

PEMETAAN RISIKO BANJIR PERKOTAAN DI KOTA MANADO

**M. Fauzhan Algiffari¹, Vincent Dwight John Pasla², Ryo Kurniawan Prijadi³,
Marwan B Suleman⁴**

¹ Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi

^{2,3} Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi

⁴ Program Studi Arsitektur, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Gorontalo

¹ Email : fauzan.algiffari@unsrat.ac.id

Diterima (received): 26 September 2026 Disetujui (accepted): 30 September 2026

ABSTRAK

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang berulang di Kota Manado dan dipengaruhi oleh interaksi kondisi fisik lingkungan dengan perkembangan perkotaan. Penelitian ini bertujuan memetakan tingkat risiko banjir di Kota Manado menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Metode yang digunakan adalah analisis spasial kuantitatif dengan teknik weighted overlay yang mengintegrasikan delapan variabel, yaitu curah hujan, elevasi, kemiringan lereng, jenis tanah, kedekatan terhadap jaringan sungai, penggunaan lahan, kepadatan penduduk, dan kepadatan bangunan. Data yang digunakan bersumber dari basis data spasial dan instansi pemerintah terkait periode tahun 2014 – 2024. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah berisiko tinggi mencapai 566,60 ha atau 3,49% dari total luas kota, sedangkan zona risiko sedang mencakup 389,64 ha (2,40%). Konsentrasi risiko tinggi terutama terdapat di kawasan topografi rendah seperti Kecamatan Wenang, Singkil, Tuminting, dan sebagian Paal Dua. Kondisi tersebut berkaitan dengan curah hujan tinggi, elevasi rendah, lereng landai, kedekatan dengan jaringan sungai utama, dominasi lahan terbangun, serta tingginya konsentrasi penduduk dan bangunan. Validasi model terhadap titik kejadian banjir historis dari BPBD Kota Manado menunjukkan bahwa 87,5% kejadian aktual jatuh secara akurat pada zona risiko sedang dan tinggi. Peta risiko yang dihasilkan dapat menjadi dasar mitigasi bencana, pengendalian pemanfaatan ruang, dan perencanaan perkotaan berbasis risiko.

Kata Kunci : *Risiko Banjir, Weighted Overlay, Paparan, Sistem Informasi Geografis, Kota Manado*

A. PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi di kawasan perkotaan dan dapat menimbulkan kerusakan terhadap lingkungan, infrastruktur, serta aktivitas sosial-ekonomi. Peningkatan intensitas hujan ekstrem, perubahan penggunaan lahan, urbanisasi, dan berkurangnya area infiltrasi dapat meningkatkan limpasan permukaan dan memperbesar potensi genangan. Kondisi tersebut menjadi semakin penting dalam perencanaan kota karena ekspansi kawasan terbangun sering berlangsung lebih cepat daripada penyediaan dan pengelolaan infrastruktur lingkungan (IPCC, 2023; Merz et al., 2021).

Kota Manado merupakan salah satu wilayah perkotaan di Indonesia yang mengalami kejadian banjir berulang. Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), Kota Manado tercatat berulang kali dilanda

banjir berskala besar dalam satu dekade terakhir. Salah satu kejadian terbesar terjadi pada Januari 2014 yang mengakibatkan puluhan ribu jiwa mengungsi dan menimbulkan kerugian triliunan rupiah. Kejadian serupa terus berulang, misalnya pada Januari 2023 yang merendam 34 kelurahan di 9 kecamatan, serta berdampak pada 9.382 jiwa (BNPB, 2023). Kota ini memiliki luas sekitar 162,35 km², terdiri atas 11 kecamatan dan memiliki karakter fisik yang beragam, mulai dari kawasan pesisir dan dataran rendah hingga wilayah berbukit. Sistem sungai yang bermuara ke Teluk Manado, perkembangan kawasan terbangun, serta konsentrasi penduduk di kawasan perkotaan menyebabkan sebagian wilayah memiliki tingkat paparan terhadap banjir yang tinggi (BPS Kota Manado, 2025).

