

STUDI PERUBAHAN IKLIM TERHADAP KERENTANAN BENCANA LINGKUNGAN DI KOTA MALANG BERBASIS CURAH HUJAN

Ardian Hidayatullah^{*1}, Anita Rahmawati² dan Gilang Ramadan Kololikiye³

¹ Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang

e-mail: 21901051022@unisma.ac.id

² Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang

e-mail: anita.rahmawati@unisma.ac.id

³ Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang

e-mail: gilangft@unisma.ac.id

ABSTRACT

Climate Global climate change characterized by increased greenhouse gas emissions has triggered weather anomalies in the form of intensified extreme rainfall, thereby driving high frequency of hydrometeorological disasters in urban areas. Malang City, as an economic and educational center in East Java with a population of 847,182 people, recorded a drastic increase in flood points from 182 points in 2024 to 298 points throughout 2025, exacerbated by basin topographical conditions, high conversion of open land to built-up areas, and limited drainage infrastructure capacity. This study aims to analyze rainfall trends based on historical data (1995–2024) and map the level of environmental disaster vulnerability in terms of physical conditions of the region and population density as a basis for formulating mitigation strategies. The method used is descriptive statistical analysis and simple linear regression to analyze rainfall trends and extreme rainfall scenarios using CHIRPS data, as well as spatial analysis based on weighted overlay in ArcGIS with seven parameters: extreme rainfall scenario, land use, soil type, river buffer, elevation, slope, and population density to generate flood, landslide, and extreme weather disaster vulnerability maps. The results show rainfall trend analysis produced the regression equation $\hat{Y} = 2085.97 + 11.64X$ with a positive regression coefficient of 11.64 mm/year, however the trend is not statistically significant ($p = 0.293 > 0.05$; $R^2 = 4.05\%$). The Coefficient of Variation of 22.48% indicates moderate-to-high climate variability with actual 2025 data reaching 3,207.40 mm, thus an extreme rainfall scenario based on the 95th percentile (P95) of 3,138.70 mm was used as the basis for spatial vulnerability analysis. Spatial analysis results show flood vulnerability in high category covering 70.11 km² (63.38%), landslide vulnerability in moderate category covering 76.11 km² (68.80%), and extreme weather vulnerability in high category covering 56.00 km² (50.51%), with mitigation recommendations encompassing structural approaches (drainage capacity enhancement, river normalization, slope reinforcement, green space provision) and non-structural approaches (early warning systems, community preparedness education, spatial planning based on vulnerability data).

Keyword : *Climate Change, Disaster Vulnerability, Rainfall, Weighted Overlay, Malang City*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim telah menjadi tantangan global yang berdampak signifikan terhadap tatanan lingkungan dan kehidupan manusia. Krisis pemanasan global yang dipicu oleh emisi gas rumah kaca yang tak terkendali menunjukkan bahwa dalam dekade 2011–2020, suhu global telah menembus ambang batas 1,1°C di atas level tahun 1850–1900.

Kota Kota Malang merupakan wilayah perkotaan strategis yang terletak di dataran tinggi Provinsi Jawa Timur dengan luas 111,08 km² dan populasi 847.182 jiwa. Data Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Malang mencatat peningkatan signifikan titik banjir dari 182 lokasi pada 2024 menjadi 298 lokasi sepanjang 2025. Peningkatan drastis ini berkorelasi dengan anomali curah hujan 2025 yang mencapai 3.207,40 mm (meningkat 40%

dari 2024) dan intensitas hujan harian ekstrem hingga tiga kali lipat dari rata-rata normal.

Kondisi ini diperberat oleh karakteristik topografi kota yang berada di cekungan, tingginya konversi lahan terbuka menjadi lahan terbangun (58,5% pemukiman), serta keterbatasan kapasitas infrastruktur drainase. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pertumbuhan penduduk dan pembangunan cepat telah mengubah penggunaan lahan, di mana banyak area terbuka kini menjadi permukiman sehingga aliran permukaan meningkat dan penyerapan air menurun [1]. Lebih lanjut, penelitian terhadap sistem drainase di wilayah Brantas menunjukkan bahwa 30% dari saluran air sudah tidak mampu menampung beban hujan akibat alih fungsi lahan, sehingga mitigasi di Kota Malang harus dikombinasikan dengan metode peresapan air melalui sumur resapan [2].

