



Analisis Tingkat Kerawanan Banjir berbasis *Metode Fuzzy Analytical Hierarchy Process (F-AHP)* di Serang Raya

M. Aji Bimantara*, Fathin Aulia Rahman

Program Studi Manajemen Bencana, Universitas Budi Luhur, Jakarta, Indonesia

Abstrak

Banjir merupakan bencana hidrometeorologi yang sering terjadi di wilayah Serang Raya dan menimbulkan dampak terhadap aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat. Penelitian ini bertujuan menganalisis distribusi spasial tingkat kerawanan banjir menggunakan metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process (F-AHP)* berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Metode F-AHP dipilih karena mampu mengakomodasi ketidakpastian dan subjektivitas dalam penentuan bobot parameter, sehingga menghasilkan analisis yang lebih fleksibel dan representatif dibandingkan metode AHP konvensional. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan enam parameter, yaitu curah hujan, kemiringan lereng, elevasi, tutupan lahan, jenis tanah, dan jarak terhadap sungai. Bobot parameter dihitung menggunakan F-AHP, kemudian diintegrasikan melalui analisis *weighted overlay* untuk menghasilkan peta kerawanan banjir yang diklasifikasikan ke dalam lima kelas menggunakan metode *Jenks Natural Breaks*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelas kerawanan tinggi mendominasi wilayah penelitian dengan luas 886,44 km² (44,97%), diikuti kelas menengah 598,68 km² (30,36%), rendah 238,97 km² (12,12%), sangat tinggi 215,47 km² (10,92%), dan sangat rendah 27,96 km² (1,42%). Wilayah dengan kerawanan tinggi hingga sangat tinggi terkonsentrasi di bagian utara yang merupakan kawasan hilir dengan topografi datar dan dekat jaringan sungai. Validasi menggunakan 101 data kejadian banjir tahun 2023 menunjukkan bahwa 96,04% kejadian berada pada kelas menengah hingga sangat tinggi, sehingga model F-AHP mampu merepresentasikan kondisi aktual dengan baik. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar perencanaan tata ruang, mitigasi, dan pengurangan risiko banjir di Serang Raya.

Masuk:

1 April 2026

Diterima:

23 Juni 2026

Diterbitkan:

30 Juni 2026

Kata kunci:

Banjir, Fuzzy-AHP, Geografis, Kerawanan Banjir, Serang Raya, Sistem Informasi Geografis.

PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi di dunia dan memberikan dampak yang signifikan terhadap lingkungan, perekonomian, serta kehidupan sosial masyarakat. Banjir terjadi ketika volume air yang berasal dari curah hujan, limpasan permukaan,

maupun luapan sungai melebihi kapasitas sungai dan sistem drainase sehingga menggenangi wilayah yang secara normal tidak tergenang. Dalam beberapa dekade terakhir, frekuensi dan intensitas banjir cenderung meningkat akibat kombinasi perubahan iklim, urbanisasi, perubahan penggunaan lahan, dan degradasi daerah

***Korespondensi:** Fathin Aulia Rahman ✉ fathin.auliarahman@budiluhur.ac.id 📍 Universitas Budi Luhur, Jl. Ciledug Raya, RT.10/RW.2, Petukangan Utara, Kec. Pesanggrahan, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta

aliran sungai yang meningkatkan risiko banjir di berbagai wilayah (Hirabayashi et al., 2013; Didovets et al., 2019; Yamamoto et al., 2021). Di Indonesia, tingginya intensitas curah hujan, dominasi wilayah dataran rendah, serta perkembangan kawasan perkotaan menyebabkan banjir menjadi salah satu bencana yang paling sering terjadi dan menimbulkan kerugian material maupun sosial yang cukup besar (Pratama et al., 2021; Purwanto et al., 2024).

Serang Raya yang meliputi Kota Serang, Kabupaten Serang, dan Kota Cilegon merupakan kawasan strategis di Provinsi Banten dengan perkembangan industri, permukiman, dan infrastruktur yang berlangsung pesat. Kondisi tersebut, dipadukan dengan keberadaan beberapa daerah aliran sungai utama, menyebabkan wilayah ini sering mengalami genangan dan banjir terutama pada musim hujan. Oleh karena itu, identifikasi wilayah rawan banjir menjadi langkah penting dalam mendukung pengelolaan risiko bencana dan perencanaan pembangunan wilayah yang berkelanjutan (Pratama et al., 2021; Purwanto et al., 2024).

Kerawanan banjir dipengaruhi oleh berbagai faktor fisik dan lingkungan yang saling berinteraksi, antara lain curah hujan, kemiringan lereng, elevasi, penggunaan lahan, jenis tanah, dan kedekatan terhadap sungai. Curah hujan berperan sebagai sumber utama limpasan permukaan, sedangkan topografi, karakteristik tanah, penggunaan lahan, dan kedekatan terhadap jaringan sungai memengaruhi proses infiltrasi, akumulasi, serta distribusi aliran air pada suatu wilayah (Chow et al., 1988; Asdak, 2023). Oleh karena itu, pemetaan kerawanan banjir memerlukan pendekatan yang mampu mengintegrasikan berbagai parameter tersebut secara komprehensif.

Pemetaan kerawanan banjir memerlukan pendekatan yang mampu mengintegrasikan berbagai parameter secara komprehensif. Sistem Informasi Geografis (SIG) dan penginderaan jauh telah banyak digunakan untuk analisis spasial kerawanan banjir (Lillesand et al.,

2015; Asdak, 2023). Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA), seperti metode skoring dan Analytical Hierarchy Process (AHP). Namun, pendekatan tersebut masih memiliki keterbatasan karena menggunakan pembobotan yang bersifat deterministik dan sangat bergantung pada penilaian subjektif (Saaty, 1980; Kazakis et al., 2015). Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, Fuzzy Analytical Hierarchy Process (F-AHP) mengintegrasikan teori fuzzy ke dalam AHP sehingga mampu mengakomodasi ketidakpastian dan ambiguitas dalam proses pembobotan serta menghasilkan bobot parameter yang lebih fleksibel dan representatif (Buckley, 1985; Chang, 1996; Nguyen et al., 2020).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan metode AHP untuk pemetaan kerawanan banjir di Provinsi Banten (Handiani & Purnomo, 2024), sedangkan penelitian di wilayah Serang umumnya masih berfokus pada analisis hidrologi tanpa menghasilkan peta kerawanan berbasis multi-parameter yang mengintegrasikan data observasi dan citra satelit (Stiawan et al., 2023). Selain itu, sebagian besar penelitian masih menggunakan metode skoring konvensional maupun AHP sehingga belum sepenuhnya mengakomodasi ketidakpastian dalam proses pembobotan parameter (Tehrany et al., 2014; Khosravi et al., 2019; Purwanto et al., 2024). Hingga saat ini, penerapan F-AHP berbasis SIG pada wilayah Serang Raya yang memiliki karakteristik urban industri pesisir serta divalidasi menggunakan data kejadian banjir aktual masih relatif terbatas.

Dalam konteks wilayah Serang Raya, yang memiliki karakteristik hidrologi kompleks serta dinamika penggunaan lahan yang tinggi, penerapan metode Fuzzy Analytical Hierarchy Process (F-AHP) berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk menganalisis distribusi spasial kerawanan banjir dengan mempertimbangkan parameter curah hujan, kemiringan lereng, elevasi, penggunaan lahan, jenis tanah, dan jarak

terhadap sungai masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memetakan tingkat kerawanan banjir di wilayah Serang Raya menggunakan metode F-AHP berbasis SIG dengan mempertimbangkan enam parameter tersebut. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi spasial yang lebih komprehensif untuk mendukung perencanaan tata ruang, pengurangan risiko bencana, serta pengelolaan wilayah yang berkelanjutan (Tehrany et al., 2014; Nguyen et al., 2020; Purwanto et al., 2024).