Sistem Informasi Geografis (SIG) banyak digunakan untuk pemetaan bahaya dan risiko banjir karena mampu mengintegrasikan berbagai variabel spasial dalam satu kerangka analisis. Pendekatan multi-kriteria berbasis SIG telah digunakan dengan parameter seperti curah hujan, elevasi, kemiringan lereng, karakteristik tanah, penggunaan lahan, dan kondisi daerah aliran sungai (Kourgialas & Karatzas, 2017; Pradhan, 2010; Tehrany et al., 2014; Rahman et al., 2021). Namun, pemetaan yang hanya menekankan faktor fisik cenderung lebih menggambarkan karakteristik bahaya banjir dan belum sepenuhnya menunjukkan risiko yang mempertimbangkan elemen yang terpapar, seperti penduduk dan aset perkotaan. Dalam konteks Kota Manado, penelitian mengenai banjir sebelumnya umumnya berfokus pada kerawanan fisik wilayah atau pemodelan hidrologi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) tertentu saja (Mandagi et al., 2020; Rantung et al., 2022). Studi-studi tersebut belum mengintegrasikan indikator paparan berupa kepadatan penduduk dan sebaran bangunan ke dalam satu indeks risiko komprehensif pada skala kota. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan menggabungkan parameter bahaya berbasis fisik dan tingkat paparan sosial-infrastruktur untuk merumuskan indeks risiko banjir spasial yang spesifik bagi perencanaan tata ruang Kota Manado.

Kerangka risiko bencana secara konseptual menempatkan risiko sebagai hasil interaksi antara bahaya, paparan, dan kerentanan (UNDRR, 2022). Dalam konteks perkotaan, kepadatan penduduk dan kepadatan bangunan dapat digunakan sebagai indikator utama untuk menggambarkan tingkat paparan. Mengacu pada kerangka tersebut, penelitian ini membatasi dan memfokuskan pemetaan pada dua komponen utama, yaitu bahaya dan paparan. Komponen kerentanan (seperti kapasitas dan kondisi sosial-ekonomi masyarakat) belum dimasukkan ke dalam model ini karena keterbatasan ketersediaan data spasial beresolusi tinggi. Oleh karena itu, integrasi faktor fisik dan sosial-spasial dalam penelitian ini menghasilkan indeks yang lebih tepat disebut sebagai indeks risiko berbasis bahaya-paparan. Meskipun demikian, indeks ini diharapkan tetap mampu memberikan informasi yang relevan dan aplikatif bagi pengambilan keputusan tata ruang.

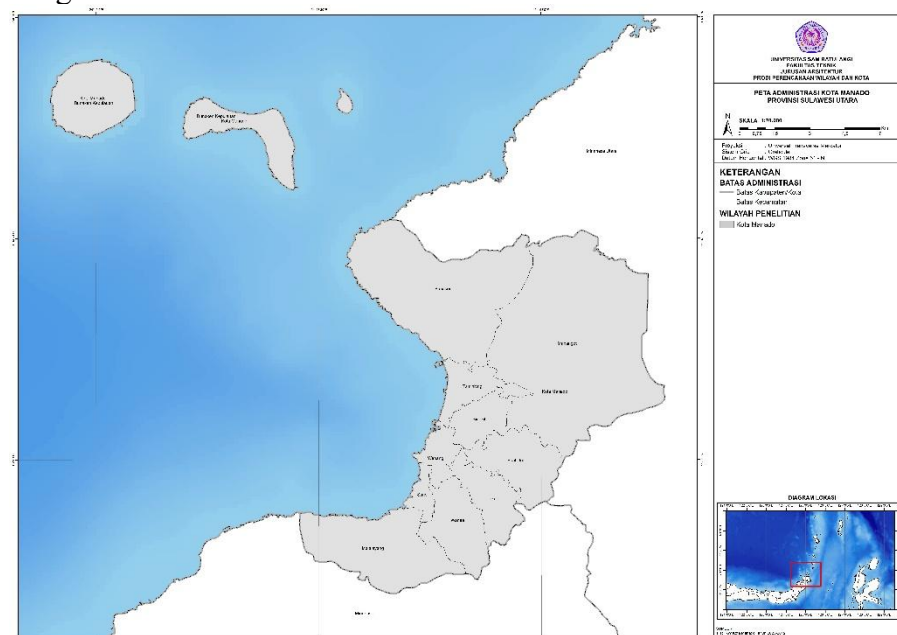
Penelitian ini mengintegrasikan delapan variabel melalui teknik *weighted overlay* berbasis SIG, yaitu curah hujan, elevasi, kemiringan lereng, jenis tanah, kedekatan terhadap sungai/DAS, penggunaan lahan, kepadatan penduduk, dan kepadatan bangunan. Pendekatan tersebut digunakan untuk mengintegrasikan karakteristik fisik wilayah dengan elemen paparan perkotaan dalam pemetaan

risiko banjir. Tujuan penelitian ini adalah memetakan distribusi risiko banjir di Kota Manado dan mengidentifikasi kawasan prioritas yang dapat menjadi dasar mitigasi bencana serta perencanaan tata ruang berbasis risiko.

