepadatan penduduk antar kelurahan relatif kecil sehingga kontribusinya terhadap kerawanan banjir lebih rendah dibandingkan variabel kepadatan bangunan.

Tabel 7. Skor Kerawanan Berdasarkan Kepadatan Bangunan

Kelurahan	Kepadatan Bangunan				
	2020	2021	2022	2023	2024
Kauman	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)
Bareng	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)
Gadingkasri	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)
Oro Oro Dowo	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)
Penanggungan	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)

Berdasarkan Tabel 7, seluruh kelurahan memperoleh skor tinggi pada setiap tahun pengamatan. Lebih dari 80% wilayah penelitian didominasi kawasan terbangun berupa permukiman, perdagangan, dan jasa. Kondisi tersebut menunjukkan tingginya urbanisasi di Kecamatan Klojen yang mengurangi lahan resapan dan meningkatkan limpasan permukaan saat hujan.

Aspek sosial ekonomi memperoleh bobot global sebesar 0,471, sama dengan aspek lingkungan teknis. Namun, kepadatan bangunan memiliki bobot 0,392, jauh lebih besar dibandingkan kepadatan penduduk sebesar 0,079. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi kawasan akibat kepadatan bangunan lebih penting dalam penyusunan kerawanan banjir dibandingkan jumlah penduduk.

Hasil tersebut didukung oleh ahli DPUPRKP Kota Malang yang menyatakan *bahwa tingginya kejadian banjir di Kecamatan Klojen berkaitan dengan dominasi kawasan terbangun dan pembangunan di sekitar DAS yang menyebabkan penyempitan badan sungai*. Ahli BPBD Kota Malang juga menjelaskan *bahwa kepadatan bangunan mengurangi lahan resapan akibat alih fungsi lahan, sedangkan kepadatan penduduk tidak selalu meningkatkan kerawanan apabila tidak disertai peningkatan kepadatan bangunan*.

Dodman *et al.* (2023) dalam IPCC AR6 WG II menjelaskan bahwa pertumbuhan penduduk lebih merepresentasikan *exposure* terhadap bencana, sedangkan peningkatan risiko dapat terjadi ketika pertumbuhan tersebut disertai perubahan penggunaan lahan dan kepadatan bangunan. Kondisi ini terlihat pada wilayah penelitian, khususnya Kelurahan Bareng yang memiliki kawasan permukiman padat dan mengalami kejadian banjir berulang selama periode penelitian.

3) Lingkungan teknis

Aspek lingkungan teknis dianalisis melalui tiga variabel, yaitu penggunaan lahan, kondisi saluran drainase, dan ketersediaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang menggambarkan kapasitas wilayah dalam mengelola limpasan air hujan. Data penggunaan lahan dan RTH diperoleh melalui analisis spasial menggunakan QGIS, sedangkan kondisi drainase diperoleh melalui observasi lapangan pada titik genangan. Seluruh data kemudian diberi skor berdasarkan kriteria penelitian.

Tabel 8. Skor Kerawanan Berdasarkan Penggunaan Lahan

Kelurahan	Penggunaan Lahan				
	2020	2021	2022	2023	2024
Kauman	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)
Bareng	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)
Gadingkasri	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)
Oro Oro Dowo	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)
Penanggungan	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)

Berdasarkan Tabel 8, seluruh kelurahan memperoleh skor tinggi selama 2020–2024. Kondisi tersebut menunjukkan dominasi penggunaan lahan terbangun berupa permukiman, perdagangan, dan jasa sehingga kemampuan infiltrasi air hujan relatif rendah. Penggunaan lahan menjadi salah satu faktor yang meningkatkan limpasan permukaan di Kecamatan Klojen.