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan akan analisis kerentanan berbasis data iklim dan pemetaan spasial yang akurat untuk mendukung strategi mitigasi terukur bagi 847.182 penduduk kota.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana tren dan karakteristik variabilitas curah hujan Kota Malang berdasarkan analisis data historis periode 1995–2024, serta skenario curah hujan ekstrem yang relevan?
2. Bagaimana tingkat kerentanan bencana lingkungan (banjir, longsor, cuaca ekstrem) di Kota Malang ditinjau dari kondisi fisik lingkungan dan kepadatan penduduk, serta strategi mitigasi yang tepat?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis tren curah hujan historis periode 1995–2024 dan menentukan skenario curah hujan ekstrem sebagai dasar pemetaan dampak perubahan iklim terhadap potensi ancaman bencana.
2. Menganalisis tingkat kerentanan bencana lingkungan dengan mempertimbangkan kondisi fisik wilayah dan kepadatan penduduk, serta merumuskan strategi mitigasi yang terukur.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perubahan Iklim dan Curah Hujan

Perubahan iklim merupakan perubahan jangka panjang pada suhu dan pola cuaca yang sebagian besar disebabkan oleh aktivitas manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil [3].

Dampak perubahan iklim terhadap curah hujan dapat berupa peningkatan variabilitas, intensitas, dan frekuensi kejadian ekstrem. Data CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) merupakan dataset curah hujan resolusi tinggi yang menggabungkan data satelit inframerah dan data stasiun curah hujan, sehingga cocok digunakan untuk analisis tren iklim di wilayah yang memiliki keterbatasan data stasiun [4].

2.2 Kerentanan Bencana Hidrometeorologi

Kerentanan bencana adalah kondisi yang ditentukan oleh faktor fisik, sosial, ekonomi, dan lingkungan yang meningkatkan kerentanan suatu komunitas terhadap dampak bahaya [5].

Dalam konteks bencana hidrometeorologi, kerentanan fisik wilayah dipengaruhi oleh faktor topografi, jenis tanah, penggunaan lahan, dan kepadatan penduduk. Banjir terjadi akibat kombinasi curah hujan tinggi, topografi dataran rendah, dan dominasi lahan terbangun yang memperbesar limpasan permukaan. Longsor dipicu oleh kemiringan lereng curam, jenis tanah yang rentan, dan curah hujan intensif. Cuaca ekstrem berkaitan dengan variabilitas iklim yang tinggi di wilayah padat penduduk.

2.3 Metode Weighted Overlay

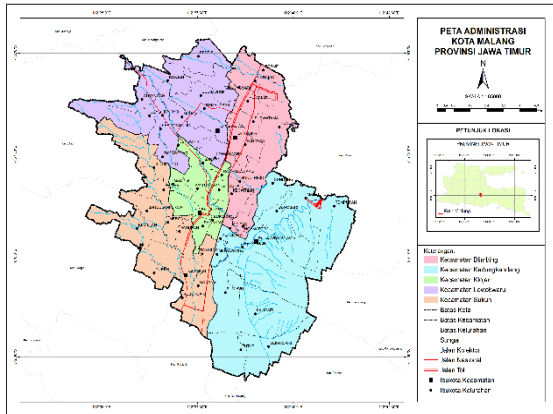
Weighted overlay adalah teknik analisis spasial dalam SIG yang menggabungkan beberapa layer data raster dengan memberikan bobot berbeda pada setiap parameter sesuai tingkat pengaruhnya terhadap fenomena yang dianalisis [6].

Metode ini banyak digunakan dalam pemetaan kerentanan bencana karena kemampuannya mengintegrasikan berbagai parameter secara objektif. Nilai total kerentanan diperoleh dari penjumlahan hasil perkalian skor dan bobot setiap parameter, kemudian diklasifikasikan menjadi kategori rendah, sedang, dan tinggi.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kota Malang, Provinsi Jawa Timur, yang secara astronomis terletak pada 112°06'–112°07' BT dan 7°06'–8°02' LS dengan luas wilayah 110,06 km² yang terdiri dari 5 kecamatan dan 57 kelurahan.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

3.2 Data Penelitian

1. Data curah hujan historis 1995–2024 dari CHIRPS resolusi 0,05°.
2. Peta penggunaan lahan dari BIG.
3. Peta jenis tanah dari BBSDLP.
4. Data DEM SRTM 30m untuk parameter elevasi dan kemiringan lereng.
5. Data jaringan sungai dari BIG.
6. Data kepadatan penduduk dari BPS Kota Malang.