B. METODE PENELITIAN

1. Lokasi dan Desain Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara, yang secara administratif terdiri atas 11 kecamatan dan 87 kelurahan dengan luas wilayah sekitar 162,35 km². Wilayah penelitian mencakup seluruh wilayah administratif Kota Manado sebagai unit analisis pemetaan risiko banjir. Karakteristik wilayah penelitian meliputi kawasan pesisir, dataran rendah, dan wilayah perbukitan yang memiliki kondisi topografi dan penggunaan lahan yang beragam. Penelitian dilaksanakan pada tahun 2026 dengan menggunakan data spasial dan nonspasial yang diperoleh dari berbagai sumber resmi dan relevan dengan kebutuhan analisis.



Gambar 1. Peta Administrasi Kota Manado
Sumber : RTRW Kota Manado Tahun 2023-2043

2. Data dan Variabel

Data yang digunakan merupakan data sekunder dari instansi pemerintah dan basis data geospasial. Variabel fisik terdiri atas curah hujan, elevasi, kemiringan lereng, jenis tanah, kedekatan terhadap jaringan sungai/DAS, dan penggunaan lahan. Variabel sosial-spasial terdiri atas kepadatan penduduk dan kepadatan bangunan. Pemilihan variabel mengacu pada penelitian pemetaan kerawanan dan risiko banjir sebelumnya (Kourgialas & Karatzas, 2011; Pradhan, 2010; Tehrany et al., 2014) serta pedoman pengkajian risiko bencana dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB, 2012).

Tabel 1. Sumber Data Penelitian

No.	Data/Variabel	Format Data	Sumber Data	Kegunaan dalam Analisis	Tahun Data
1	Curah hujan	Raster	CHIRPS, 2020–2025	Menggambarkan distribusi curah hujan sebagai faktor bahaya banjir	Dokumen RTRW Kota Manado Tahun 2023-2043
2	Elevasi	Raster	DEMNAS	Mengidentifikasi kondisi ketinggian wilayah yang memengaruhi potensi genangan	Dokumen RTRW Kota Manado Tahun 2023-2043
3	Kemiringan lereng	Raster	Hasil olahan DEMNAS	Mengidentifikasi tingkat kemiringan permukaan yang memengaruhi aliran dan akumulasi air	Dokumen RTRW Kota Manado Tahun 2023-2043
4	Jenis tanah	Raster	BBSDLP	Menggambarkan karakteristik tanah yang berkaitan dengan infiltrasi	Dokumen RTRW Kota Manado Tahun 2023-2043
5	Sungai/DAS	Vektor	Data hidrologi	Menentukan kedekatan wilayah terhadap sungai/DAS	Dokumen RTRW Kota Manado Tahun 2023-2043
6	Penggunaan lahan	Vektor	Data tata guna lahan	Mengidentifikasi karakteristik pemanfaatan lahan dan kawasan terbangun	Dokumen RTRW Kota Manado Tahun 2023-2043
7	Kepadatan penduduk	Tabel/vektor	BPS Kota Manado	Menggambarkan paparan penduduk	Dokumen RTRW Kota Manado Tahun 2023-2043
8	Kepadatan bangunan	Raster	Hasil ekstraksi bangunan	Menggambarkan tingkat konsentrasi bangunan sebagai indikator paparan perkotaan	Dokumen RTRW Kota Manado Tahun 2023-2043

Sumber : Hasil Analisis, 2026

3. Klasifikasi dan Skoring Parameter

Setiap parameter yang digunakan dalam model risiko banjir diklasifikasikan berdasarkan tingkat kontribusinya terhadap potensi bahaya atau paparan. Selanjutnya, masing-masing kelas diberikan skor untuk menyeragamkan nilai setiap parameter sebelum dilakukan analisis *weighted overlay*. Skor yang lebih tinggi menunjukkan kontribusi yang lebih besar terhadap risiko banjir. Klasifikasi dan skoring parameter digunakan sebagai dasar dalam perhitungan Indeks Risiko Banjir (IRB).