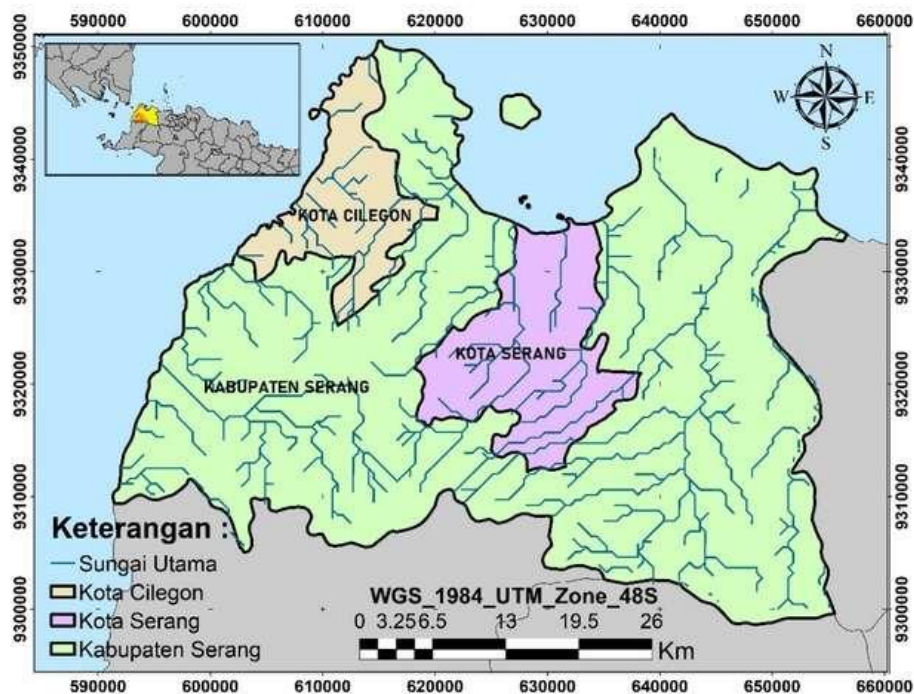
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (F-AHP) digunakan untuk menentukan bobot parameter kerawanan banjir yang selanjutnya diintegrasikan melalui analisis spasial

guna menghasilkan peta kerawanan banjir. Analisis dilakukan menggunakan data observasi dan citra penginderaan jauh, kemudian divalidasi dengan data kejadian banjir aktual.

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di wilayah Serang Raya, Provinsi Banten, yang meliputi Kota Serang, Kabupaten Serang, dan Kota Cilegon dengan luas wilayah 1.909,56 km² (Gambar 1). Secara astronomis, wilayah ini terletak pada koordinat 5°50'–6°21' Lintang Selatan dan 105°7'–106°22' Bujur Timur. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada karakteristik kompleks sebagai kawasan urban–industri–pesisir, tingginya kejadian banjir, pesatnya perkembangan kawasan industri dan permukiman yang mendorong perubahan penggunaan lahan, serta ketersediaan data spasial dan kejadian banjir yang mendukung analisis kerawanan secara komprehensif.



Gambar 1. Peta Distribusi Sungai Utama dan Batas untuk Wilayah Serang Raya (Kota Cilegon, Kota Serang dan Kabupaten Serang)

Data

Keseluruhan data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang didapatkan dari berbagai sumber, seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Seluruh data spasial diubah resolusinya menjadi ukuran 30 x 30 meter. Penyesuaian resolusi data curah hujan dari 5 km menjadi 30 m dilakukan melalui proses *resampling* menggunakan metode *bilinear interpolation* pada perangkat lunak ArcMap 10.8 (Tehrany et al., 2014). Variabel diskrit seperti jenis tanah diklasifikasikan berdasarkan Peta jenis tanah yang diperoleh dari Organisasi FAO-UN (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) yang didetailkan oleh

Kementerian Pertanian dan Kementerian ATR-BPN Indonesia, sedangkan tutupan lahan (*Land Use Land Cover*; LULC) diperoleh melalui klasifikasi citra Landsat 8/9 menggunakan metode *unsupervised classification* pada ArcMap 10.8, yang mengelompokkan piksel berdasarkan kemiripan karakteristik spektral (Lillesand et al., 2015). Data historis kejadian banjir yang digunakan untuk validasi merupakan data BPBD Provinsi Banten tahun 2023 karena merupakan data yang tersedia secara lengkap untuk wilayah penelitian.

Tabel 1. Data yang Dipergunakan dalam Penelitian

No.	Data	Periode	Resolusi Spasial	Sumber
1	Curah Hujan Bulanan	1984–2023	5 km	CHIRPS https://data.chc.ucsb.edu/products/C_HIRPS-2.0/global_annual/tifs/
2	DEM SRTM 30 m	-	30 m	DEM SRTM https://dwtkns.com/srtm30m/
3	Jenis tanah	-	-	https://tanahair.indonesia.go.id/porta1-web/
4	Citra satelit Landsat 8/9 untuk Tutupan Lahan (<i>Land Use Land Cover</i> ; LULC)	04/07/2023	30 m	https://earthexplorer.usgs.gov/
5	<i>Euclidean Distance</i> dari Profil Sungai	-	-	https://tanahair.indonesia.go.id/porta1-web/
6	Data historis titik lokasi banjir	2023	-	BPBD Provinsi Banten

Pengolahan Data

Tahap pra-pemrosesan

Tahap pra-pemrosesan dilakukan untuk menyeragamkan seluruh data yang digunakan, meliputi data curah hujan (CHIRPS), elevasi dan kemiringan lereng dari DEM SRTM 30 m, penggunaan lahan dari Landsat 8/9, jenis tanah, serta jarak terhadap sungai yang dihitung menggunakan metode *Euclidean Distance*. Data curah hujan bulanan periode 1984–2023 selanjutnya diolah menjadi curah hujan rata-rata tahunan sesuai Petunjuk Teknis Bahaya Banjir (BNPB, 2021).

Peringkat Faktor Pengendali Kerawanan Banjir

Penentuan ranking faktor pengendali kerawanan banjir dilakukan terhadap enam parameter utama, yaitu curah hujan, kemiringan lereng, elevasi, penggunaan lahan, jenis tanah, dan jarak terhadap sungai. Ranking parameter disusun berdasarkan sintesis hasil studi literatur, karakteristik wilayah penelitian, serta *expert judgement*. *Expert judgement* diperoleh melalui wawancara semi-terstruktur dengan narasumber yang memiliki pengalaman dalam kebencanaan banjir dan pemahaman terhadap kondisi hidroklimatologi wilayah. Selanjutnya, hasil *expert judgement* dibandingkan dan

diperkuat melalui kajian literatur yang relevan untuk menyusun matriks perbandingan berpasangan pada metode Fuzzy AHP.

Klasifikasi Data

Seluruh parameter diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas. Variabel kontinu, yaitu curah hujan, elevasi, kemiringan lereng, dan jarak terhadap sungai, diklasifikasikan menggunakan metode *Natural Breaks (Jenks)* karena mampu mengelompokkan data berdasarkan distribusi alamnya tanpa mensyaratkan distribusi normal (Jenks, 1967; Slocum et al., 2009). Namun demikian, hasil klasifikasi tetap dipengaruhi oleh karakteristik distribusi data sehingga menjadi salah satu keterbatasan penelitian. Setelah proses klasifikasi selesai, dilakukan pembobotan menggunakan metode F-AHP.

Fuzzy-Analytic Hierarchy Process (F-AHP)

Metode F-AHP merupakan pengembangan dari AHP yang mengintegrasikan teori himpunan fuzzy untuk mengakomodasi ketidakpastian dan subjektivitas dalam proses pengambilan keputusan (Chang, 1996). Berbeda dengan AHP konvensional yang menggunakan nilai pasti, F-AHP memanfaatkan *Triangular Fuzzy Number (TFN)* yang dinyatakan sebagai (l, m, u) dengan fungsi keanggotaan sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$\mu_A = \begin{cases} (x-l)/(m-l), & l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m), & m \leq x \leq u \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

Pendekatan ini memungkinkan representasi penilaian yang lebih realistis terhadap ketidakpastian, proses pembobotan dilakukan melalui sintesis fuzzy:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \otimes \left[\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{kj} \right]^{-1} \quad (2)$$

Sehingga, F-AHP dinilai lebih fleksibel dan akurat dibandingkan AHP dalam analisis kompleks (Zadeh, 1965; Chang, 1996; Latinopoulos & Kechagia, 2015). Perhitungan pembobotan F-AHP dilakukan menggunakan bahasa pemrograman *Python versi 3.10* dengan dukungan beberapa *library* (*NumPy*, *Pandas*, *SciPy*).

Validasi Model

Validasi model dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama mengevaluasi konsistensi matriks perbandingan berpasangan menggunakan *Consistency Ratio (CR)*. Pada metode AHP maupun F-AHP, matriks dinyatakan konsisten apabila memiliki nilai $CR \leq 0,10$ sehingga bobot yang dihasilkan dapat diterima dan digunakan dalam proses analisis. Sebaliknya, nilai $CR > 0,10$ menunjukkan adanya inkonsistensi sehingga matriks perbandingan perlu ditinjau kembali (Saaty, 1980).

Tahap kedua dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi kerawanan banjir terhadap data historis kejadian banjir tahun 2023 menggunakan pendekatan *flood inventory validation*. Evaluasi dilakukan melalui proses *overlay* antara titik kejadian banjir dan peta kerawanan banjir untuk mengetahui distribusi kejadian pada setiap kelas kerawanan. Model dinilai memiliki kinerja yang baik apabila sebagian besar kejadian banjir berada pada kelas kerawanan tinggi dan sangat tinggi, sehingga menunjukkan bahwa model mampu merepresentasikan pola spasial kerawanan banjir di wilayah penelitian (Pradhan, 2010; Tehrany et al., 2015).