3.3 Analisis Curah Hujan

Analisis tren curah hujan dilakukan menggunakan metode regresi linear sederhana dengan persamaan $Y = a + bX$, di mana Y adalah curah hujan tahunan (mm), X adalah tahun pengamatan, a adalah konstanta, dan b adalah koefisien regresi. Uji signifikansi dilakukan menggunakan uji-F dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Variabilitas iklim diukur menggunakan Koefisien Variasi ($KV = \sigma/\mu \times 100\%$). Proyeksi curah hujan dilakukan untuk periode 2025–2029 dengan mensubstitusikan nilai X sesuai urutan tahun pengamatan ke dalam persamaan regresi yang diperoleh, menggunakan nilai koefisien regresi penuh ($b = 11,6444$) sebelum pembulatan guna menghasilkan nilai proyeksi yang lebih presisi. Konversi data curah hujan dari nilai historis ke nilai proyeksi selanjutnya dilakukan

menggunakan Raster Calculator pada ArcGIS, dengan menambahkan nilai selisih antara nilai proyeksi tahun 2029 terhadap rata-rata curah hujan historis ke seluruh piksel raster historis. Rumus-rumus perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Statistik Deskriptif

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Keterangan:

$\bar{x}$ = Rata-rata curah hujan historis

$\sum x$ = Jumlah rata-rata curah hujan (1995–2024)

n = Jumlah data pengamatan

2. Persamaan Regresi Linear

$$\hat{Y} = a + bX$$

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{\sum Y - b(\sum X)}{n}$$

Keterangan:

$\hat{Y}$ = Variabel respon.

X = Variabel prediktor.

a = Konstanta.

b = Koefisien regresi.

n = Jumlah data.

$\sum$ = Jumlah keseluruhan data.

3. Koefisien Variasi (KV)

$$KV = \frac{\sigma}{\mu} \times 100\%$$

Keterangan:

KV = Koefisiensi Variasi

σ = Standar Deviasi

μ = Rata-rata dari data curah hujan historis

4. Uji Signifikansi dan Analisis Analisis Variabilitas

Rumusan Hipotesis:

a. H_0 : Tidak terdapat pengaruh signifikan antara variabel waktu (X) terhadap curah hujan tahunan (Y)

b. H_a : Terdapat pengaruh signifikan antara variabel waktu (X) terhadap curah hujan tahunan (Y)

Kriteria Keputusan:

a. Jika $p - value < 0,05 \rightarrow H_0$ ditolak (tren signifikan)

b. Jika $p - value \geq 0,05 \rightarrow H_0$ diterima (tren tidak signifikan)

Meskipun tren tidak signifikan, tingkat fluktuasi data dianalisis menggunakan Koefisien Variasi (KV).

$$KV = \frac{\sigma}{\mu} \times 100\%$$

Klasifikasi:

KV < 10%= Variabilitas Rendah

KV 10%–20%= Variabilitas Sedang

KV > 20%= Variabilitas Tinggi

Jika hasil menunjukkan variabilitas tinggi, dilakukan pendekatan alternatif berupa skenario curah hujan ekstrem berbasis Persentil 95 untuk menangkap ambang batas tertinggi curah hujan dari data historis.

5. Skenario Curah Hujan Ekstrem (P₉₅)

Ketika analisis tren menunjukkan hasil tidak signifikan secara statistik ($p > 0,05$), pendekatan alternatif berbasis Persentil 95 (P₉₅) digunakan sebagai dasar skenario curah hujan ekstrem. Metode ini merepresentasikan ambang batas curah hujan tertinggi dari 5% pengamatan historis tanpa bergantung pada asumsi tren linear.

Persentil 95 dihitung menggunakan interpolasi linear:

$$PosisiP_{95} = 0,95 \times (n - 1) + 1$$

Keterangan:

P= Persentil yang dicari dalam desimal (0,95 untuk P₉₅)

n= Jumlah data observasi

Jika posisi P₉₅ bukan merupakan bilangan bulat, maka nilai P₉₅ diperoleh melalui interpolasi linear:

$$P_{95} = X_{(k)} + p \times (X_{(k+1)} - X_{(k)})$$

Keterangan:

$X_{(k)}$ = Nilai data pada urutan ke-k (setelah diurutkan ascending)

$X_{(k+1)}$ = Nilai data pada urutan ke-(k+1)

p = Proporsi interpolasi (bagian desimal dari posisi P₉₅)