Tabel 2. Klasifikasi dan Skoring Parameter Risiko Banjir

No.	Parameter	Kelas/Kriteria	Skor
1	Curah hujan	< 2.000 mm/tahun	1
		2.000–3.000 mm/tahun	3
		> 3.000 mm/tahun	5
2	Elevasi (Kelas elevasi ditentukan	0–30 m	5

	dengan metode natural breaks (jenks) pada data DEM	31-59 m	4
		60-225 m	3
		226-431 m	2
		> 431 m	1
3	Kemiringan lereng	0-8%	5
		8-15%	4
		15-25%	3
		25-40%	2
		> 40%	1
4	Kedekatan terhadap sungai	< 100 m	5
		100-250 m	4
		250-500 m	3
		500-1.000 m	2
		> 1.000 m	1
5	Jenis tanah	Aluvial	5
		Latosol	3
		Podsolik Merah Kuning	1
6	Penggunaan lahan	Vegetasi/ruang terbuka	1
		Lahan pertanian/perkebunan	2
		Kawasan Terbangun	3
7	Kepadatan penduduk	< 1.500 jiwa/km ²	1
		1.500-5.000 jiwa/km ²	2
		> 5.000 jiwa/km ²	3
8	Kepadatan bangunan	Rendah	1
		Sedang	2
		Tinggi	3

Sumber : Hasil Analisis, 2026

4. Pengolahan dan Pemodelan Spasial

Pengolahan data dilakukan menggunakan ArcGIS melalui tahapan kompilasi data, standardisasi sistem koordinat, prapengolahan, klasifikasi setiap parameter, pemberian skor, penentuan bobot, *weighted overlay*, klasifikasi indeks risiko, dan penyusunan peta akhir. Setiap *layer* distandarkan ke dalam skala skor sesuai kontribusinya terhadap potensi bahaya atau paparan. Model indeks risiko banjir dihitung dengan Pers. (1).

$$IRB = \Sigma (W_i \times S_i) \quad (1)$$

dengan IRB adalah Indeks Risiko Banjir, W_i adalah bobot variabel ke- i , dan S_i adalah skor kelas variabel ke- i .

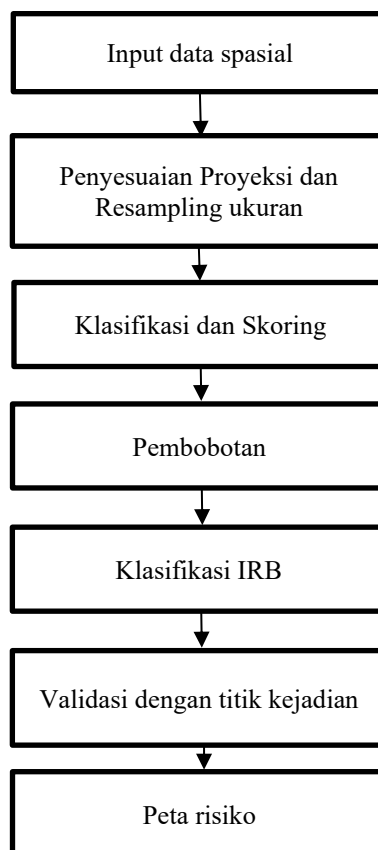
Tabel 3. Bobot Variabel dalam Risiko Banjir

Variabel	Bobot (%)
Curah hujan	25
Elevasi	20
Kemiringan lereng	15
Kedekatan DAS/sungai	15
Penggunaan lahan	10
Jenis tanah	5
Kepadatan penduduk	5

Kepadatan bangunan	5
Total	100

Sumber : Hasil Analisis, 2026

Pembobotan dalam model ini menggunakan pendekatan *hazard-driven risk* (risiko yang didominasi oleh ancaman fisik). Dominasi bobot pada variabel fisik (90%) dibandingkan variabel paparan (10%) ditetapkan berdasarkan pertimbangan karakteristik geografis Kota Manado. Kondisi topografi, elevasi, dan curah hujan bertindak sebagai pengontrol utama (*primary drivers*) arah dan akumulasi limpasan permukaan. Sebaliknya, kepadatan penduduk dan bangunan diposisikan sebagai variabel penyesuaian (*modifier*) yang meningkatkan nilai risiko secara spesifik pada kawasan terbangun, tanpa menghilangkan fakta bahwa akumulasi air murni dikendalikan oleh faktor fisik.