Tabel 9. Skor Kerawanan Berdasarkan Hasil Observasi Kondisi Saluran Drainase

Kelurahan	Jumlah Titik	Skor Rata - Rata	Skor Kerawanan	Skor
Kauman	2	31	Rendah	3
Penanggungan	5	24	Sedang	2
Oro Oro Dowo	4	30	Rendah	3
Gadingkasri	5	27	Sedang	2
Bareng	7	30	Rendah	3

Berdasarkan Tabel 9, kondisi saluran drainase menunjukkan variasi antar kelurahan. Kauman, Oro-Oro Dowo, dan Bareng didominasi kategori rendah (skor 3), sedangkan Penanggungan dan Gadingkasri berada pada kategori sedang (skor 2). Perbedaan tersebut menunjukkan adanya variasi kondisi fisik drainase yang berkaitan dengan pemeliharaan, sedimentasi, dan penyumbatan saluran.

Tabel 10. Skor Kerawanan Berdasarkan Kepadatan Bangunan

Kelurahan	Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau (RTH)				
	2020	2021	2022	2023	2024
Kauman	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)
Bareng	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)
Gadingkasri	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)
Oro Oro Dowo	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)
Penanggungan	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)	Tinggi (1)

Berdasarkan Tabel 10, seluruh kelurahan memperoleh skor tinggi selama periode pengamatan. Hal ini menunjukkan bahwa proporsi RTH relatif rendah sehingga kemampuan kawasan dalam menyerap air hujan terbatas. Dominasi kawasan terbangun turut mengurangi fungsi ekologis RTH sebagai kawasan resapan. Aspek lingkungan teknis memperoleh bobot global sebesar 0,471, sama dengan aspek sosial ekonomi. Penggunaan lahan memiliki bobot tertinggi sebesar 0,314, diikuti kondisi saluran drainase sebesar 0,121 dan RTH sebesar 0,035. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan lahan merupakan variabel lingkungan teknis yang paling penting dalam penyusunan kerawanan banjir di Kecamatan Klojen. Hasil tersebut sejalan dengan

wawancara dengan ahli BPBD sebagai informan utama yang didukung oleh informan pendukung dari DPUPRKP dan Bappeda Kota Malang yang menyatakan *bahwa alih fungsi lahan menjadi kawasan terbangun mengurangi lahan resapan dan meningkatkan limpasan permukaan. Kondisi drainase yang kurang terawat juga menurunkan kemampuan saluran dalam menampung dan mengalirkan limpasan.*

Butler *et al.* (2024) menjelaskan bahwa perubahan lahan alami menjadi kawasan terbangun meningkatkan permukaan kedap air (*impervious surface*), sehingga infiltrasi menurun dan limpasan meningkat. Kondisi tersebut perlu diimbangi dengan drainase yang memadai karena kerusakan atau kurangnya pemeliharaan saluran dapat meningkatkan potensi banjir. Temuan ini sejalan dengan Kamila *et al.* (2025) di Kota Jakarta dan Lizar *et al.* (2024) di Kota Lhokseumawe yang menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan yang disertai keterbatasan kapasitas drainase meningkatkan kerawanan banjir.

RTH juga berperan dalam mengurangi limpasan. Lady *et al.* (2023) menjelaskan bahwa berkurangnya luas dan kualitas RTH akibat perkembangan perkotaan menurunkan kemampuan infiltrasi tanah dan meningkatkan limpasan permukaan. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya mempertahankan RTH sebagai bagian dari sistem pengelolaan air hujan perkotaan. Berdasarkan hasil skoring, pembobotan AHP, wawancara, teori *Urban Drainage*, dan penelitian terdahulu, aspek lingkungan teknis memiliki kontribusi besar terhadap kerawanan banjir di Kecamatan Klojen. Dominasi kawasan terbangun, kondisi drainase yang belum optimal, dan keterbatasan RTH mengurangi kemampuan wilayah dalam mengelola air hujan. Oleh karena itu, pengurangan risiko banjir perlu diarahkan pada pengendalian penggunaan lahan, peningkatan pemeliharaan drainase, dan penyediaan RTH sebagai kawasan resapan.