Tabel 2. Bilangan Fuzzy Segitiga (Triangular Fuzzy Number/TFN) yang digunakan dalam metode Fuzzy Analytic Hierarchy Process (F-AHP)

Variabel	F-AHP	
	TFN	Resiprokal
Sama kuat	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Nilai antara 1 dan 3	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
Sedikit lebih kuat	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)

Variabel	F-AHP	
	TFN	Resiprokal
Nilai antara 3 dan 5	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Lebih kuat	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
Nilai antara 5 dan 7	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)
angat Lebih kuat	(3, 7/2, 4)	(1/4, 2/7, 1/3)
Nilai antara 7 dan 9	(7/2, 4, 9/2)	(2/9, 1/4, 2/7)
Mutlak lebih kuat	(4, 9/2, 9/2)	(2/9, 2/9, 1/4)

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Parameter Pengendali Kerawanan Banjir

Dalam analisis kerawanan banjir, faktor-faktor pengendali umumnya dapat diranking berdasarkan peran fisisnya dalam sistem hidrologi. Curah hujan (*rainfall*) menempati peringkat tertinggi karena berfungsi sebagai pemicu utama (*trigger*) yang menentukan besarnya input air ke sistem; tanpa hujan ekstrem, banjir tidak akan terjadi (Tehrany et al., 2014; Handiani & Purnomo, 2024). Kemiringan lereng (*slope*) mempengaruhi kecepatan aliran permukaan (Sørensen et al., 2006; Eryani et al., 2024). Jarak ke sungai berkaitan dengan potensi luapan aliran (*overbank flow*) (Samanta et al., 2018; Restianto et al., 2023). Faktor penggunaan lahan (*land use/land cover*) berperan di wilayah urban, karena meningkatnya permukaan kedap air akan memperbesar limpasan permukaan (Shuster et al., 2005; Wijayanti et al., 2025). Sementara itu, jenis tanah (*soil*) mempengaruhi kapasitas infiltrasi, dan elevasi (*elevation*) mengontrol posisi akumulasi air; (Khosravi et al., 2019; Simangunsong et al., 2024).

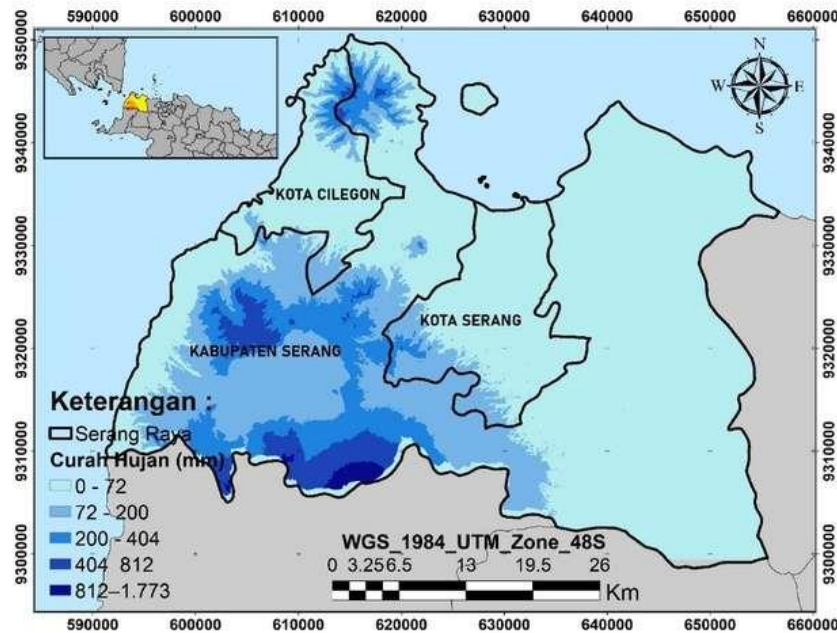
Klasifikasi dan Pembobotan Curah Hujan

Data curah hujan dalam penelitian ini diperoleh dari produk satelit CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data*) periode 1984–2023 yang diakumulasi dari data bulanan menjadi curah hujan tahunan. Produk CHIRPS digunakan karena mampu mengintegrasikan data satelit dan observasi stasiun hujan sehingga dapat

merepresentasikan variabilitas curah hujan dengan baik, termasuk di Indonesia (Liu et al., 2019). Hasil pemetaan menunjukkan adanya variasi spasial curah hujan di wilayah Serang Raya, di mana curah hujan rendah umumnya berada di wilayah utara (Kota Cilegon dan sebagian Kota Serang), sedangkan curah hujan tinggi hingga sangat tinggi terkonsentrasi di bagian selatan yang didominasi kawasan perbukitan dan pesisir selatan (Gambar 2). Pola tersebut menunjukkan adanya pengaruh topografi dan kedekatan terhadap sumber uap air terhadap distribusi curah hujan.

Hasil pembobotan Fuzzy AHP menunjukkan bahwa kelas curah hujan tertinggi (812–1.773 mm) memiliki bobot terbesar (0,3870), sedangkan kelas curah hujan terendah (0–72 mm) memiliki bobot terkecil (0,0171) (Tabel 3). Temuan ini menunjukkan bahwa curah hujan merupakan parameter dominan dalam menentukan tingkat kerawanan banjir karena berpengaruh langsung terhadap proses *rainfall-runoff*, sehingga intensitas dan distribusi hujan menentukan besarnya limpasan permukaan (Zhang et al., 2025). Kondisi tersebut sejalan dengan karakteristik wilayah Serang Raya, di mana curah hujan tinggi di bagian selatan meningkatkan debit aliran menuju wilayah hilir dan memperbesar potensi banjir pada dataran rendah, khususnya Kota Serang. Selain itu, data historis kejadian banjir tahun 2023 menunjukkan bahwa genangan lebih banyak terjadi di wilayah utara yang menerima akumulasi limpasan dari daerah hulu. Hasil ini memperkuat bahwa curah hujan merupakan salah satu faktor utama yang

memengaruhi pola spasial kerawanan banjir di Serang Raya.



Gambar 2. Peta distribusi spasial curah hujan tahunan (mm/Tahun) wilayah Serang Raya berdasarkan data satelit CHIRPS yang menunjukkan distribusi intensitas curah hujan dengan variasi dari rendah hingga sangat tinggi.

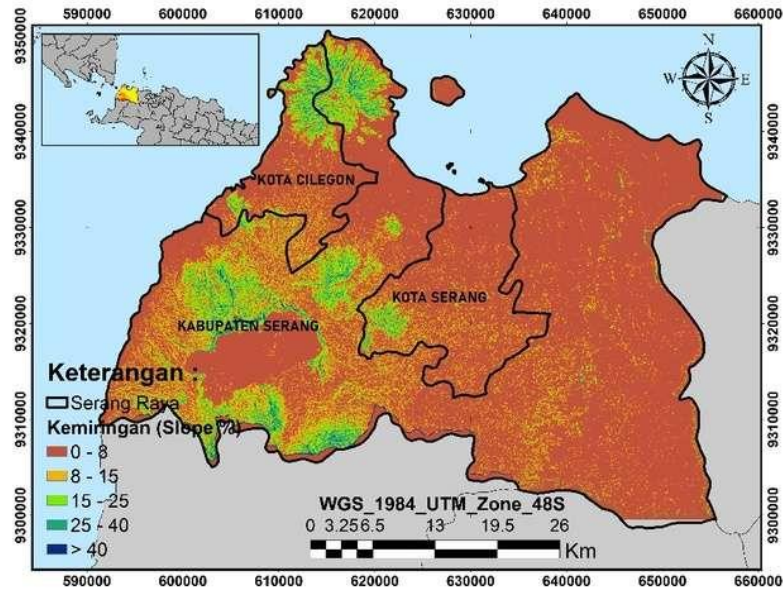
Tabel 3. Matriks Fuzzy AHP parameter curah hujan rata-rata tahunan (mm)

	0–72	72–200	200–404	404–812	812–1.773	Bobot
0–72	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1/3, 2/5, 1/2)	(2/7, 1/3, 2/5)	0,0171
72–200	(1/2, 1, 3/2)	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1/3, 2/5, 1/2)	0,0908
200–404	(3/2, 2, 5/2)	(1/2, 1, 3/2)	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 2)	(2/5, 1/2, 2/3)	0,2008
404–812	(2, 5/2, 3)	(3/2, 2, 5/2)	(1/2, 1, 3/2)	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 2)	0,3042
812–1.773	(5/2, 3, 7/2)	(2, 5/2, 3)	(3/2, 2, 5/2)	(1/2, 1, 3/2)	(1, 1, 1)	0,3870

Klasifikasi dan Pembobotan Kemiringan Lahan (Slope)

Data kemiringan lereng (*slope*) dalam penelitian ini diturunkan dari *Digital Elevation Model* (DEM) *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) yang menyediakan informasi elevasi permukaan bumi dengan cakupan global dan akurasi yang memadai untuk analisis spasial (Farr et al., 2007). Data DEM SRTM diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS Desktop 10.8 melalui fungsi Slope pada Spatial Analyst Tools untuk menghasilkan informasi kemiringan lereng dalam satuan persen (%). Variabel

kemiringan lereng dipilih karena merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi proses hidrologi, terutama terhadap laju aliran permukaan (*surface runoff*), infiltrasi, dan akumulasi air pada suatu wilayah (Chow et al., 1988; Asdak, 2023). Secara umum, lereng yang landai cenderung meningkatkan potensi genangan akibat aliran yang lebih lambat, sedangkan lereng yang curam mempercepat pengaliran air sehingga potensi genangan relatif lebih rendah (Kazakis et al., 2015; Tehrany et al., 2014).