Gambar 2. Diagram Alir Pemodelan Indeks Risiko Banjir (IRB)

Sumber : Hasil Analisis, 2026

5. Validasi

Validasi model dilakukan menggunakan 3 titik kejadian banjir historis periode tahun 2014 hingga 2024 yang diperoleh dari data Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Manado dan rekapitulasi laporan pemerintah daerah. Titik-titik kejadian tersebut ditumpang-susunkan (*overlay*) dengan peta Indeks Risiko Banjir (IRB) untuk menguji keandalan hasil pemodelan spasial.

Evaluasi model dilakukan secara kuantitatif dengan menghitung persentase sebaran titik kejadian serta rasio kepadatan kejadian (titik/km²) pada masing-masing kelas risiko. Model dinilai valid dan andal apabila menunjukkan tren peningkatan persentase dan kepadatan kejadian yang berbanding lurus dari kelas risiko rendah menuju kelas risiko tinggi. Sebagai ukuran akurasi tambahan, penelitian ini juga menggunakan perhitungan nilai *Area Under Curve* (AUC) berdasarkan kurva *Receiver Operating Characteristic* (ROC).

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Distribusi Parameter Fisik

Curah hujan rata-rata tahunan Kota Manado periode 2020–2025 berada pada kisaran 2.450–3.420 mm/tahun, dengan nilai tertinggi pada 2023 sebesar 3.420 mm/tahun dan terendah pada 2020 sebesar 2.450 mm/tahun. Peta zona curah hujan disusun berdasarkan interpolasi nilai rata-rata periode enam tahun tersebut. Berdasarkan klasifikasinya, zona curah hujan >2.000–3.000 mm/tahun mencakup area seluas 12.348,34 ha (76,06%), sedangkan zona >3.000 mm/tahun mencapai 3.886,66 ha (23,94%) dari total luas baku wilayah Kota Manado, yaitu 16.235 ha. Kelas di bawah 2.000 mm/tahun tidak terdapat pada peta wilayah studi karena seluruh area menerima curah hujan melampaui batas tersebut. Variabel curah hujan ini diberi bobot tertinggi (25%) karena berperan sebagai pengontrol dan pemicu utama pembentukan limpasan permukaan.

Tabel 4. Curah Hujan Tahunan, Kota Manado Tahun 2020-2025

Tahun	Curah hujan (mm/tahun)
2020	>2.000
2021	>2.000
2022	>2.000
2023	>3.000
2024	>3.000
2025	>2.000

Sumber : Data CHIRPS 2020-2025, diolah 2026

Elevasi Kota Manado berkisar dari sekitar 0 m hingga 807 m dpl. Sekitar 13.636,53 ha atau 84% wilayah kota berada pada elevasi di bawah 225 m dpl. Kawasan dengan elevasi 0–30 m, >30–59 m, dan >59–225 m masing-masing mencakup 4.218,20 ha, 4.683,94 ha, dan 4.734,39 ha. Zona rendah ini terutama berada di kawasan pesisir dan pusat kota, termasuk Kecamatan Wenang, Singkil, Tuminting, Sario, dan sebagian Paal Dua.

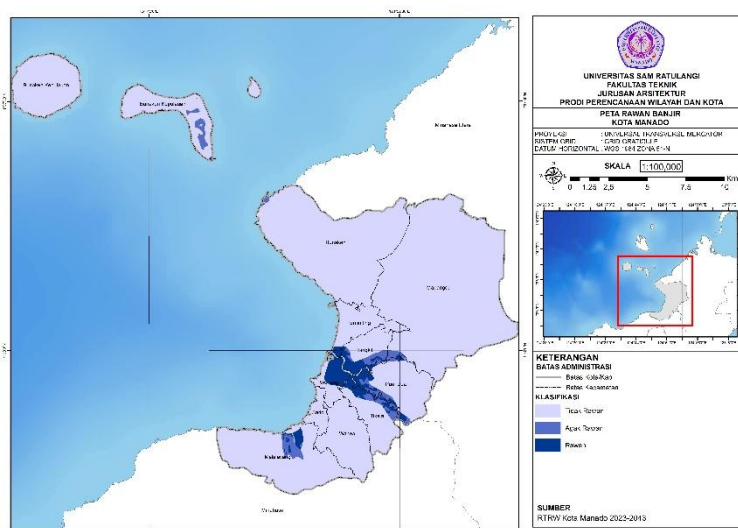
Kemiringan lereng 0–8% merupakan kelas dominan dengan luas sekitar 6.834,10 ha atau 42,15% wilayah studi. Area datar dan landai terkonsentrasi pada kawasan pesisir dan pusat kota. Kondisi ini memperlambat aliran permukaan dan meningkatkan peluang akumulasi air, sedangkan wilayah dengan lereng lebih curam di bagian timur dan utara cenderung memiliki kemampuan pengaliran permukaan yang lebih baik.