3.4 Analisis Kerentanan Bencana

Pemetaan kerentanan bencana dilakukan menggunakan metode weighted overlay di ArcGIS dengan tujuh parameter: curah hujan proyeksi, penggunaan lahan, jenis tanah, buffer sungai, elevasi, kemiringan lereng, dan kepadatan penduduk. Setiap parameter diklasifikasikan, diberi skor, dan dikalikan dengan bobot sesuai tingkat pengaruhnya terhadap masing-masing jenis bencana. Parameter dan pembobotan yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

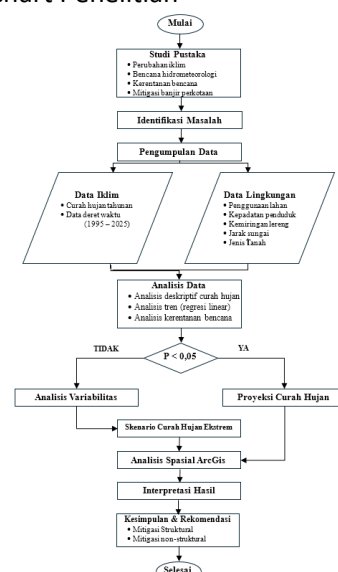
Tabel 1. Parameter dan Pembobotan

Parameter	Banjir	Longsor	Cuaca Ekstrem
Curah Hujan	25%	25%	40%
Penggunaan Lahan	15%	20%	20%
Jenis Tanah	5%	10%	-
Buffer Sungai	25%	-	-
Elevasi	25%	15%	15%
Kemiringan Lereng	5%	30%	-
Kepadatan Penduduk	-	-	25%

Bobot pada masing-masing parameter ditentukan berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap potensi terjadinya bencana. Parameter dengan pengaruh yang lebih besar diberikan bobot yang lebih tinggi sehingga memiliki kontribusi yang lebih dominan dalam proses analisis kerentanan. Perbedaan bobot antar jenis bencana disesuaikan dengan karakteristik dan faktor penyebab utama masing-masing bencana. Hasil pembobotan tersebut selanjutnya digunakan dalam proses overlay dan perhitungan indeks kerentanan untuk menghasilkan peta kerentanan banjir, longsor, dan cuaca ekstrem di wilayah penelitian [7].

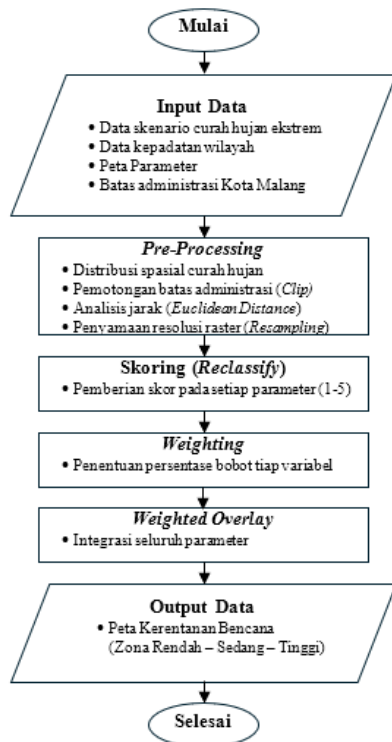
3.5 Tahapan Penelitian

1. Flowchart Penelitian



Gambar 2. Flowchart Penelitian

2. Flowchart Arcgis



Gambar 3. Flowchart ArcGIS

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Tren Curah Hujan

Analisis data curah hujan tahunan Kota Malang periode 1995–2024 dilakukan untuk memahami tren dan karakteristik variabilitas curah hujan. Seluruh hasil analisis deskriptif statistik, analisis regresi linear, uji signifikansi, dan analisis variabilitas iklim disajikan dalam tabel komprehensif berikut.

1. Analisis Statistik Deskriptif

Tabel 2. Hasil Analisis Statistik Deskriptif

Parameter Analisis	Nilai
Periode Pengamatan	1995-2024
Jumlah Data Observasi	30
Rata-rata Curah Hujan	2.266,46 mm
Curah Hujan Maksimum	3.772,27 mm
Curah Hujan Minimum	1.477,15 mm
Standar Deviasi	509,48
Rentang (Range)	2.295,12

Data curah hujan berkisar dari minimum hingga maksimum dengan rata-rata dan standar deviasi yang menunjukkan penyebaran dan variabilitas data dalam periode 30 tahun.