Gambar 3. Peta Kemiringan Lahan (Slope) yang diturunkan dari data DEM SRTM untuk wilayah Serang Raya

Berdasarkan Gambar 3, wilayah dengan kemiringan lereng datar hingga landai (0–8%) mendominasi bagian utara Serang Raya, terutama kawasan pesisir dan dataran rendah. Kelas lereng agak landai hingga bergelombang (8–15% dan 15–25%) tersebar di wilayah bagian tengah, sedangkan lereng curam hingga sangat curam (>25%) terkonsentrasi di bagian selatan yang didominasi kawasan

perbukitan (Tabel 4). Pola tersebut menunjukkan adanya variasi topografi dari utara ke selatan, di mana wilayah utara yang relatif datar memiliki kecenderungan lebih tinggi terhadap akumulasi limpasan permukaan dan genangan, sedangkan wilayah selatan dengan lereng yang lebih curam mempercepat aliran air menuju daerah yang lebih rendah

Tabel 4. Matriks Fuzzy AHP Parameter Kemiringan (Slope) dalam %

	0 – 8	8 – 15	15 – 25	25 – 40	> 40	Weight
0 – 8	(1,1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(3/2, 2, 5/2)	(2, 5/2, 3)	(5/2, 3, 7/2)	0,3870
8 – 15	(2/3, 1, 2)	(1,1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(3/2, 2, 5/2)	(2, 5/2, 3)	0,3042
15 – 25	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 2)	(1,1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(3/2, 2, 5/2)	0,2008
25 – 40	(1/3, 2/5, 1/2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 2)	(1,1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	0,0909
> 40	(2/7, 1/3, 2/5)	(1/3, 2/5, 1/2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 2)	(1,1, 1)	0,0171

Klasifikasi dan Pembobotan Jarak dari Sungai (Euclidean Distance)

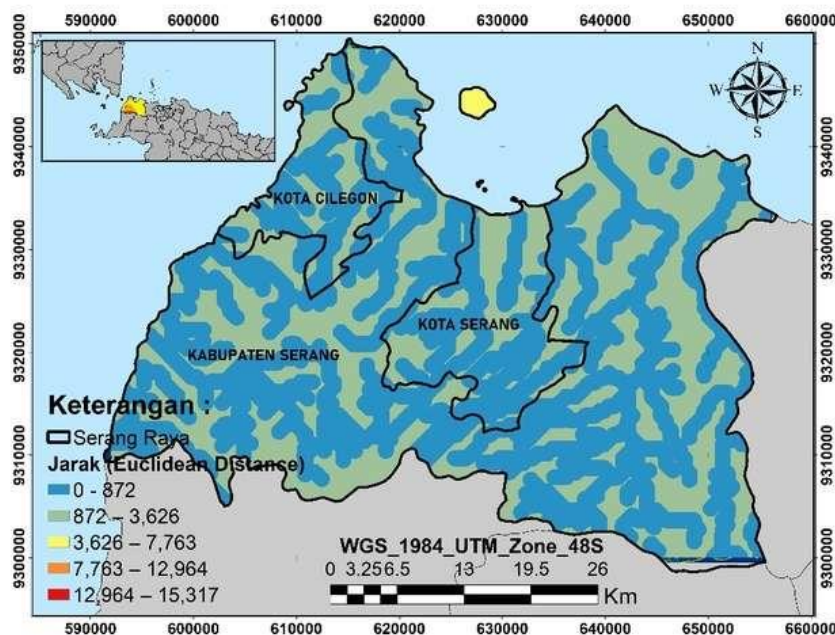
Variabel jarak dari sungai (*distance to river*) dalam penelitian ini dihitung menggunakan metode *Euclidean Distance* berdasarkan jaringan sungai yang diturunkan melalui analisis hidrologi (*Hydrology Toolbox*) pada ArcGIS Desktop 10.8. Dibandingkan pendekatan *buffer* sungai, metode *Euclidean Distance* lebih direkomendasikan dalam pemodelan kerawanan banjir berbasis AHP maupun

F-AHP karena menghasilkan data spasial yang bersifat kontinu sehingga mampu merepresentasikan pengaruh sungai terhadap potensi banjir secara bertahap (Fernández & Lutz, 2020; Costache et al., 2023). Parameter ini menggambarkan tingkat kedekatan setiap lokasi terhadap badan sungai, di mana semakin kecil nilai *Euclidean Distance* maka semakin tinggi potensi suatu wilayah terdampak luapan

sungai. Kedekatan terhadap sungai juga berpengaruh terhadap distribusi spasial banjir karena wilayah di sekitar sungai umumnya memiliki elevasi yang lebih rendah dan menjadi jalur utama akumulasi limpasan permukaan (Fernández & Lutz, 2020; Rahman et al., 2024).

Berdasarkan Gambar 4, wilayah Serang Raya didominasi oleh kelas jarak 0–872 m yang tersebar luas di Kabupaten Serang, Kota Serang, dan Kota Cilegon. Kelas jarak 872–3.626 m dan 3.626–7.763 m juga memiliki luasan yang cukup besar dan umumnya mengelilingi koridor sungai

utama, sedangkan kelas jarak yang lebih jauh (7.763–12.964 m dan 12.964–15.317 m) memiliki sebaran yang lebih terbatas (Tabel 5). Pola tersebut menunjukkan tingginya kerapatan jaringan sungai di Serang Raya sehingga sebagian besar wilayah berada dalam pengaruh langsung sistem aliran sungai. Kondisi ini mengindikasikan bahwa wilayah yang berada pada jarak kurang dari 872 m dari badan sungai memiliki potensi lebih tinggi mengalami banjir akibat luapan sungai, sehingga parameter jarak dari sungai menjadi salah satu faktor penting dalam menentukan tingkat kerawanan banjir.



Gambar 4. Peta jarak dari sungai yang dihitung dengan metode *Euclidean Distance* dan diturunkan dari data DEM SRTM untuk wilayah Serang Raya.

Tabel 5. Matriks Fuzzy AHP parameter Jarak dari Sungai dalam meter (*Euclidean Distance*)

	0 – 872	872 – 3626	3626 – 7763	7763 – 12964	12964 – 15317	Bobot
0 – 872	(1,1,1)	(1,4/3,3/2)	(4/3,3/2,2)	(3/2,2,5/2)	(2,5/2,3)	0,4069
872 – 3626	(2/3,3/4,1)	(1,1,1)	(1,4/3,3/2)	(4/3,3/2,2)	(3/2,2,5/2)	0,2911
3626 – 7763	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(3/2,2,5/2)	0,2271
7763 – 12964	(2/7,1/3,1/2)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(1,3/2,2)	0,0694
12964 – 15317	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,2/3)	(1/2,2/3,1)	(2/3,1,4/3)	(1,1,1)	0,0054

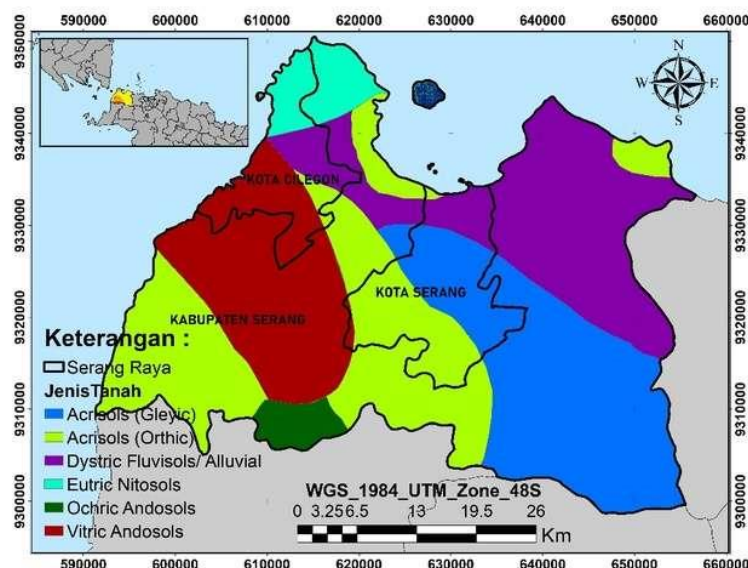
Klasifikasi dan Pembobotan Jenis Tanah (Soil types)