Jenis tanah Latosol merupakan jenis yang paling dominan dengan luas sekitar 10.247,97 ha (63,12%), diikuti tanah Aluvial seluas 2.954,79 ha (18,20%),

Podsolik Merah Kuning seluas 1.153,55 ha (7,11%), serta jenis tanah Regosol dan lainnya seluas 1.878,69 ha (11,57%). Tanah Aluvial banyak ditemukan di kawasan dataran rendah dan koridor sungai, termasuk pada wilayah pengaruh DAS Tondano, sehingga menjadi kombinasi penting bersama elevasi rendah dan perkembangan perkotaan. Pada parameter kedekatan jaringan sungai, area yang berjarak sangat dekat (<50 m dan 50–100 m) memperlihatkan kerentanan limpasan tertinggi. Sementara itu, parameter penggunaan lahan di wilayah studi didominasi oleh kawasan terbangun yang secara langsung meningkatkan limpasan permukaan akibat tingginya persentase tutupan lahan kedap air.

2. Bahaya Banjir

Hasil *overlay* enam parameter fisik yaitu curah hujan, elevasi, kemiringan lereng, jenis tanah, kedekatan terhadap sungai, dan penggunaan lahan menunjukkan distribusi keruangan tingkat bahaya banjir di Kota Manado. Peta bahaya ini dihitung dengan mereskalakan bobot bawaan dari enam variabel fisik tersebut menjadi proporsi 100% (dengan rincian: curah hujan 27,8%, elevasi 22,2%, kemiringan lereng 16,7%, kedekatan sungai 16,7%, penggunaan lahan 11,1%, dan jenis tanah 5,5%). Berdasarkan klasifikasi hasil luasan, mayoritas wilayah studi, yakni 15.194,34 ha atau sekitar 93,59%, termasuk dalam kelas bahaya rendah (tidak rawan). Sementara itu, 579,59 ha (3,57%) berada pada kelas bahaya sedang, dan seluas 461,07 ha (2,84%) termasuk dalam kelas bahaya tinggi. Zona bahaya tinggi secara logis memusat pada kawasan topografi rendah di area pesisir dan pusat kota, khususnya di Kecamatan Wenang, Singkil, Tuminting, dan sebagian Paal Dua.



Gambar 3. Peta Bahaya Banjir, Kota Manado

Sumber : Hasil Analisis, 2026

Tabel 5. Luas Kelas Bahaya Banjir

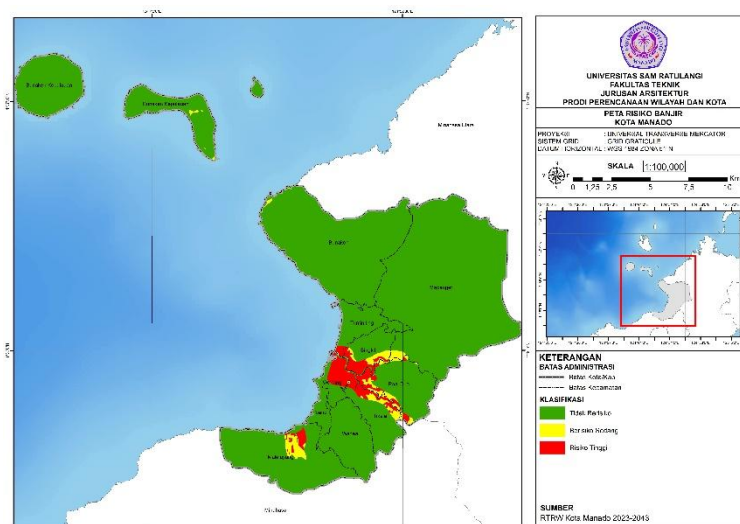
Tingkat bahaya	Luas (ha)	Persentase (%)
Rawan	459,89	2,84
Agak Rawan	578,25	3,57
Tidak Rawan	15.210,46	93,59