2. Analisis Regresi Linear

Tabel 3. Hasil Analisis Regresi Linear

Parameter Analisis	Nilai
Persamaan Regresi	$\hat{Y} = 2085,97 + 11,64X$
Koefisien Regresi	11,64
Konstanta	2.085,97

Model regresi linear menunjukkan hubungan antara waktu (X) dan curah hujan (Y), dengan koefisien regresi mengindikasikan arah dan kecepatan perubahan curah hujan.

3. Uji Signifikansi dan Variabilitas

Tabel 4. Hasil Uji Signifikansi dan Variabilitas

Parameter Analisis	Nilai
R Square (R^2)	0,0405
R (Koefisien Korelasi)	0,2012
F-hitung	1,1469
Significance F (P-value ANOVA)	0,293
α (Tingkat Kepercayaan)	0,05
Koefisien Variasi (KV)	22,48%

Uji signifikansi menggunakan Uji-F pada $\alpha = 0,05$. Jika p-value > 0,05, H_0 diterima berarti tren tidak signifikan. Koefisien Variasi mengklasifikasikan tingkat variabilitas iklim dengan KV > 20% menunjukkan variabilitas tinggi.

4. Skenario Curah Hujan Ekstrem (P95)

Tabel 5. Hasil Uji Signifikansi dan Variabilitas

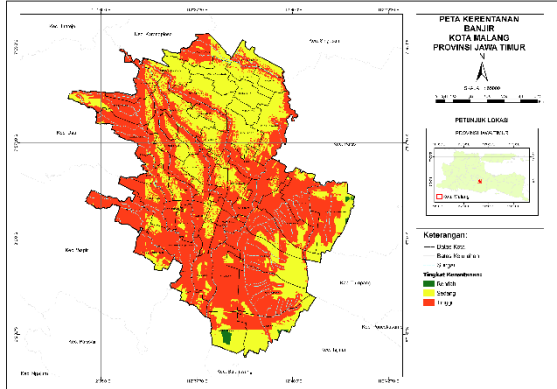
Parameter	Nilai
Persentil Target	95%
Jumlah Data	30
Posisi Persentil	28,55
Data Terurut Ke-28 (X_{28})	3.034,05 mm
Data Terurut Ke-29 (X_{29})	3.224,32 mm
Fraksi Interpolasi (d)	0,55
Persentil 95 (P95)	3.138,70 mm
Rata-rata Curah Hujan ($\bar{X}$)	2.266,46 mm
Selisih ($P_{95} - \text{Mean}$)	872,24 mm
Peningkatan Relatif	38,48%

Ambang batas curah hujan ekstrem (P95) di Kota Malang adalah 3.138,70 mm, merepresentasikan kondisi curah hujan tahunan yang hanya dilampaui oleh 5% dari total pengamatan historis periode 1995–2024. Peningkatan relatif sebesar 38,48% dibandingkan rata-rata historis menunjukkan intensitas signifikan curah hujan ekstrem terhadap kondisi normal.

Data observasi aktual tahun 2025 dari CHIRPS mencatat curah hujan tahunan sebesar 3.207,40 mm, melampaui nilai P95 sebesar 69 mm. Hasil validasi ini membuktikan bahwa kejadian curah hujan ekstrem di Kota Malang adalah nyata dan mengonfirmasi validitas penggunaan skenario P95 sebagai parameter konservatif berbasis pengalaman empiris. Skenario P95 dapat diandalkan untuk analisis kerentanan bencana dan perencanaan mitigasi.

4.2 Hasil Kerentanan Bencana Banjir

Hasil analisis spasial weighted overlay menunjukkan bahwa kerentanan banjir di Kota Malang didominasi oleh kategori tinggi.



Gambar 4. Peta Kerentanan Banjir

Tabel 6. Distribusi Kerentanan Banjir

Kategori	Luas (km ²)	Persentase (%)
Rendah	0,39	0,35
Sedang	40,13	36,27
Tinggi	70,11	63,38

Wilayah berkerentanan banjir tinggi terkonsentrasi di bagian tengah hingga selatan kota dengan karakteristik topografi cekungan dataran rendah, dominasi lahan terbangun, jenis tanah Eutric Fluvisols, serta kedekatan