c. Analisis Tingkat Kerawanan Banjir

Perhitungan tingkat kerawanan banjir dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh variabel yang telah melalui proses skoring dan pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Nilai akhir diperoleh melalui proses *weighted overlay* dari setiap variabel sehingga menghasilkan indeks kerawanan banjir pada masing-masing kelurahan. Hasil perhitungan tingkat kerawanan banjir pada lima kelurahan dengan angka kejadian banjir tertinggi selama periode 2020–2024 disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Skor Hasil Penghitungan Tingkat Kerawanan Banjir

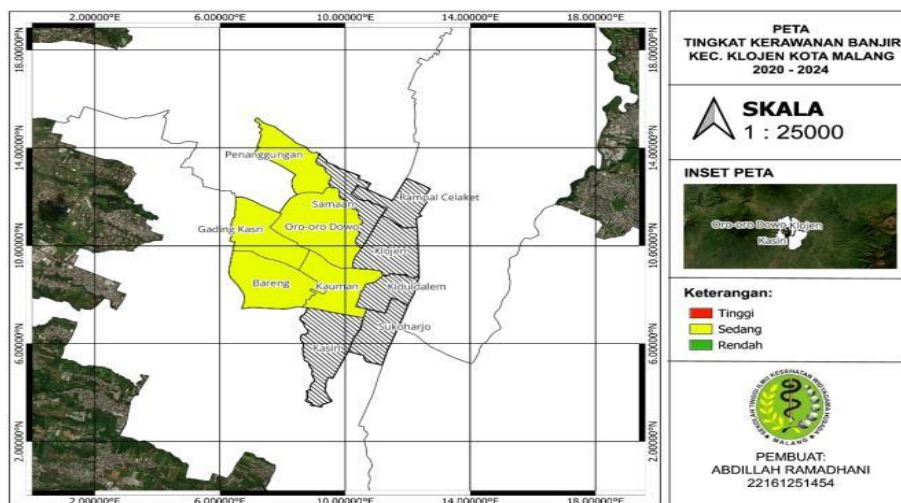
Kelurahan	2020	2021	2022	2023	2024	Mean
Kauman	0,45	0,48	0,45	0,45	0,45	0,46
Bareng	0,46	0,47	0,46	0,44	0,44	0,46
Gadingkasri	0,39	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41

Oro Oro Dowo	0,43	0,45	0,44	0,45	0,44	0,45
Penanggungan	0,42	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44

Berdasarkan Tabel 11, nilai indeks kerawanan banjir pada lima kelurahan selama periode 2020–2024 berada pada rentang 0,39–0,49 dan termasuk dalam kategori kerawanan banjir sedang. Nilai tersebut diperoleh dari hasil perkalian skor setiap subkriteria dengan bobot masing-masing, kemudian dijumlahkan untuk menghasilkan indeks kerawanan banjir. Meskipun kelima kelurahan berada pada kategori yang sama, terdapat perbedaan nilai indeks yang menunjukkan adanya perbedaan tingkat prioritas kerawanan antarwilayah.

Berdasarkan nilai rata-rata indeks selama periode 2020–2024, Kelurahan Kauman dan Bareng memiliki nilai tertinggi, masing-masing sebesar 0,47, diikuti Oro-Oro Dowo sebesar 0,45, Penanggungan sebesar 0,44, dan Gadingkasri sebesar 0,41. Nilai indeks tertinggi selama periode pengamatan terdapat di Kelurahan Kauman pada tahun 2021 sebesar 0,49, sedangkan nilai terendah terdapat di Kelurahan Gadingkasri pada tahun 2020 sebesar 0,39. Perbedaan nilai tersebut digunakan untuk menentukan urutan prioritas wilayah, dengan nilai indeks yang lebih tinggi menunjukkan prioritas penanganan kerawanan banjir yang lebih tinggi.

