

ANALISIS KERUSAKAN LINGKUNGAN AKIBAT BENCANA LONGSOR PADA KECAMATAN SUKAPURA, KABUPATEN PROBOLINGGO

Guntur Imam Saputro¹, Anita Rahmawati², Gilang Ramadan K.³

¹Mahasiswa, Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang
e-mail : gunturkabpro@gmail.com

²Dosen, Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang
e-mail : anita.rahmawati@unisma.ac.id

³Dosen, Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang
e-mail : gilangft@unisma.ac.id

ABSTRACT

Landslides are a frequent natural disaster in Indonesia, particularly in mountainous areas with steep slopes and high rainfall. Sukapura District, situated at the foot of Mount Bromo, is highly susceptible to landslides due to its topography, geology, and changing land use. This study analyzes landslide susceptibility and mitigation strategies using GIS, AHP, and Weighted Overlay methods. The results indicate that slope gradient, rainfall intensity, soil type, rock type, and land use are the primary factors influencing landslide risk. The study identifies high-risk zones (55.37% of the area) and moderate-risk zones (44.63%), recommending structural mitigation (terracing, gabions, drainage systems) and non-structural mitigation (spatial planning, community education, and early warning systems). These findings provide a basis for risk-based disaster mitigation planning.

Keywords : landslide, susceptibility, AHP, GIS, mitigation

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tanah longsor merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia, terutama di daerah dengan topografi curam dan curah hujan tinggi. Dampaknya tidak hanya mengancam keselamatan jiwa, tetapi juga menyebabkan kerusakan lingkungan, infrastruktur, serta gangguan terhadap aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat. Kecamatan Sukapura, Kabupaten Probolinggo, merupakan salah satu wilayah dengan tingkat kerawanan longsor tinggi karena berada di kaki Gunung Bromo, dengan ketinggian antara 650 hingga 2.329 meter di atas permukaan laut dan kemiringan lereng mencapai lebih dari 30 derajat di beberapa titik.

Faktor utama yang mempengaruhi kerawanan longsor di wilayah ini meliputi kemiringan lereng, curah hujan tinggi, jenis tanah, jenis batuan, dan perubahan penggunaan lahan. Data dari tahun 2018 hingga

2024 menunjukkan adanya penurunan luas hutan dari 54,04 km² menjadi 44,26 km², sementara luas permukiman meningkat dari 7,64 km² menjadi 16,69 km². Perubahan ini mencerminkan tekanan pembangunan yang tidak diimbangi dengan pengelolaan lingkungan yang memadai, sehingga berdampak pada kestabilan lereng dan meningkatkan risiko longsor.

Jenis tanah di Kecamatan Sukapura didominasi oleh Andosol dan Latosol kecoklatan, yang memiliki karakteristik gembur dan mudah jenuh air, sehingga rentan terhadap pelongsoran. Selain itu, batuan penyusun wilayah ini sebagian besar adalah batuan vulkanik muda, yang bersifat rapuh dan mudah terurai. Kombinasi antara jenis tanah dan batuan ini menjadi faktor geologi penting yang memengaruhi tingkat kerentanan terhadap longsor. Berdasarkan data dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Probolinggo, terdapat 49 kejadian

tanah longsor di Kecamatan Sukapura dalam kurun waktu 2018–2024, dengan Desa Wonokerto dan Sapikerep sebagai wilayah yang paling sering terdampak. Hingga saat ini, belum tersedia peta rawan longsor yang spesifik untuk wilayah tersebut, sehingga upaya mitigasi belum dapat dilakukan secara tepat dan terarah.

Dengan mempertimbangkan kondisi topografi, geologi, serta perkembangan penggunaan lahan, maka penting dilakukan analisis kerawanan longsor dan strategi mitigasi di Kecamatan Sukapura. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor penyebab longsor, menyusun peta zonasi kerawanan, serta merumuskan strategi mitigasi berbasis data spasial. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pemerintah daerah dan masyarakat dalam perencanaan mitigasi berbasis risiko, serta menjadi referensi bagi penelitian lanjutan terkait analisis spasial dan kebijakan mitigasi bencana longsor.

1.2. Identifikasi Masalah

1. Risiko bencana longsor akibat kemiringan lereng yang curam serta curah hujan tinggi.
2. Terjadinya penurunan luas hutan serta meningkatnya luas permukiman yang dapat mempercepat longsor.
3. Belum adanya peta rawan longsor pada Kecamatan Sukapura, Kabupaten Probolinggo.