Peta jenis tanah diperoleh dari data Organisasi FAO-UN (*Food and Agriculture*

Organization of the United Nations) yang didetailkan oleh Kementerian Pertanian

dan Kementerian ATR/BPN Indonesia (Gambar 5). Distribusi jenis tanah di Serang Raya menunjukkan variasi karakteristik hidrologis yang berpengaruh terhadap tingkat kerawanan banjir. **Dystric Fluvisols/Alluvial** yang umumnya berkembang pada dataran aluvial dan kawasan sekitar sungai diklasifikasikan pada peringkat tertinggi (*rank* 5) karena memiliki drainase relatif buruk, muka air tanah dangkal, serta lebih rentan terhadap genangan. **Eutric Nitosols** dan **Acrisols (Gleyic)** berada pada kelas tinggi (*rank* 4) akibat kemampuan infiltrasi yang sedang hingga rendah, sedangkan **Acrisols (Orthic)** termasuk kelas sedang (*rank* 3) karena memiliki karakteristik hidrologis menengah. Sebaliknya, **Vitric Andosols** dan **Ochric Andosols** yang banyak dijumpai pada kawasan vulkanik di bagian selatan Serang Raya berada pada kelas rendah hingga sangat rendah (*rank* 2–1) karena memiliki porositas dan kapasitas infiltrasi yang tinggi sehingga mampu mengurangi pembentukan limpasan permukaan. Pola tersebut sejalan dengan kondisi geomorfologi Serang Raya, di mana wilayah dataran rendah di bagian utara yang didominasi tanah aluvial cenderung

lebih rentan terhadap banjir dibandingkan kawasan perbukitan vulkanik di bagian selatan yang didominasi tanah Andosol. Hasil pembobotan Fuzzy AHP menunjukkan bahwa **Dystric Fluvisols/Alluvial** memiliki bobot tertinggi (0,3182), sedangkan **Ochric Andosols** memiliki bobot terendah (0,0930) (Tabel 6). Nilai bobot tersebut menunjukkan bahwa tanah aluvial memberikan kontribusi terbesar terhadap kerawanan banjir karena umumnya berkembang pada dataran banjir dan kawasan sekitar sungai dengan kondisi drainase yang kurang baik. Sebaliknya, tanah Andosol memiliki porositas dan kapasitas infiltrasi yang tinggi sehingga mampu meningkatkan peresapan air dan mengurangi limpasan permukaan. Sementara itu, **Eutric Nitosols**, **Acrisols (Gleyic)**, dan **Acrisols (Orthic)** berada pada tingkat pengaruh menengah hingga tinggi karena kemampuan infiltrasinya lebih rendah dibandingkan Andosols. Temuan ini menunjukkan bahwa karakteristik hidrologis tanah berperan penting dalam menentukan tingkat kerawanan banjir di Serang Raya, terutama pada wilayah dataran rendah yang didominasi tanah aluvial.



Gambar 5. Peta jenis tanah untuk wilayah Serang Raya berdasarkan Organisasi FAO-UN (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) yang didetailkan oleh Kementerian Pertanian dan Kementerian ATR-BPN Indonesia

Tabel 6. Matriks Fuzzy AHP parameter jenis tanah

	Ochric Andosols	Vitric Andosols	Acrisols (Orthic)	Eutric Nitosols, Acrisols (Gleyic)	Dystic Fluvisols/Alluvial	Bobot
Ochric Andosols	(1,1, 1)	(2/3, 1, 2)	(1/2, 2/3, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/7, 1/3, 2/5)	0,0930
Vitric Andosols	(1/2, 1, 3/2)	(1,1, 1)	(2/3, 1, 2)	(1/2, 2/3, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)	0,1430
Acrisols (Orthic)	(1, 3/2, 2)	(1/2, 1, 3/2)	(1,1, 1)	(2/3, 1, 2)	(1/2, 2/3, 1)	0,1957
Eutric Nitosols, Acrisols (Gleyic)	(3/2, 2, 5/2)	(1, 3/2, 2)	(1/2, 1, 3/2)	(1,1, 1)	(2/3, 1, 2)	0,2501
Dystic Fluvisols/Alluvial	(5/2, 3, 7/2)	(3/2, 2, 5/2)	(1, 3/2, 2)	(1/2, 1, 3/2)	(1,1, 1)	0,3182

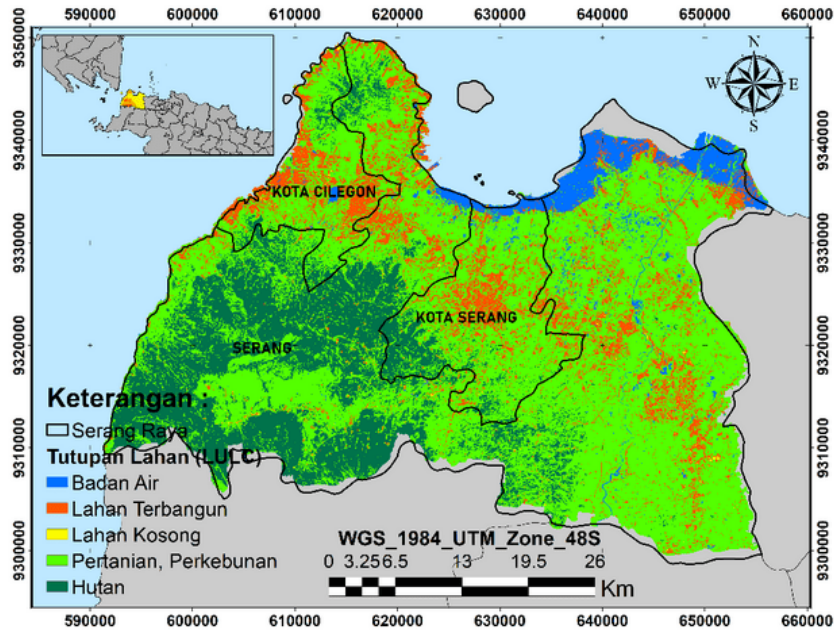
Klasifikasi dan Pembobotan Tutupan Lahan (LULC)

Peta tutupan lahan (*Land Use Land Cover/LULC*) tahun 2023 diperoleh dari pengolahan citra Landsat 8/9 OLI/TIRS melalui tahapan *pre-processing* yang meliputi koreksi geometrik, *clipping* sesuai batas wilayah penelitian, penyusunan komposit band, dan klasifikasi menggunakan metode *unsupervised classification* pada ArcGIS Desktop 10.8. Hasil klasifikasi kemudian direklasifikasi menjadi lima kelas utama, yaitu lahan terbangun, pertanian/perkebunan, hutan, badan air, dan lahan kosong. Parameter tutupan lahan digunakan dalam analisis kerawanan banjir karena memengaruhi kapasitas infiltrasi, koefisien limpasan permukaan, dan respons hidrologis suatu wilayah terhadap curah hujan (Lillesand et al., 2015).

Berdasarkan Gambar 6, wilayah Serang Raya didominasi oleh kelas pertanian dan perkebunan yang tersebar di bagian tengah hingga selatan, sedangkan kawasan hutan terkonsentrasi di wilayah barat daya dan daerah perbukitan. Lahan terbangun berkembang di Kota Serang, Kota Cilegon, serta sepanjang koridor jalan utama dan pusat kegiatan ekonomi, sementara badan air mengikuti jaringan sungai, waduk, dan

kawasan pesisir utara. Pola tersebut menunjukkan kontras penggunaan lahan antara kawasan perkotaan dan kawasan bervegetasi, di mana lahan terbangun cenderung meningkatkan limpasan permukaan akibat rendahnya kapasitas infiltrasi, sedangkan kawasan hutan berperan sebagai daerah resapan yang mampu mengurangi potensi genangan.

Hasil pembobotan Fuzzy AHP menunjukkan bahwa lahan terbangun memiliki bobot tertinggi sebesar 0,2487, diikuti badan air sebesar 0,2225 dan pertanian/perkebunan sebesar 0,1976 (Tabel 7). Sebaliknya, hutan memiliki bobot terendah sebesar 0,1620 karena vegetasi yang rapat mampu meningkatkan infiltrasi dan mengurangi limpasan permukaan. Temuan ini sejalan dengan penelitian Putra et al, (2021) yang menyatakan bahwa perubahan tutupan lahan menjadi kawasan terbangun meningkatkan debit limpasan dan risiko banjir. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan, khususnya peningkatan kawasan terbangun, merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi tingkat kerawanan banjir di Serang Raya.