Total	16.248,60	100,00
-------	-----------	--------

Sumber : Hasil Analisis, 2026

3. Distribusi Risiko Banjir

Integrasi kedelapan parameter fisik dan sosial-spasial tersebut menghasilkan peta Indeks Risiko Banjir (IRB) yang terbagi ke dalam tiga kelas. Berdasarkan hasil analisis spasial, sebagian besar wilayah studi, yakni seluas 15.278,76 ha (94,11%), berada pada kelas risiko rendah atau tidak rawan. Sementara itu, zona risiko sedang mencakup area seluas 389,64 ha (2,40%). Untuk zona risiko tinggi, luasannya mencapai 566,60 ha atau 3,49% dari total luas wilayah. Meskipun secara persentase luasan zona risiko sedang dan tinggi terlihat relatif kecil dibandingkan keseluruhan luas kota, kawasan berisiko tersebut secara spasial terkonsentrasi pada area pusat kegiatan ekonomi kota dan permukiman padat. Oleh karena itu, area ini tetap merepresentasikan titik paparan tertinggi yang memerlukan prioritas penanganan dan mitigasi tata ruang.



Gambar 4. Peta Risiko Banjir, Kota Manado

Sumber : Hasil Analisis, 2026

Tabel 6. Tingkat Risiko dan Luas dari Setiap Tingkat Risiko

Tingkat risiko	Luas (ha)	Luas (%)
Tinggi	566,32	3,49
Sedang	389,45	2,40
Rendah/tidak rawan	15.278,76	94,11
Total	16.235,00	100,00

Sumber : Hasil Analisis, 2026

Pola risiko tinggi di Wenang, Singkil, Tuminting, dan sebagian Paal Dua menunjukkan bahwa risiko banjir tidak ditentukan oleh satu variabel. Kawasan tersebut merupakan hasil tumpang tindih antara kondisi fisik yang mendukung akumulasi air dan konsentrasi aktivitas perkotaan. Elevasi rendah, lereng landai,

curah hujan tinggi, kedekatan dengan sistem DAS Tondano, dan dominasi permukaan terbangun membentuk kondisi yang meningkatkan bahaya, sedangkan kepadatan penduduk dan bangunan memperbesar paparan.

Curah hujan dan elevasi ditetapkan sebagai variabel dengan bobot tertinggi dalam model, masing-masing sebesar 25% dan 20%. Penetapan ini didasarkan pada tinjauan literatur yang menunjukkan bahwa keduanya merupakan pemicu dan pengendali topografis utama terjadinya genangan limpasan (Pradhan, 2010; Tehrany et al., 2014). Namun demikian, karena variasi spasial data curah hujan di dalam cakupan luasan kota relatif seragam, perbedaan tingkat risiko secara spasial antarwilayah lebih banyak dikendalikan oleh variasi elevasi, kemiringan lereng, dan kedekatan terhadap jaringan sungai. Curah hujan yang tinggi secara regional berfungsi mendatangkan volume limpasan yang masif, sementara kawasan berelevasi rendah secara lokal bekerja sebagai cekungan akumulasi. Dalam konteks Kota Manado, kerentanan pada elevasi rendah ini menjadi semakin menguat ketika beririsan dengan kawasan permukiman yang berada dekat dengan bantaran sungai.

Kedekatan terhadap seluruh jaringan sungai di Kota Manado, yang mencakup aliran utama seperti Sungai Tondano, Tikala, Sario, Bailang, dan Malalayang beserta anak-anak sungainya, merupakan faktor penting dalam pemodelan ini. Sistem sungai tersebut berfungsi sebagai saluran drainase utama pengaliran air dari daerah tangkapan hulu menuju kawasan hilir di pesisir. Pada saat terjadi curah hujan intensif, lonjakan debit air dapat melebihi kapasitas tampung saluran dan memicu luapan ke area sekitarnya. Selain itu, masifnya perkembangan permukiman dan kegiatan ekonomi di sepanjang koridor sungai-sungai tersebut berdampak pada berkurangnya ruang terbuka hijau dan kapasitas infiltrasi alami lahan. Temuan ini sejalan dengan studi Kourgialas dan Karatzas (2017) yang membuktikan bahwa parameter kedekatan sungai sangat menentukan distribusi bahaya banjir keruangan, serta mengonfirmasi Yin et al. (2016) yang menekankan besarnya pengaruh perubahan penggunaan lahan di bantaran sungai terhadap peningkatan respons hidrologis perkotaan.