1.3. Rumusan Masalah

1. Faktor apakah yang paling berpengaruh terhadap kerawanan longsor di Kecamatan Sukapura, Kabupaten Probolinggo?
2. Bagaimana peta rawan longsor di Kecamatan Sukapura, Kabupaten Probolinggo?
3. Bagaimana upaya mitigasi yang dapat dilakukan untuk mengurangi risiko bencana longsor di Kecamatan Sukapura?

1.4. Batasan Masalah

1. Menganalisis faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap tingkat kerawanan longsor di Kecamatan Sukapura,

Kabupaten Probolinggo.

2. Menyusun peta rawan longsor di Kecamatan Sukapura sebagai dasar dalam perencanaan mitigasi bencana.
3. Mengidentifikasi dan merekomendasikan upaya mitigasi yang dapat dilakukan untuk mengurangi risiko bencana longsor di Kecamatan Sukapura.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Tanah Longsor

Tanah longsor merupakan peristiwa pergerakan massa tanah atau batuan yang terjadi akibat ketidakstabilan lereng. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana[1], tanah longsor dapat disebabkan oleh faktor alam seperti curah hujan tinggi, gempa bumi, dan erosi, serta faktor antropogenik seperti perubahan penggunaan lahan dan aktivitas konstruksi yang tidak memperhatikan aspek geologi. Liu et al. (2021) menyebutkan bahwa tanah longsor sering terjadi di daerah dengan kemiringan lereng curam dan tanah yang memiliki porositas tinggi, terutama saat terjadi hujan dengan intensitas tinggi[2].

2.2. Faktor-Faktor Penyebab Tanah Longsor

Beberapa faktor utama yang mempengaruhi kejadian tanah longsor di suatu wilayah meliputi:

- a. Kemiringan Lereng → Semakin curam lereng, semakin besar gaya gravitasi yang bekerja, meningkatkan risiko pergerakan tanah[3].
- b. Curah Hujan → Hujan dengan intensitas tinggi dapat menyebabkan tanah jenuh air, mengurangi kekuatan geser tanah, dan meningkatkan tekanan pori.
- c. Jenis Tanah → Tanah Andosol yang gembur dan mudah jenuh air memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap longsor[4].
- d. Jenis Batuan → Batuan vulkanik muda yang rapuh dan mudah terfragmentasi mempercepat proses pelongsoran[4].
- e. Penggunaan Lahan → Deforestasi dan alih fungsi lahan dari hutan menjadi permukiman atau pertanian tanpa konservasi meningkatkan risiko longsor[5].

2.3. Pemetaan Kerawanan Longsor dengan GIS dan AHP

Sistem Informasi Geografis (GIS) telah banyak digunakan dalam pemetaan kerawanan longsor karena mampu mengintegrasikan berbagai parameter spasial. Madani (2023) menunjukkan bahwa metode Weighted Overlay dalam GIS dapat digunakan untuk mengidentifikasi zona rawan longsor berdasarkan faktor kemiringan lereng, curah hujan, jenis tanah, jenis batuan, dan penggunaan lahan[3].

Selain GIS, metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) digunakan untuk menentukan bobot masing-masing faktor dalam analisis kerawanan longsor. Ahmad Amri Nur (2024) menerapkan AHP dalam pemetaan kerawanan longsor di Kabupaten Purbalingga dan menemukan bahwa curah hujan dan kemiringan lereng memiliki bobot tertinggi dalam menentukan tingkat risiko longsor[6].

2.4. Strategi Mitigasi Bencana Longsor

Mitigasi bencana longsor dapat dilakukan melalui pendekatan struktural dan non-struktural:

- Mitigasi Struktural → Pembangunan terasering, bronjong, sabo dam, drainase lereng, dan penanaman vegetasi berakar kuat untuk meningkatkan stabilitas tanah[5].
- Mitigasi Non-Struktural → Integrasi peta rawan longsor ke dalam RTRW, edukasi masyarakat, relokasi pemukiman di zona merah, serta sistem peringatan dini berbasis komunitas[1].