Gambar 6. Peta tutupan lahan Tahun 2023 berdasarkan Data Landsat 8/9 untuk Wilayah Serang Raya

Tabel 7. Matriks Fuzzy AHP parameter Tutupan Lahan
(Land Use Land Cover/LULC)

	Lahan Terbangun	Badan Air	Pertanian/Perkebunan	Lahan Kosong	Hutan	Bobot
Lahan Terbangun	(1,1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(1, 3/2, 2)	(1, 3/2, 2)	(3/2, 2, 5/2)	0,2487
Badan Air	(2/3, 1, 2)	(1, 1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(1, 3/2, 2)	(1, 3/2, 2)	0,2225
Pertanian/Perkebunan	(1/3, 2/3, 1)	(2/3, 1, 2)	(1,1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(1, 3/2, 2)	0,1976
Lahan Kosong	(1/3, 2/3, 1)	(1/2, 2/3, 1)	(2/3, 1, 2)	(1,1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	0,1693
Hutan	(2/5, 1/2, 2/3)	(1/2, 2/3, 1)	(1/2, 2/3, 1)	(2/3, 1, 3)	(1,1, 1)	0,1620

Klasifikasi dan Pembobotan Elevasi

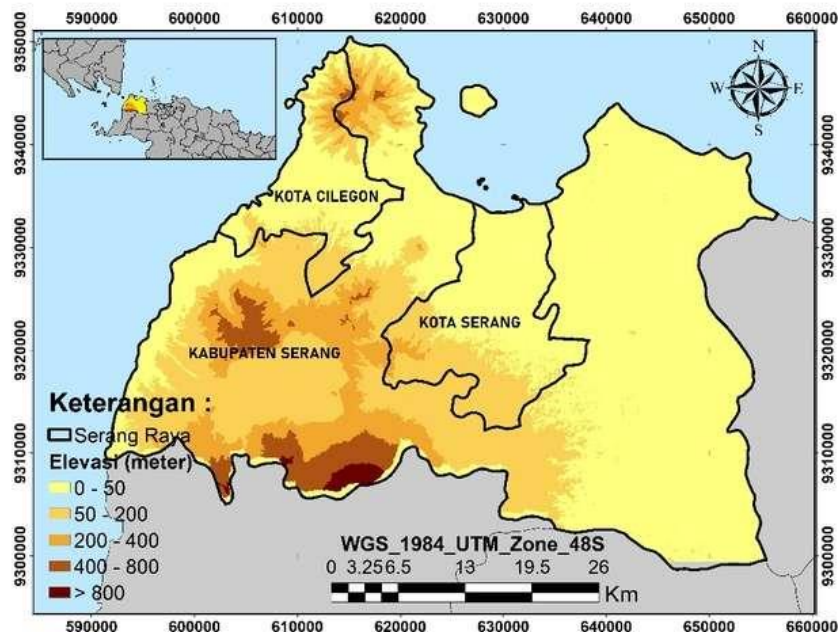
Peta elevasi dalam penelitian ini disusun menggunakan data *Digital Elevation Model (DEM) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* beresolusi spasial 30 m yang diperoleh dari *United States Geological Survey (USGS)*. Elevasi digunakan sebagai salah satu parameter kerawanan banjir karena memengaruhi pola aliran air, akumulasi limpasan permukaan, dan potensi terjadinya genangan (Farr et al., 2007; Kazakis et al., 2015). Secara umum, wilayah dengan elevasi rendah cenderung lebih rentan terhadap banjir akibat akumulasi aliran dari daerah yang lebih tinggi, sedangkan wilayah berelevasi tinggi berfungsi sebagai daerah pelepasan aliran permukaan (Gambar 7).

Berdasarkan peta elevasi, wilayah dengan ketinggian 0–50 m dan 50–200 m mendominasi kawasan pesisir dan dataran rendah yang berpotensi menjadi daerah akumulasi aliran air. Sebaliknya, elevasi di atas 400 m terkonsentrasi pada kawasan perbukitan dan pegunungan yang berfungsi sebagai daerah tangkapan air (*catchment area*) serta sumber aliran menuju wilayah yang lebih rendah. Pola tersebut menunjukkan adanya gradien topografi yang jelas dari daerah hulu ke hilir.

Hasil pembobotan Fuzzy AHP menunjukkan bahwa kelas elevasi 0–50 m memiliki bobot tertinggi sebesar 0,4373, diikuti kelas 50–200 m sebesar 0,3125 dan 200–400 m sebesar 0,1831, sedangkan elevasi di atas 400 m memiliki bobot yang jauh lebih rendah (Tabel 8). Temuan ini

menunjukkan bahwa semakin rendah elevasi suatu wilayah, semakin tinggi potensi terjadinya banjir akibat akumulasi limpasan permukaan. Hasil tersebut

sejalan dengan penelitian Khosravi et al. (2018) yang menyatakan bahwa wilayah berelevasi rendah memiliki kerentanan lebih tinggi terhadap genangan dan banjir.



Gambar 7. Peta Elevasi (m) yang diturunkan dari data DEM SRTM untuk Wilayah Serang Raya.

Tabel 8. Matriks Fuzzy AHP parameter Elevasi (meter)

	0 – 50	50 – 200	200 – 400	400 – 800	> 800	Bobot
0 – 50	(1,1,1)	(1,4/3,3/2)	(4/3,3/2,5/3)	(4/3,3/2,5/3)	(3/2,5/3,2)	0,4373
50 – 200	(2/3,3/4,1)	(1,1,1)	(1,4/3,3/2)	(4/3,3/2,5/3)	(4/3,3/2,5/3)	0,3125
200 – 400	(3/5,2/3,3/4)	(2/3,3/4,1)	(1,1,1)	(1,4/3,3/2)	(4/3,3/2,5/3)	0,1831
400 – 800	(3/5,2/3,3/4)	(3/5,2/3,3/4)	(2/3,3/4,1)	(1,1,1)	(1,4/3,3/2)	0,0353
> 800	(3/4,4/5,1)	(2/3,3/4,1)	(2/3,3/4,1)	(3/4,4/5,1)	(1,1,1)	0,0317

Peta Kerawanan Banjir

Pembobotan seluruh parameter kerawanan banjir dilakukan menggunakan metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (F-AHP) berbasis *expert judgement* yang diperoleh melalui wawancara dengan BPBD setempat dan masyarakat wilayah studi, serta diperkuat melalui kajian literatur terkait kebencanaan banjir. *Expert judgement* melibatkan empat narasumber, yaitu Kepala BPBD Provinsi Banten yang memiliki pengalaman dalam penanganan dan pemetaan risiko bencana, satu pegawai BMKG Provinsi Banten yang memahami karakteristik iklim dan curah hujan regional, serta dua tokoh masyarakat dari Desa Margaluyu, Kecamatan Kasemen, Kota Serang, yang

memiliki pengetahuan lokal mengenai kejadian banjir. Pemilihan narasumber didasarkan pada pengalaman dalam kebencanaan banjir, pemahaman terhadap kondisi hidroklimatologi wilayah, serta keterlibatan dalam pengambilan keputusan atau pengalaman empiris terhadap kejadian banjir di lapangan.

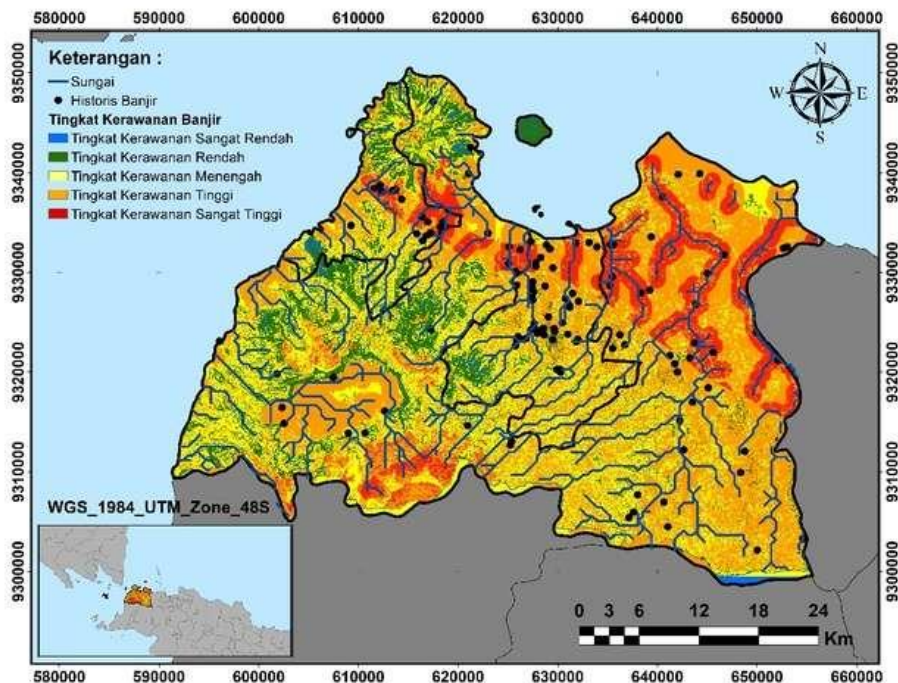
Pengumpulan data dilakukan melalui wawancara semi-terstruktur secara nonformal yang berfokus pada waktu kejadian, frekuensi banjir tahunan, dan faktor-faktor pemicu banjir di Serang Raya. Selain itu, dilakukan kajian literatur secara sistematis terhadap publikasi ilmiah nasional maupun internasional dalam 10–15 tahun terakhir yang relevan

dengan pemodelan kerawanan banjir berbasis SIG dan AHP/F-AHP. Kajian tersebut digunakan untuk mengidentifikasi parameter utama, membandingkan tingkat kepentingan antarparameter, serta memperkuat hasil *expert judgement*.