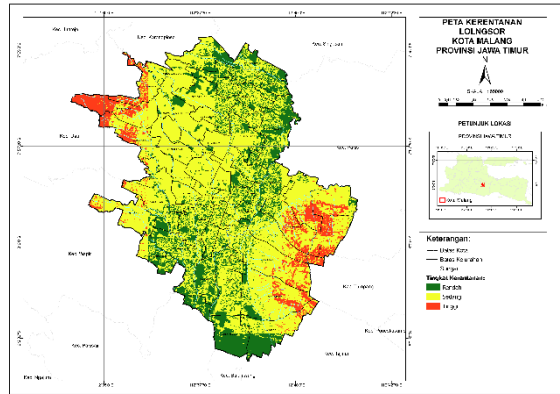
dengan aliran sungai. Kelurahan Wonokoyo, Bumiayu, dan Buring tercatat sebagai wilayah dengan luas kerentanan banjir tinggi terbesar.

4.3 Hasil Kerentanan Bencana Longsor

Berbeda dengan banjir, kerentanan longsor di Kota Malang didominasi oleh kategori sedang. Zona kerentanan longsor tinggi seluas 9,24 km² terkonsentrasi di bagian barat, timur, dan selatan kota pada lereng curam dengan jenis tanah Vertic Luvisols. Kelurahan Merjosari, Cemorokandang, dan Lesanpuro merupakan wilayah paling rentan terhadap longsor.

Tabel 7. Distribusi Kerentanan Longsor

Kategori	Luas (km ²)	Persentase (%)
Rendah	25,27	22,85
Sedang	76,11	68,80
Tinggi	9,24	8,36



Gambar 5. Peta Kerentanan Longsor

4.4 Hasil Kerentanan Cuaca Ekstrem

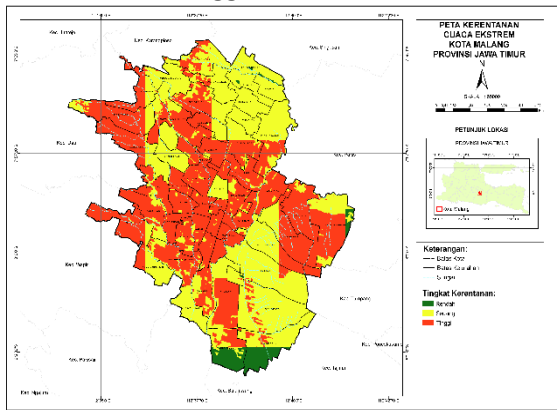
Kerentanan cuaca ekstrem di Kota Malang menunjukkan dominasi kategori tinggi yang tersebar luas di wilayah padat penduduk.

Tabel 8. Distribusi Kerentanan Cuaca Ekstrem

Kategori	Luas (km ²)	Persentase (%)
Rendah	3,17	2,86
Sedang	51,70	46,63
Tinggi	56,00	50,51

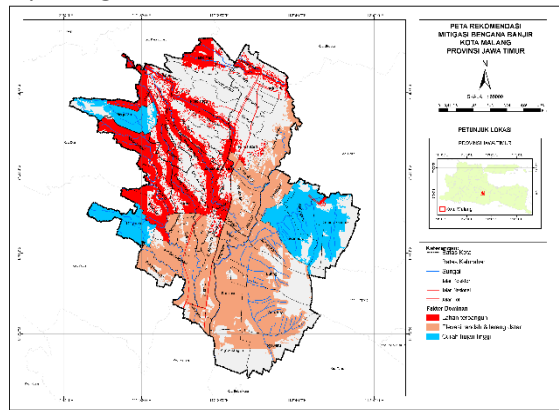
Wilayah berkerentanan cuaca ekstrem tinggi terkonsentrasi di bagian tengah hingga timur kota dengan kepadatan penduduk dan dominasi lahan terbangun yang tinggi.

Kelurahan Madyopuro, Cemorokandang, dan Lesanpuro menjadi wilayah dengan luas kerentanan tertinggi.



Gambar 6. Peta Kerentanan Cuaca Ekstrem

lereng datar, sedangkan faktor kedekatan sungai berpengaruh lebih lokal di sepanjang tepi sungai.



Gambar 7. Peta Rekomendasi Mitigasi Banjir

4.5 Rekapitulasi dan Strategi Mitigasi

Rekapitulasi kerentanan bencana disajikan pada tabel berikut.