Penggunaan lahan dan kepadatan bangunan memperlihatkan dimensi teknik-perkotaan dari risiko banjir. Konsentrasi bangunan, jalan, dan permukaan kedap air di pusat kota meningkatkan proporsi air hujan yang menjadi limpasan langsung. Oleh karena itu, mitigasi tidak cukup hanya diarahkan pada peningkatan kapasitas drainase, tetapi juga perlu mengendalikan intensitas pemanfaatan ruang, menjaga sempadan sungai, dan memperluas ruang terbuka hijau. Pendekatan ini penting karena perubahan penggunaan lahan dapat memperkuat dampak faktor fisik terhadap sistem drainase dan sungai.

Integrasi kepadatan penduduk dan bangunan menghasilkan perbedaan penting antara pemetaan bahaya fisik dan pemetaan risiko spasial. Meskipun secara luasan zona risiko tinggi dan sedang hanya mencakup sebagian kecil dari wilayah kota (sekitar 5,89%), zona-zona tersebut secara keruangan beririsan langsung dengan pusat konsentrasi permukiman dan aktivitas perkotaan yang padat. Hal ini memperlihatkan bahwa informasi luasan bahaya fisik saja belum cukup memadai untuk menentukan prioritas intervensi tata ruang perkotaan. Penggunaan indikator paparan membantu mengarahkan strategi mitigasi pada lokasi yang berpotensi

menimbulkan kerugian sosial dan ekonomi yang lebih besar, sesuai dengan kerangka risiko bencana yang mengintegrasikan ancaman dan elemen terpapar (UNDRR, 2022).

Secara operasional, peta risiko dapat digunakan sebagai instrumen pendukung perencanaan tata ruang berbasis risiko. Kawasan risiko tinggi perlu diprioritaskan untuk pengendalian perkembangan bangunan, perlindungan koridor sungai, peningkatan kapasitas drainase, penyediaan ruang retensi dan ruang terbuka hijau, serta penguatan kesiapsiagaan masyarakat. Sementara itu, kawasan risiko rendah dapat dipertahankan sebagai bagian dari sistem penyangga ekologis kota. Hasil validasi terhadap dokumentasi kejadian banjir menunjukkan bahwa sebagian besar lokasi historis berada pada zona risiko sedang dan tinggi, sehingga model *weighted overlay* memberikan representasi spasial yang relevan untuk kebutuhan perencanaan.

D. KESIMPULAN

Penelitian menghasilkan peta risiko banjir Kota Manado berbasis SIG melalui integrasi delapan parameter fisik dan sosial-spasial dengan metode *weighted overlay*. Zona risiko tinggi mencapai 566,32 ha atau 3,49% wilayah kota dan terutama terkonsentrasi di Wenang, Singkil, Tuminting, dan sebagian Paal Dua.

Risiko tinggi terbentuk melalui interaksi curah hujan tinggi, elevasi rendah, lereng landai, kedekatan dengan DAS Tondano, dominasi lahan terbangun, serta tingginya kepadatan penduduk dan bangunan. Dengan demikian, kawasan pusat kota memiliki tingkat risiko yang lebih tinggi bukan hanya karena kondisi lingkungannya, tetapi juga karena tingginya konsentrasi manusia dan aset perkotaan.

Informasi spasial yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar pengendalian pemanfaatan ruang, prioritas mitigasi banjir, perlindungan koridor sungai, peningkatan ruang terbuka hijau, dan penguatan sistem drainase. Pengembangan penelitian selanjutnya disarankan memasukkan data kejadian historis yang lebih rinci, proyeksi perubahan iklim, serta indikator kerentanan sosial-ekonomi agar model risiko menjadi lebih komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Sam Ratulangi dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Sam Ratulangi atas dukungan pendanaan dan bantuan yang diberikan dalam penyelesaian penelitian ini melalui Nomor Kontrak 479/UN12.27/LT/2026.

DAFTAR PUSTAKA

- BNPB, 2012. *Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- BPS Kota Manado, 2025. *Kota Manado dalam Angka 2025*. Manado: Badan Pusat Statistik Kota Manado.

- IPCC, 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kourgialas, N. N., & Karatzas, G. P., 2017. Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas: A case study. *Hydrological Sciences Journal*, 62 (2), 212–225. <https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1261391>
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., & Thielen, A. H., 2021. Assessment of economic flood damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21 (1), 1–17.
- 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.
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N., 2014. Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *Journal of Hydrology*, 512, 332–343. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.032>
- UNDRR, 2022. *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2022*. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- Yin, J., Yu, D., Yin, Z., Wang, J., Xu, S., & He, Q., 2016. Modelling the combined impacts of land-use and climate change on urban flood risk in China. *Journal of Hydrology*, 542, 290–299. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.09.009>