Hasil analisis tersebut selanjutnya divisualisasikan secara spasial untuk menunjukkan distribusi tingkat kerawanan banjir pada wilayah penelitian. Kelima kelurahan yang dianalisis meliputi Kelurahan Kauman, Bareng, Gadingkasri, Oro-Oro Dowo, dan Penanggungan. Peta hasil analisis tingkat kerawanan banjir disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Hasil Kerawanan Banjir di Kecamatan Klojen Kota Malang Tahun 2020 – 2024

Berdasarkan Gambar 2 dan Tabel 11, seluruh kelurahan yang menjadi fokus penelitian berada pada kategori kerawanan banjir sedang. Kelurahan Kauman dan Bareng memiliki rata-rata indeks tertinggi sebesar 0,47, sedangkan Gadingkasri memiliki nilai terendah sebesar 0,41. Hasil tersebut menunjukkan bahwa klasifikasi tingkat kerawanan yang sama tidak berarti

bahwa setiap wilayah memiliki tingkat prioritas yang identik. Perbedaan nilai indeks tetap dapat digunakan untuk mengurutkan wilayah berdasarkan kebutuhan penanganan.

Tingginya nilai indeks pada beberapa wilayah berkaitan dengan bobot variabel yang digunakan dalam analisis. Hasil pembobotan AHP menunjukkan bahwa kepadatan bangunan memiliki bobot terbesar, yaitu 0,392, diikuti penggunaan lahan sebesar 0,314. Besarnya bobot kedua variabel tersebut menunjukkan bahwa karakteristik kawasan terbangun dan penggunaan lahan menjadi aspek yang dominan dalam menentukan nilai indeks kerawanan banjir pada wilayah penelitian. Kondisi ini sejalan dengan teori *Urban Drainage* yang menjelaskan bahwa perkembangan kawasan perkotaan dapat meningkatkan luas permukaan kedap air sehingga mengurangi infiltrasi dan meningkatkan limpasan permukaan (Butler *et al.* 2024). Asrul *et al.* (2025) juga menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan dapat mengurangi fungsi ekologis tanah dalam menyerap air hujan serta meningkatkan potensi dan frekuensi kejadian banjir.

Dominasi kawasan terbangun juga dapat meningkatkan kerawanan melalui peningkatan kepadatan bangunan dan berkurangnya area yang dapat meresapkan air. Park dan Choi (2025) menunjukkan bahwa kepadatan ruang perkotaan (*high density of urban space*) berkaitan dengan peningkatan kerentanan terhadap banjir. Kondisi tersebut sesuai dengan hasil konfirmasi kepada Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman (DPUPRKP) Kota Malang yang menunjukkan bahwa lebih dari 80% wilayah pada lima kelurahan penelitian didominasi oleh permukiman, perdagangan, dan jasa. Tingginya dominasi kawasan terbangun menyebabkan pengelolaan limpasan permukaan menjadi penting karena air hujan yang tidak dapat meresap ke dalam tanah perlu dialirkan melalui sistem drainase.

Variabel kondisi saluran drainase memiliki bobot sebesar 0,121 dan turut memengaruhi nilai indeks kerawanan banjir. Kondisi kawasan terbangun yang dominan perlu didukung oleh sistem drainase dengan kapasitas dan kondisi yang memadai agar limpasan permukaan dapat dialirkan secara optimal. Pradoto *et al.* (2025) menjelaskan bahwa banjir perkotaan dapat berkaitan dengan kondisi drainase yang tidak memadai akibat kerusakan maupun kurangnya pemeliharaan sehingga fungsi saluran dalam mengalirkan air menjadi tidak optimal. Dalam penelitian ini, titik observasi kondisi drainase ditentukan berdasarkan peta kerawanan banjir dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Malang dan titik genangan dari DPUPRKP Kota Malang. Hasil observasi menunjukkan bahwa sebagian besar kondisi saluran memperoleh skor sedang. Permasalahan yang ditemukan antara lain penyumbatan akibat sampah, kerusakan pada bagian bahu saluran, dan sedimentasi yang dapat menghambat aliran air.