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

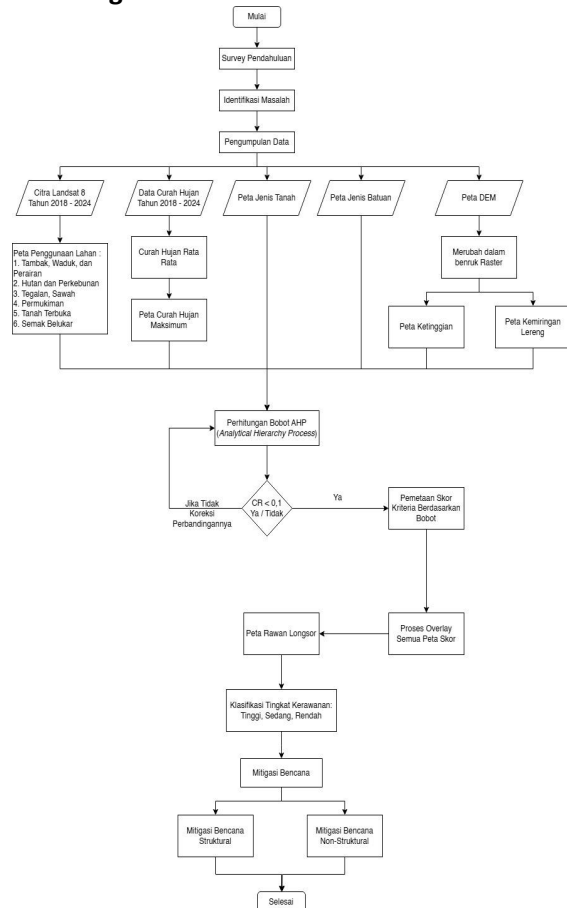


Gambar 1. Lokasi Penelitian

Sumber : Bapelitbangda Kabupaten Probolinggo

Penelitian ini berada pada Kecamatan Sukapura adalah salah satu kecamatan di Kabupaten Probolinggo yang terletak di ujung barat daya. Kecamatan Sukapura memiliki luas 113,273 km².

3.2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Sumber: Penulis, 2025

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Kecamatan Sukapura

Kecamatan Sukapura terletak di Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur, dengan luas 113,273 Km² dan berada di kaki Gunung Bromo. Wilayah ini memiliki topografi berbukit dengan kemiringan lereng mencapai lebih dari 45%, serta curah hujan tahunan yang tinggi, berkisar antara 500–700 mm, dengan puncak hujan lebih dari 300 mm per bulan. Kondisi ini menjadikan Kecamatan Sukapura sebagai salah satu daerah dengan tingkat kerawanan longsor tinggi.

Berdasarkan data penggunaan lahan dari tahun 2018 hingga 2024, terjadi penurunan luas

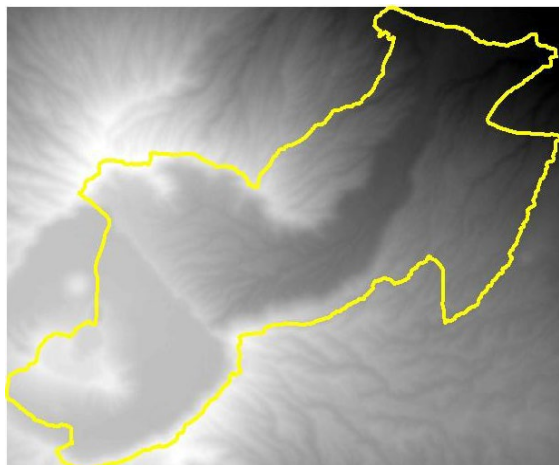
hutan dari 54,04 Km² menjadi 44,26 Km², sementara luas permukiman meningkat dari 7,64 Km² menjadi 16,69 Km². Perubahan ini menunjukkan adanya tekanan pembangunan yang tidak diimbangi dengan pengelolaan lingkungan yang memadai, sehingga berdampak pada kestabilan lereng dan meningkatkan risiko longsor.

4.2. Kemiringan Lereng

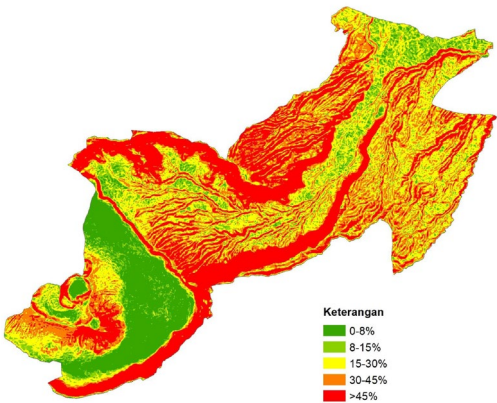
Analisis data *Digital Elevation Model* (DEM) menghasilkan lima kelas kemiringan, mulai dari 0–8% hingga lebih dari 45%. Wilayah dengan kemiringan >45% mendominasi area seluas 32,701 km² atau 28,88% dari total wilayah Kecamatan Sukapura. Kemiringan lereng tinggi menjadi faktor signifikan dalam meningkatkan risiko tanah longsor, terutama di wilayah tanpa sistem konservasi lahan yang memadai.. Klasifikasi Kemiringan Lereng berdasarkan PERMEN PU No. 22/2007.