Tabel 9. Rekapitulasi Kerentanan Bencana

Jenis Bencana	Kategori Dominan	Luas (km ²)	Persentase (%)
Banjir	Tinggi	70,11	63,38
Longsor	Tinggi	9,24	8,36
Cuaca Ekstrem	Tinggi	56,00	50,51

Berdasarkan hasil analisis kerentanan ketiga jenis bencana hidrometeorologi, strategi mitigasi dirumuskan melalui pendekatan struktural dan non-struktural sebagaimana disajikan pada Tabel 10, 11, dan 12.

Tabel 10. Rekomendasi Mitigasi Banjir

Kategori Mitigasi	Upaya Mitigasi
Struktural	Peningkatan kapasitas drainase, pembangunan sumur resapan, dan penambahan RTH
Non-Struktural	Sistem peringatan dini banjir, pengendalian alih fungsi lahan, dan edukasi kesiapsiagaan masyarakat

Sebaran spasial faktor dominan kerentanan banjir tinggi disajikan pada Gambar 7. Sebagian besar kelurahan kerentanan tinggi didominasi faktor lahan terbangun dan elevasi rendah-

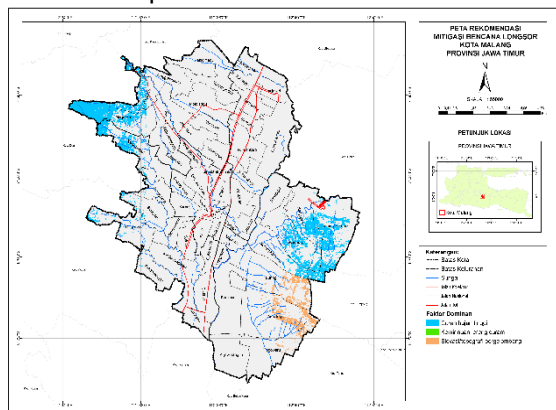
Pola ini mengindikasikan bahwa penurunan daya resap akibat dominasi lahan terbangun menjadi pemicu utama genangan di sebagian besar wilayah kota, sementara kelurahan dengan topografi rendah dan landai memerlukan penanganan tambahan berupa optimalisasi sistem pematusan dan pengendalian pemanfaatan ruang. Dengan demikian, prioritas mitigasi struktural sebaiknya diarahkan pada kelurahan yang didominasi faktor lahan terbangun, sedangkan mitigasi berbasis pengendalian tata ruang lebih relevan diterapkan pada kelurahan dengan dominasi elevasi rendah dan lereng datar.

Tabel 11. Rekomendasi Mitigasi Longsor

Kategori Mitigasi	Upaya Mitigasi
Struktural	Pembangunan drainase lereng, penguatan lereng dan penanaman vegetasi, serta pembuatan dinding penahan tanah
Non-Struktural	Sistem pemantauan dan peringatan longsor, pembatasan pembangunan pada lereng curam, dan penataan tata ruang wilayah rawan longsor

Sebaran spasial faktor dominan kerentanan longsor tinggi disajikan pada Gambar 8. Faktor dominan bervariasi antar kelurahan, meliputi curah hujan tinggi, kemiringan lereng curam, dan elevasi/topografi

bergelombang, sehingga mitigasi perlu disesuaikan per lokasi.



Gambar 8. Peta Rekomendasi Mitigasi Longsor

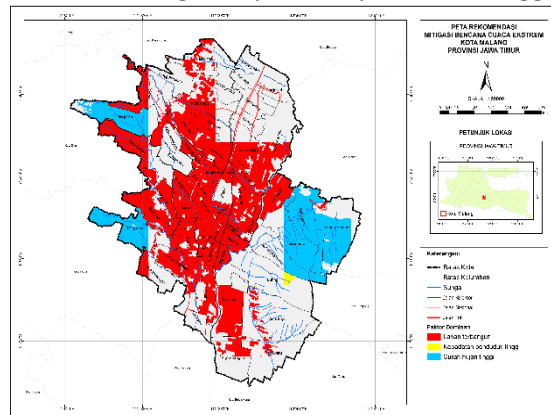
Variasi ini mencerminkan karakteristik topografi Kota Malang yang tidak seragam, di mana kelurahan pada kawasan perbukitan cenderung didominasi faktor kemiringan lereng, sementara kelurahan dengan topografi bergelombang lebih dipengaruhi oleh kondisi elevasi. Kondisi tersebut menegaskan pentingnya penerapan mitigasi struktural yang diprioritaskan sesuai faktor dominan masing-masing kelurahan.