Selain kawasan terbangun dan drainase, faktor topografi berupa elevasi turut

memengaruhi kerawanan banjir. Elevasi berperan dalam menentukan arah aliran dan lokasi akumulasi limpasan sehingga wilayah dengan elevasi lebih rendah cenderung lebih mudah mengalami genangan Trepekli *et al.* (2022). Temuan tersebut sejalan dengan Fauziah (2026) yang menunjukkan bahwa elevasi rendah menjadi salah satu faktor yang berkaitan dengan tingginya kerawanan banjir. Hasil observasi lapangan dalam penelitian ini juga menunjukkan bahwa beberapa titik kejadian banjir berada pada wilayah dengan elevasi relatif rendah dan berdekatan dengan badan sungai, salah satunya di sekitar Bareng Raya pada Kelurahan Bareng. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa karakteristik topografi dapat memperkuat potensi akumulasi limpasan pada wilayah tertentu.

Berdasarkan nilai rata-rata indeks, urutan prioritas kerawanan banjir adalah Kelurahan Kauman dan Bareng dengan nilai 0,47, Oro-Oro Dowo sebesar 0,45, Penanggungan sebesar 0,44, dan Gadingkasri sebesar 0,41. Dengan demikian, Kauman dan Bareng menjadi wilayah dengan prioritas penanganan tertinggi meskipun keduanya masih berada pada kategori kerawanan sedang. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) tidak hanya menghasilkan klasifikasi tingkat kerawanan, tetapi juga dapat digunakan untuk membedakan prioritas antarwilayah berdasarkan nilai indeks yang diperoleh.

Evaluasi dan validasi dilakukan dengan membandingkan hasil indeks dan prioritas wilayah dengan data kejadian banjir selama periode 2020–2024 serta informasi kondisi wilayah dari instansi terkait. Hasil perbandingan antara nilai indeks, prioritas wilayah, dan kejadian banjir disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Skor Hasil Penghitungan Tingkat Kerawanan Banjir

Kelurahan	Nilai Indeks Rata-Rata (2020 – 2024)	Skor Dan Tingkat Kerawanan (Berdasarkan Nilai Indeks)	Angka Kejadian (2020 – 2024)	Prioritas
Kauman	0,46	2 (Kerawanan Sedang)	10	1
Bareng	0,46	2 (Kerawanan Sedang)	77	1
Gadingkasri	0,41	2 (Kerawanan Sedang)	44	4
Oro Oro Dowo	0,45	2 (Kerawanan Sedang)	14	2
Penanggungan	0,44	2 (Kerawanan Sedang)	22	3

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aspek lingkungan fisik memiliki bobot global 0,059, sedangkan aspek sosial ekonomi dan lingkungan–teknis masing-masing sebesar 0,471. Faktor dominan adalah kepadatan bangunan (0,392) dan penggunaan lahan (0,314). Hasil analisis *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) menunjukkan bahwa tingkat kerawanan banjir di Kecamatan

Klojen tahun 2020–2024 berada pada kategori sedang, dengan lima kelurahan tertinggi yaitu Bareng, Kauman, Gadingkasri, Oro-Oro Dowo, dan Penanggungan memiliki indeks 0,43–0,45 dengan rata-rata 0,44.

Pemerintah daerah perlu meningkatkan pengendalian pemanfaatan lahan, pemeliharaan drainase, dan penyediaan RTH, sedangkan penelitian selanjutnya disarankan menambahkan variabel dan data yang lebih lengkap untuk menghasilkan analisis mitigasi banjir yang lebih komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing, instansi terkait, responden, dan seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, arahan, serta kontribusi selama proses penelitian hingga penyusunan artikel. Artikel ini merupakan pengembangan dari skripsi berjudul *Analisis Tingkat Kerawanan Banjir di Kecamatan Klojen Kota Malang Tahun 2020–2024* sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Kesehatan Lingkungan.