Tabel 1. Parameter Kemiringan Lereng dan Skor Lereng berdasarkan PERMEN PU No. 22/2007

No.	Kelas	Tingkat Kemiringan Lereng	Skor
1.	Datar	0-8%	1
2.	Landai	8-15%	2
3.	Agak Curam	15-30%	3
4.	Curam	30-45%	4
5.	Sangat Curam	>45%	5



Gambar 3. DEM Kecamatan Sukapura
Sumber: Badan Informasi Geospasial



Gambar 4. Hasil Olahan ArcGis Kemiringan Lereng Kecamatan Sukapura

Tabel 2. Luasan Kemiringan Lereng Kecamatan Sukapura

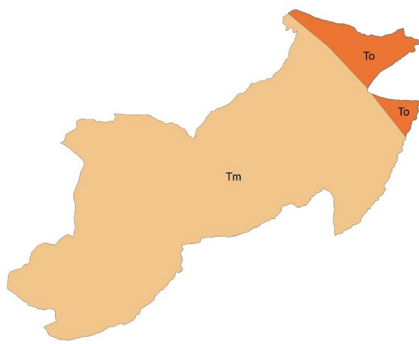
No	Kemiringan	Luasan
1.	0-8%	14,564 Km ²
2.	8-15%	10,969 Km ²
3.	15-30%	29,138 Km ²
4.	30-45%	25,901 Km ²
5.	>45%	32,701 Km ²
Total Luasan		113,273 Km ²

4.3. Jenis Tanah

Jenis tanah dominan di Kecamatan Sukapura adalah Andosol dengan luas 91,143 km² (80,47%), yang bersifat gembur dan mudah jenuh air. Jenis tanah lainnya adalah Latosol kecoklatan (22,130 km² atau 19,53%) yang relatif lebih stabil. Berdasarkan klasifikasi PERMEN PU No. 22/2007, jenis tanah Andosol termasuk dalam kategori berisiko tinggi terhadap longsor. Klasifikasi Jenis Tanah berdasarkan PERMEN PU No. 22/2007.

Tabel 3. Parameter Jenis Tanah dan Skor berdasarkan PERMEN PU No. 22/2007

No.	Jenis tanah	Skor
1.	Aluvial	1
2.	Asosiasi latosol coklat kekuningan	2
3.	Latosol Coklat	3
4.	Andosol, podsolik	4
5.	Regosol	5



Gambar 5. Hasil Olahan ArcGis Jenis Tanah Kecamatan Sukapura

Tabel 4. Luasan Jenis Tanah Kecamatan Sukapura

No	Jenis Tanah	Luasan
1.	Andosol	91,143 Km ²
2.	Latosol Kecoklatan	22,130 Km ²
Total Luasan		113,273 Km ²

4.4. Jenis Batuan

Sebagian besar wilayah Kecamatan Sukapura terdiri dari batuan vulkanik (89,321 km² atau 78,84%) yang cenderung rapuh dan mudah tererosi, terutama saat terjadi hujan deras. Batuan sedimen dan aluvial masing-masing mencakup 20,635 km² dan 3,317 km². Klasifikasi Jenis Batuan berdasarkan PERMEN PU No. 22/2007.

Tabel 5. Parameter Jenis Batuan dan Skor berdasarkan PERMEN PU No. 22/2007

No.	Jenis Batuan	Skor
1.	Batuan aluvial	1
2.	Batuan sedimen	2
3.	Batuan vulkanik	3