Tabel 12. Rekomendasi Mitigasi Cuaca Ekstrem

Kategori Mitigasi	Upaya Mitigasi
Struktural	Peningkatan kualitas drainase perkotaan, penambahan ruang terbuka hijau dan penghijauan kawasan, serta peningkatan kualitas infrastruktur perkotaan
Non-Struktural	Sistem peringatan dini cuaca ekstrem, pengendalian penggunaan lahan perkotaan, dan edukasi kesiapsiagaan masyarakat serta penyebaran informasi cuaca

Sebaran spasial faktor dominan kerentanan cuaca ekstrem tinggi disajikan pada Gambar 9. Kelurahan kerentanan tinggi didominasi faktor lahan terbangun dan kepadatan penduduk, sejalan dengan karakteristik kawasan perkotaan padat di Kota Malang. Dominasi kedua faktor ini menunjukkan bahwa risiko dampak cuaca ekstrem meningkat seiring bertambahnya intensitas aktivitas dan

kepadatan bangunan, sehingga penanganannya perlu dikombinasikan dengan penguatan kesiapsiagaan masyarakat, khususnya pada kelurahan dengan kepadatan penduduk tinggi.



Gambar 9. Peta Rekomendasi Mitigasi Cuaca Ekstrem

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil analisis tren curah hujan historis periode 1995–2024 menghasilkan persamaan regresi $Y = 2085,97 + 11,64X$ yang menunjukkan kecenderungan peningkatan 11,64 mm/tahun, meskipun tidak signifikan secara statistik ($P = 0,286$, $R^2 = 4,05\%$). Koefisien Variasi sebesar 22,48% mengindikasikan variabilitas iklim moderat-tinggi, dengan data riil 2025 (3.207,40 mm) yang berada di atas rata-rata historis 2.266,46 mm. Proyeksi curah hujan 2025–2029 berada pada rentang 2.446,95–2.493,52 mm/tahun.

Hasil pemetaan kerentanan bencana menunjukkan bahwa kerentanan banjir didominasi kategori tinggi seluas 70,11 km² (63,38%); kerentanan longsor didominasi kategori sedang seluas 76,11 km² (68,80%) dengan zona tinggi seluas 9,24 km² (8,36%); dan kerentanan cuaca ekstrem berada pada kategori tinggi seluas 56,00 km² (50,51%). Strategi mitigasi yang direkomendasikan mencakup pendekatan struktural dan non-struktural secara terpadu.

5.2 Saran

Hasil pemetaan kerentanan bencana ini diharapkan dapat dijadikan acuan oleh pihak-pihak terkait dalam penyusunan kebijakan tata ruang dan penetapan kawasan rawan bencana di Kota Malang. Proses permohonan data curah

hujan observasi dari stasiun pengukuran resmi sebaiknya dilakukan jauh-jauh hari sebelum penelitian dimulai mengingat proses administrasinya dapat memakan waktu yang cukup lama. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan model proyeksi iklim yang lebih kompleks berbasis GCM/RCM serta menggabungkan data CHIRPS dengan data observasi stasiun lokal guna meningkatkan akurasi hasil analisis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Rahmawati and A. Rokhmawati, "Insitu Permeability Constand Head Untuk Menentukan Daya Resap Air Dan Sumur Resapan Di Desa Sukolilo Kecamatan Jabung Kabupaten Malang," *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 78–83, Sep. 2023.
- [2] A. Rahmawati, A. Damayanti, and E. S. Soedjono, "Evaluasi Sistem Drainase Terhadap Penanggulangan Genangan di Kota Sidoarjo, Brantas Catchment Area," in *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW), Surabaya, 11 Juni 2015*, Surabaya: Institut Teknologi Surabaya, Jun. 2015, pp. 4–6.
- [3] IPCC, *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. Geneva, Switzerland: Cambridge University Press, 2021.
- [4] CHIRPS, "CHIRPS: Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations | Climate Hazards Center - UC Santa Barbara." Accessed: Jun. 18, 2026. [Online].
- [5] UNDRR, "Mitigation," Accessed: Feb. 06, 2026.
- [6] R. Ramadhan, "Pemetaan Rawan Bencana Longsor Menggunakan Metode Skoring Dan Pembobotan Di Kabupaten Lebak Provinsi Banten," Bandung, 2024.
- [7] R. S. Triananda, "Studi Pemetaan Daerah Rawan Banjir Dengan Metode Skoring Dan Pembobotan Di Kelurahan Besar Dan Kelurahan Tangkahan, Medan Labuhan," Medan, Dec. 2021.