DAFTAR REFERENSI

- Adem Esmail, Blal, and Davide Geneletti. 2018. “Multi-Criteria Decision Analysis for Nature Conservation: A Review of 20 Years of Applications.” *Methods in Ecology and Evolution* 9(1):42–53. doi: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12899>.
- Asrul, Asrul, Sunarty Eraku, Rahmat Rafly Agu, Aan Apriyanto Maini, Miranda Lasamu, and Silva Massi. 2025. “Pengaruh Alih Fungsi Lahan Terhadap Kejadian Banjir Di Kelurahan Leato Selatan Kecamatan Kota Timur Kota Gorontalo.” *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu Dan Pendidikan Geografi* 9(1):52–61.
- Ayele, Asnake Boyana, Abiyot Legesse, Abera Uncha, and Abren Gelaw. 2025. “Flood Hazard Vulnerability Assessment in the Sile-Sago Watershed, Rift Valley Basin, Ethiopia.” *Scientific African* 29:e02846. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2025.e02846>.
- Butler, David, Christopher Digman, Christos Makropoulos, and John W. Davies. 2024. *Urban Drainage*. 2nd ed. New York: Crc Press.
- Dodman, David, Bronwyn Hayward, Mark Pelling, Vanesa Castán Broto, Winston Chow, Eric Chu, Richard Dawson, Luna Khirfan, Timon McPhearson, and Anjal Prakash. 2023. “Cities, Settlements and Key Infrastructure.”
- Fakana, Selemon Thomas, Fekadu Fanjana Falta, and Debebe Dana Feleha. 2025. “Flood Susceptibility Mapping by Integrating GIS-Based Approach and Analytical Hierarchy Process (AHP): Wolaita Zone, Ethiopia.” *Journal of Flood Risk Management* 18(4):e70166. doi: <https://doi.org/10.1111/jfr3.70166>.
- Fauziah, Syifa, and Atika Sari. 2026. “Analisis Spasial Tingkat Kerawanan Banjir di Kelurahan Nunyai, Kecamatan Rajabasa, Kota Bandar Lampung.” *Datum: Journal of Geodesy and Geomatics* 6(1):1–9.
- Hulu, Amati Eltriman, Dandy Adriansyah R, Mizero Alexis, Ida Arianingsih, Hamka Hamka, Rizky Purnama, and Arman Maiwa. 2025. “Pemodelan Spasial Kerawanan Banjir Di Kepulauan Nias Dan Sekitarnya Berbasis Sistem Informasi Geografis Dan Multi-Criteria Decision Analysis.” *Jurnal Ilmu Lingkungan; Vol 23, No 5 (2025): September 2025* DOI - 10.14710/Jil.23.5.1243-1252.
- Ka’u, Anggrayni Aghnesya, Esli D. Takumansang, and Amanda Sembel. 2021. “Analisis Tingkat Kerawanan Banjir Di Kecamatan Sangtombolang Kabupaten Bolaang Mongondow.” *Spasial* 8(3):291–302.
- Kamila, Nadya, Ahmad Gamal, Mohammad Raditia Pradana, Satria Indratmoko, Ardiansyah, and Dwinanti Rika Marthanty. 2025. “A Methodological Exploration: Understanding