Gambar 6. Hasil Olahan ArcGis Jenis Batuan Kecamatan Sukapura

Tabel 6. Luasan Jenis Batuan Kecamatan Sukapura

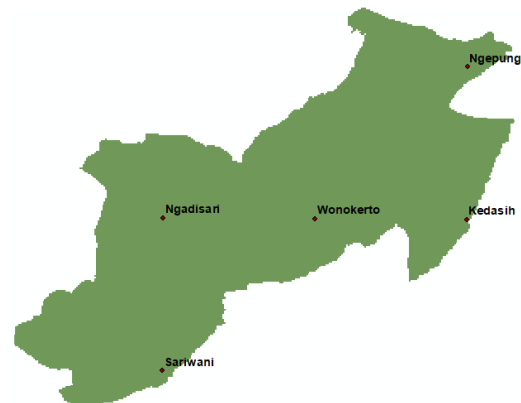
No	Jenis Batuan	Luasan
1.	Batuan aluvial	3,317 Km ²
2.	Batuan sedimen	20,635 Km ²
3.	Batuan vulkanik	89,321 Km ²
Total Luasan		113,273 Km ²

4.5. Curah Hujan

Curah Hujan Data dari lima stasiun hujan menunjukkan curah hujan tahunan melebihi 2.000 mm, dengan puncaknya mencapai 596,76 mm pada Februari 2017. Curah hujan tinggi secara langsung mempercepat kejenuhan tanah, meningkatkan potensi longsor. Klasifikasi Curah Hujan berdasarkan PERMEN PU No. 22/2007.

Tabel 7. Parameter Curah Hujan dan Skor berdasarkan PERMEN PU No. 22/2007

No.	Curah Hujan Rata-Rata	Skor
1.	0-50 mm	1
2.	51-150 mm	2
3.	151-300 mm	3



Gambar 7. Hasil Olahan ArcGis Curah Hujan Kecamatan Sukapura

Tabel 8. Luasan Jenis Batuan Kecamatan Sukapura

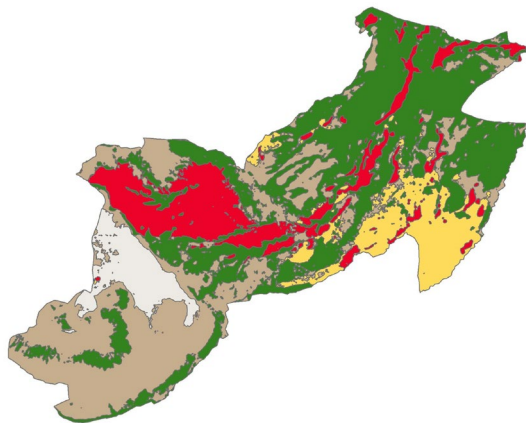
No	Curah Hujan Rata-Rata	Luasan
1.	151-300 mm	113,273 Km ²
Total Luasan		113,273 Km ²

4.6. Penggunaan Lahan

Terdapat penurunan luas hutan dan perkebunan dari 54,042 km² (2018) menjadi 44,258 km² (2024), seiring meningkatnya area permukiman dari 7,643 km² menjadi 16,689 km². Konversi hutan menjadi lahan terbangun meningkatkan risiko longsor karena hilangnya vegetasi penyangga. Klasifikasi penutupan lahan berdasarkan PERMEN PU No. 22/2007.

Tabel 9. Parameter Tutupan Lahan dan Skor berdasarkan PERMEN PU No. 22/2007

No.	Jenis Penggunaan Lahan	Skor
1.	Tambak, Waduk, dan Perairan	1
2.	Hutan dan Perkebunan	2
3.	Tegalan, Sawah	3
4.	Permukiman	4
5.	Tanah Terbuka	5
6.	Semak Belukar	5



Gambar 8. Hasil Olahan ArcGis Penggunaan Lahan Kecamatan Sukapura

Tabel 10. Luasan Penggunaan Lahan Kecamatan Sukapura

No	Penggunaan Lahan	Luasan
1.	Tambak, Waduk, dan Perairan	0,008 Km ²
2.	Hutan dan Perkebunan	44,258 Km ²
3.	Tegalan, Sawah	10,974 Km ²
4.	Permukiman	16,689 Km ²
5.	Tanah Terbuka	6,503 Km ²
6.	Semak Belukar	34,840 Km ²
Total Luasan		113,273 Km ²

4.7. Analisa Pembobotan *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

Berdasarkan metode AHP, bobot tertinggi diberikan pada curah hujan (30%), diikuti oleh kemiringan lereng dan tutupan lahan (masing-masing 25%), jenis tanah (10%), dan jenis batuan (10%). Pengujian konsistensi menunjukkan nilai CI sebesar 0,093, menunjukkan konsistensi yang dapat diterima. Bobot tersebut digunakan dalam analisis weighted overlay untuk menyusun zonasi kerawanan longsor.