Hasil pembobotan menunjukkan bahwa curah hujan (0,3660) dan kemiringan lereng (0,2872) merupakan parameter yang paling dominan dalam menentukan tingkat kerawanan banjir, diikuti oleh jarak dari sungai (0,1611) dan jenis tanah (0,1511), sedangkan tutupan lahan (0,0249) dan elevasi (0,0097) memiliki pengaruh yang relatif lebih kecil (Tabel 9). Peta kerawanan banjir disusun berdasarkan enam parameter utama, yaitu curah hujan, kemiringan lereng, jarak dari sungai, jenis tanah, tutupan lahan, dan elevasi (Gambar 8). Hasil analisis menunjukkan bahwa zona dengan tingkat kerawanan tinggi hingga sangat tinggi

terkonsentrasi di bagian utara wilayah penelitian yang merupakan kawasan hilir dengan topografi relatif datar, sehingga aliran permukaan bergerak lebih lambat dan cenderung terakumulasi.

Selain itu, kedekatan terhadap jaringan sungai turut meningkatkan tingkat kerawanan banjir karena wilayah di sekitar sungai utama memiliki potensi lebih tinggi mengalami luapan saat debit sungai meningkat. Jenis tanah dengan kemampuan infiltrasi rendah juga meningkatkan limpasan permukaan, sedangkan elevasi yang rendah di wilayah utara memperbesar akumulasi aliran dari daerah yang lebih tinggi. Secara keseluruhan, pola kerawanan banjir di Serang Raya dibentuk oleh interaksi berbagai parameter, dengan curah hujan dan kemiringan lereng sebagai faktor dominan yang diperkuat oleh kedekatan terhadap sungai, karakteristik jenis tanah, tutupan lahan, dan elevasi.



Gambar 8. Peta tingkat kerawanan banjir hasil pemodelan Fuzzy Analytical Hierarchy Process (F-AHP) dan distribusi titik kejadian banjir historis tahun 2023 di wilayah Serang Raya.

Tabel 9. Matriks Fuzzy AHP semua parameter

	Curah Hujan	Kemiringan	Jarak Sungai	Jenis Tanah	Tutupan Lahan	Elevasi	Bobot
Curah Hujan	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(3,4,5)	(2,3,4)	0,3660
Kemiringan	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	0,2872
Jarak dari Sungai	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(1,2,3)	(1,2,3)	0,1611
Jenis Tanah	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,2)	0,1511
Tutupan Lahan	(1/5,1/4,1/3)	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(1,2,2)	0,0249
Elevasi	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(1/2,1,1,5)	(1/2,1,1)	(1,1,1)	0,0097

Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa wilayah penelitian memiliki luas total 1.967,52 km² dengan distribusi tingkat kerawanan yang didominasi oleh kelas tinggi seluas 886,44 km² (44,97%), diikuti kelas menengah seluas 598,68 km² (30,36%). Sementara itu, kelas sangat tinggi mencakup 215,47 km² (10,92%), sedangkan kelas rendah dan sangat rendah masing-masing seluas 238,97 km² (12,12%) dan 27,96 km² (1,42%) (Tabel 10). Secara keseluruhan, wilayah yang termasuk kategori tinggi dan sangat tinggi mencapai 1.101,91 km² atau 55,89% dari total wilayah penelitian, sedangkan kategori rendah hingga sangat rendah hanya mencakup 266,93 km² atau 13,54%.

Dominasi kelas kerawanan tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Serang Raya memiliki tingkat kerentanan yang relatif tinggi terhadap kejadian banjir. Hasil ini sejalan dengan

peta kerawanan banjir yang dirilis BNPB melalui platform InaRISK (InaRISK BNPB, 2026), yang menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Provinsi Banten memiliki potensi kerawanan banjir tinggi. Data BPBD Provinsi Banten juga menunjukkan bahwa sekitar 125 dari 155 kecamatan di wilayah tersebut tergolong rawan banjir. Namun demikian, peta InaRISK disusun pada skala nasional sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan variasi spasial kerawanan banjir pada tingkat lokal. Oleh karena itu, peta kerawanan banjir berbasis Fuzzy AHP yang dihasilkan dalam penelitian ini memberikan informasi yang lebih rinci dan kontekstual sehingga dapat mendukung perencanaan mitigasi dan pengurangan risiko bencana di wilayah Serang Raya.

Tabel 10. Luasan Daerah Rawan Banjir Berdasarkan Kategori

Kelas	Tingkat Kerawanan Banjir	Luas (m ²)	Luas (ha)	Luas (km ²) & Persentase
1	Sangat Rendah	27.963.900	2.796,39	27,96 (1,42%)
2	Rendah	238.968.900	23.896,89	238,97 (12,12%)
3	Menengah	598.675.500	59.867,55	598,68 (30,36%)
4	Tinggi	886.439.700	88.643,97	886,44 (44,97%)
5	Sangat Tinggi	215.468.100	21.546,81	215,47 (10,92%)
Total		1.967.516.100	196.751,61	1.967,52 (100,00%)

Validasi Model

Validasi konsistensi dilakukan menggunakan *Consistency Ratio* (CR) untuk memastikan bahwa matriks perbandingan berpasangan pada metode Fuzzy AHP memenuhi tingkat konsistensi yang dapat diterima. Matriks dinyatakan

konsisten apabila memiliki nilai CR < 0,10 (Saaty, 1980). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa seluruh parameter memiliki nilai CR di bawah ambang batas tersebut, yaitu curah hujan (0,047), kemiringan lereng (0,040), jarak dari sungai (0,049), jenis tanah (0,054), tutupan

lahan (0,060), dan elevasi (0,013), sedangkan matriks gabungan seluruh parameter menghasilkan nilai CR sebesar 0,006 (Tabel 11). Nilai tersebut menunjukkan bahwa seluruh matriks

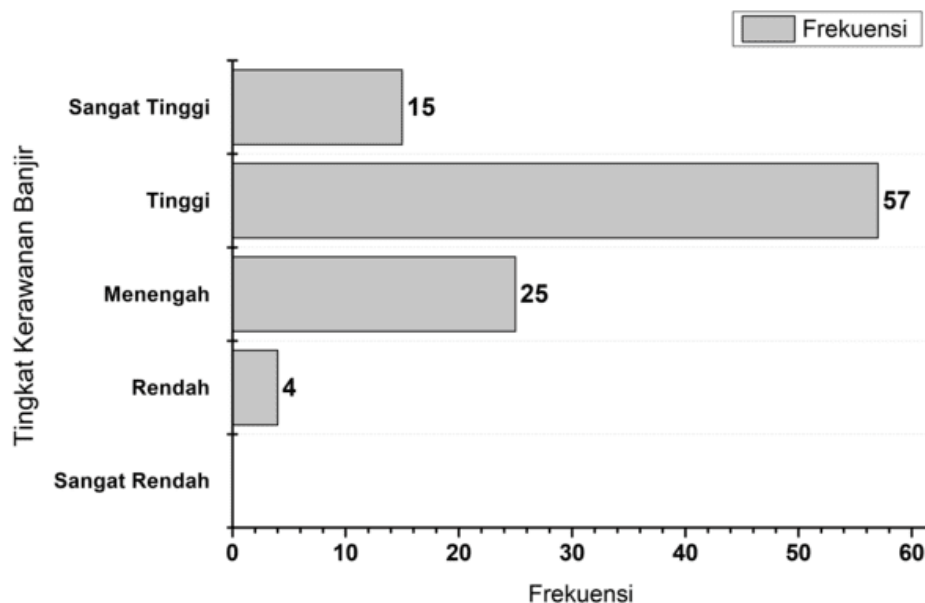
perbandingan memiliki tingkat konsistensi yang baik sehingga bobot yang dihasilkan layak digunakan dalam analisis kerawanan banjir.

Tabel 11. Matriks Fuzzy AHP semua parameter

Parameter Banjir	Consistency Ratio (CR) Matriks Fuzzy (Threshold : CR < 0.10)
Curah Hujan	0,047
Kemiringan	0040
Jarak dari Sungai	0,049
Jenis Tanah	0,054
Tutupan Lahan	0,060
Elevasi	0,013
Semua parameter	0.006

Validasi model menggunakan data historis kejadian banjir tahun 2023 menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi antara hasil pemodelan dan kondisi aktual di lapangan. Sebagian besar kejadian banjir berada pada kelas kerawanan tinggi dan sangat tinggi (71,3%), sedangkan kelas menengah mencakup 24,8% dan kelas rendah hanya sebagian kecil (Gambar 9). Pola tersebut menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang baik dalam membedakan tingkat kerawanan banjir, dengan sebagian besar kejadian aktual

terkonsentrasi pada kelas yang diprediksi memiliki risiko tinggi. Meskipun demikian, masih ditemukannya kejadian banjir pada kelas menengah mengindikasikan bahwa terdapat faktor-faktor lokal yang belum sepenuhnya terakomodasi dalam model. Secara keseluruhan, hasil validasi menunjukkan bahwa model Fuzzy AHP memiliki kemampuan yang baik dalam merepresentasikan distribusi spasial kerawanan banjir di wilayah Serang Raya.