- Building Density and Flood Susceptibility in Urban Areas.” *Urban Science* 10(1):8.
- Lady, Gama, Ajeng Nugrahaning Dewanti, and Dwiana Novianti Tufail. 2023. “Analisis Ruang Terbuka Hijau Publik Terdampak Banjir Di Kota Balikpapan.” *SPECTA Journal of Technology* 7(1).
- Lizar, Cut Ayu, Halus Satriawan, and Cut Azizah. 2024. “Analisis Wilayah Kerentanan Bencana Banjir Berbasis Sistem Informasi Geografis Di Kota Lhokseumawe.” *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil* 14(1):53–67.
- Matos, Igor Danilo Costa, Helder Gomes Costa, Marcos Roboredo, and Diogo Lima. 2024. “Refining the PROMETHEE-Scoring Method: Propositions and an Economic Freedom Assessment.” *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 31(3–4):e1835. doi: <https://doi.org/10.1002/mcda.1835>.
- Nguyen, Hong N., Hiroatsu Fukuda, and Minh N. Nguyen. 2024. “Assessment of the Susceptibility of Urban Flooding Using GIS with an Analytical Hierarchy Process in Hanoi, Vietnam.” *Sustainability* 16(10):3934.
- Nugroho, Dody Adi, and Wiwandari Handayani. 2021. “Kajian Faktor Penyebab Banjir Dalam Perspektif Wilayah Sungai: Pembelajaran Dari Sub Sistem Drainase Sungai Beringin.” *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota* 17(2):119–36.
- Oktariansyah, Rizky. 2024. “Analisis Kawasan Rawan Banjir Berdasarkan Pengaruh Faktor Antropogenik Dengan Pendekatan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Kota Palembang).” Universitas Sriwijaya.
- Pahleviannur, Muhammad Rizal, Ita Kurata Ayuni, Arum Sari Widiastuti, Rokhmatul Umaroh, Hadian Resky Aisyah, Zakiyatul Afiyah, Intan Azzahra, Maulidia Savira Chairani, Nadia Anindya Dhafita, and Nabilah Luthfatur Rohmah. 2023. “Kerentanan Sosial Ekonomi Terhadap Bencana Banjir Di Hilir DAS Citanduy Bagian Barat Kabupaten Pangandaran Jawa Barat.” *Media Komunikasi Geografi* 24(2):189–205.
- Park, Kiyong, and Sang Hyun Choi. 2025. “Analysis of Urban Flood Risk for the Implementation of Sustainable Land Use Measures.” *Climate Services* 38:100568.
- Pradoto, Rani Gayatri Kusumawardhani, Eka Oktariyanto Nugroho, H. Syakira, A. B. Wicaksono, F. Nurkhaerani, A. T. Yuherdha, C. T. Enfila, R. D. Oriandra, and D. P. Wahyudi. 2025. “Urban Flood Risk Management Based on Asset Life Cycle Method for Drainage System: Case Study Gedebage Area, Bandung, Indonesia.” *Journal of Environmental & Earth Sciences* 7(6):91–110.
- Risnawati, Indah, Syifa Rahma Leily, Fransisca Kusuma, Najwa Salsabila Muliawati, Arjun Nourmansyah Ramdani, Aria Farhan Qurani, and Eni Irfiani. 2023. “Klasifikasi Data Mining Untuk Mengestimasi Potensi Curah Hujan Berdampak Banjir Daerah Menggunakan Algoritma C4. 5.” *Jurnal INSAN Journal of Information System Management Innovation* 3(2):78–84.
- Setijawan, Arief, Widyanto Hari Subagyo, and Tiara Difa Arani. 2021. “Konsep Municipal Cultural Planning Dalam Ruang Budaya Di Kecamatan Klojen, Kota Malang.” *Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Kota* 17(2):230–39.
- Suni, Muhammad Adam, Cesar Andi Mappatoba, and Fadjri Maarif. 2023. “Analisis Spasial Tingkat Kerawanan Banjir Di Desa Penyangga Taman Nasional Lore Lindu.” *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan* 20(2):91–101.
- Trepekli, Katerina, Thomas Balstrøm, Thomas Friberg, Bjarne Fog, Albert N. Allotey, Richard Y. Kofie, and Lasse Møller-Jensen. 2022. “UAV-Borne, LiDAR-Based Elevation Modelling: A Method for Improving Local-Scale Urban Flood Risk Assessment.” *Natural Hazards* 113(1):423–51.