Gambar 9. Distribusi frekuensi tingkat kerawanan banjir berdasarkan data historis kejadian banjir di Wilayah Serang Raya tahun 2023.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (F-AHP) berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) efektif dalam memetakan kerawanan banjir di wilayah Serang Raya. Hasil analisis menunjukkan bahwa wilayah penelitian didominasi oleh kelas kerawanan tinggi, dengan curah hujan dan kemiringan lereng sebagai parameter yang paling berpengaruh, diikuti oleh jarak terhadap sungai, jenis tanah, tutupan lahan, dan elevasi. Zona kerawanan tinggi hingga sangat tinggi terkonsentrasi di bagian utara yang merupakan kawasan hilir dengan topografi relatif datar, kedekatan terhadap jaringan sungai, dan karakteristik hidrologi yang mendukung akumulasi limpasan permukaan.

Penelitian ini menghasilkan peta kerawanan banjir dengan resolusi spasial yang lebih rinci dibandingkan pendekatan skala nasional, sehingga mampu mengidentifikasi zona rawan secara lebih spesifik untuk mendukung perencanaan tata ruang, penentuan prioritas penanganan banjir, dan penyusunan strategi mitigasi bencana di tingkat lokal.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena hanya mempertimbangkan parameter biofisik dan belum mengintegrasikan faktor sosial-ekonomi maupun kapasitas adaptif masyarakat. Selain itu, penggunaan data sekunder serta proses pembobotan berbasis *expert judgement* masih berpotensi menimbulkan ketidakpastian meskipun telah diminimalkan melalui pendekatan fuzzy. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan mengintegrasikan parameter sosial-ekonomi, perubahan penggunaan lahan secara dinamis, data beresolusi tinggi, serta pendekatan *machine learning* dan skenario perubahan iklim untuk meningkatkan akurasi pemodelan kerawanan banjir.

REFERENSI

- Asdak, C. (2023). *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai* (Edisi revisi). Gadjah Mada University Press.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). (2021). *Petunjuk teknis penyusunan peta bahaya banjir*. BNPB.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). (2026). *InaRISK – Peta risiko bencana Indonesia*.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Provinsi Banten. (2023). *Data kejadian banjir dan wilayah rawan banjir Provinsi Banten*.
- Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3), 233–247. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(85\)90090-9](https://doi.org/10.1016/0165-0114(85)90090-9)
- Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649–655. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2)
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
- Costache, R., et al. (2023). Flood susceptibility assessment using GIS-based multi-criteria decision analysis and distance-based approaches. *Environmental Earth Sciences*, 82, 1–18.
- Didovets, I., Krysanova, V., Hattermann, F. F., & Huang, S. (2019). Flood hazard under climate change: A pan-European assessment of extreme river floods. *Journal of Hydrology*, 576, 737–748. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.07.004>
- Eryani, I. G. A., et al. (2024). Analisis pengaruh kemiringan lereng terhadap potensi banjir di wilayah tropis. *Jurnal Geografi Lingkungan*, 12(1), 45–56.

- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., & Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, 45(2), RG2004. <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>
- Fernández, D. S., & Lutz, M. A. (2020). Urban flood hazard zoning using GIS and multi-criteria decision analysis. *Journal of Hydrology*, 583, 124625. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124625>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2006). *World reference base for soil resources 2006: A framework for international classification, correlation and communication*. FAO.
- Handiani, D. N., & Purnomo, D. (2024). Flood susceptibility models using AHP method. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Lahan*, 14(4), 684–695. <https://doi.org/10.29244/jpsl.14.4.684>
- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., & Kanae, S. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, 3(9), 816–821. <https://doi.org/10.1038/nclimate1911>
- Kazakis, N., Kougias, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and analytical hierarchy process. *Science of the Total Environment*, 538, 555–563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055>
- Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional (ATR/BPN). (2020). *Peta tematik pertanahan Indonesia*. ATR/BPN.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2019). *Peta jenis tanah Indonesia*. Kementerian Pertanian.
- Khosravi, K., Pham, B. T., Chapi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Revhaug, I., Pradhan, B., & Bui, D. T. (2019). A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling. *Science of the Total Environment*, 677, 153–167. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.293>
- Khosravi, K., Shahabi, H., Pham, B. T., Adamowski, J., Shirzadi, A., Pradhan, B., Dou, J., Ly, H.-B., Gróf, G., Ho, H. L., & Bui, D. T. (2018). A comparative assessment of flood susceptibility modeling using multi-criteria decision-making methods. *Environmental Earth Sciences*, 77, 660. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7809-4>
- Latinopoulos, D., & Kechagia, K. (2015). A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. *Renewable Energy*, 78, 550–560. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.041>
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote sensing and image interpretation* (7th ed.). Wiley.
- Liu, Z., Ostrenga, D., Teng, W., & Kempler, S. (2019). Tropical rainfall measuring mission (TRMM) precipitation data and services for research and applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(9), 1317–1325. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00152.1>
- Nguyen, H. X., et al. (2020). GIS-based fuzzy AHP for flood susceptibility

- mapping. *Applied Sciences*, 10(20), 7142. <https://doi.org/10.3390/app10207142>
- Nguyen, T. T., et al. (2020). Flood susceptibility modeling using GIS-based machine learning approaches. *Water*, 12(3), 683. <https://doi.org/10.3390/w12030683>
- Pradhan, B. (2010). Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing. *Journal of Spatial Hydrology*, 9(2), 1–18.
- Pratama, M. B., et al. (2021). Flood disaster analysis in South Kalimantan. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 18(1), 1–12. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2021.v18.a3438>
- Putra, A. D., et al. (2021). Pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap limpasan permukaan dan risiko banjir di wilayah perkotaan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(2), 123–134.
- Purwanto, A., et al. (2024). Flood vulnerability assessment using spatial analysis. *Indonesian Journal of Geography*, 56(1), 45–58.
- Rahman, M. M., et al. (2024). Flood susceptibility mapping using geospatial techniques and distance-based analysis. *Water*, 16(2), 210. <https://doi.org/10.3390/w16020210>
- Restianto, Y., et al. (2023). Analisis jarak terhadap sungai dalam pemodelan kerawanan banjir berbasis GIS. *Jurnal Teknik Hidrologi*, 14(2), 89–101.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.
- Samanta, R. K., Bhunia, G. S., Shit, P. K., & Pourghasemi, H. R. (2018). Flood susceptibility mapping using geospatial techniques and machine learning models. *Science of the Total Environment*, 626, 147–161. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.044>
- Samanta, S., Pal, D. K., & Palsamanta, B. (2018). Flood susceptibility analysis through remote sensing, GIS and frequency ratio model. *Applied Water Science*, 8(2), 66. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0710-1>
- Shuster, W. D., Bonta, J., Thurston, H., Warnemuende, E., & Smith, D. R. (2005). Impacts of impervious surface on watershed hydrology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 10(4), 339–346. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2005\)10:4\(339\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2005)10:4(339))
- Simangunsong, P., et al. (2024). Pengaruh jenis tanah dan elevasi terhadap kerawanan banjir. *Jurnal Ilmu Kebumihan*, 9(1), 22–34.
- Slocum, T. A., McMaster, R. B., Kessler, F. C., & Howard, H. H. (2009). *Thematic cartography and geovisualization* (3rd ed.). Pearson.
- Sørensen, R., Zinko, U., & Seibert, J. (2006). On the calculation of the topographic wetness index: Evaluation of different methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(1), 101–112. <https://doi.org/10.5194/hess-10-101-2006>
- Stiawan, M., et al. (2023). Pemodelan kerawanan banjir berbasis SIG di wilayah pesisir. *Jurnal Sumber Daya Air*, 19(1), 15–27.
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2014). Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models. *Journal of Hydrology*, 512, 332–343. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.008>
- Tehrany, M. S., et al. (2015). Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector

- machine. *Environmental Earth Sciences*, 73, 593–606. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3442-3>
- Twele, A., Cao, W., Plank, S., & Martinis, S. (2016). Sentinel-1-based flood mapping: A fully automated processing chain. *International Journal of Remote Sensing*, 37(13), 2990–3004. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1192304>
- United States Geological Survey (USGS). (2015). *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global*. USGS. <https://doi.org/10.5066/F7PR7TFT>
- Wijayanti, R., et al. (2025). Dampak perubahan penggunaan lahan terhadap peningkatan risiko banjir di wilayah urban. *Jurnal Perencanaan Wilayah*, 10(1), 1–12.
- Yamamoto, K., et al. (2021). Climate change and flood inundation: A global perspective. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00386-4>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zhang, Y., et al. (2025). Rainfall–runoff processes and flood risk under changing climate conditions. *Journal of Hydrology*, 640, 130123. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.130123>