Tabel 11. Skala Perbandingan

Skala	Penjelasan
1	Kedua faktor sama penting
3	Faktor satu sedikit lebih penting daripada faktor lainnya
5	Faktor satu lebih penting daripada faktor lainnya
7	Faktor satu sangat lebih penting daripada faktor lainnya
9	Faktor satu mutlak lebih penting daripada faktor lainnya
2, 4, 6, 8	Nilai di antara dua skala di atas

Tabel 12. Matriks Perbandingan Berpasangan

Faktor	Curah Hujan	Penggunaan Lahan	Kemiringan Lereng	Jenis Tanah	Jenis Batuan
Curah Hujan	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Penggunaan Lahan	0,50	1,00	2,00	2,00	3,00
Kemiringan Lereng	0,50	0,50	1,00	3,00	3,00
Jenis Tanah	0,50	0,50	0,33	1,00	2,00
Jenis Batuan	0,50	0,33	0,33	0,50	1,00
Total	3,00	4,33	5,66	8,50	11,00

Tabel 13. Nilai Rata-Rata Bobot

Faktor	Curah Hujan	Penggunaan Lahan	Kemiringan Lereng	Jenis Tanah	Jenis Batuan	Jumlah	Rata-rata bobot
Curah Hujan	0,333	0,444	0,343	0,267	0,182	1,569	0,314
Penggunaan Lahan	0,167	0,222	0,343	0,267	0,273	1,271	0,254
Kemiringan Lereng	0,167	0,111	0,172	0,400	0,273	1,122	0,224
Jenis Tanah	0,167	0,111	0,057	0,133	0,182	0,650	0,130
Jenis Batuan	0,167	0,074	0,057	0,067	0,091	0,455	0,091

Pengujian Konsistensi dengan rumus :

$$CI = \frac{\alpha_{max} - n}{n - 1}$$

Dimana : **CI** = Konsistensi Indeks
 α_{max} = rata-rata dari hasil perkalian matriks awal dengan bobot prioritas
n = jumlah faktor

$$\begin{aligned}\alpha_{max} &= (3,00 \times 0,319) + (4,33 \times 0,254) + (5,66 \times 0,224) + (8,50 \times 0,130) + (11,00 \times 0,091) \\ &= 0,942 + 1,101 + 1,270 + 1,105 + 1,001 \\ &= 5,419\end{aligned}$$

Tabel 14. Random Indeks

n	1	2	3	4	5
RI	0	0	0,58	0,90	1,12

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$$CR = \frac{0,105}{1,12} = 0,093$$

Bobot yang diperoleh dari metode AHP akan digunakan dalam analisis weighted overlay untuk memetakan tingkat kerawanan longsor di Kecamatan Sukapura dengan formula berikut:

$$AHP = 0,3 \cdot FCH + 0,25 \cdot FPL + 0,25 \cdot FKL + 0,1 \cdot FJB + 0,1 \cdot FJT$$

Dimana : FCH = faktor curah hujan

FPL = faktor penutupan lahan

FKL = faktor kemiringan lereng

FJB = faktor jenis batuan

FJT = factor jenis tanah

4.8. Analisa *weighted overlay*

Weighted overlay digunakan dalam analisis spasial untuk menggabungkan berbagai faktor yang mempengaruhi tanah longsor. Prosesnya melibatkan tumpang susun peta faktor-faktor utama dengan bobot yang telah ditentukan menggunakan *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

Tabel 14. Skoring AHP Parameter Curah Hujan

Curah Hujan Rata-Rata	Skor	AHP	Jumlah
151-300 mm	3	0,3	0,9

Tabel 15. Skoring AHP Parameter Penutupan Lahan

Penggunaan Lahan	Skor	AHP	Jumlah
Tambak, Waduk, dan Perairan	1	0,25	0,25
Hutan dan Perkebunan	2	0,25	0,50
Tegalan, Sawah	3	0,25	0,75
Permukiman	4	0,25	1,00
Tanah Terbuka	5	0,25	1,25
Semak Belukar	5	0,25	1,25

Tabel 16. Skoring AHP Parameter Kemiringan Lereng

Kemiringan Lereng	Skor	AHP	Jumlah
0-8%	1	0,25	0,25
8-15%	2	0,25	0,50
15-30%	3	0,25	0,75
30-45%	4	0,25	1,00
>45%	5	0,25	1,25

Tabel 17. Skoring AHP Parameter Jenis Batuan

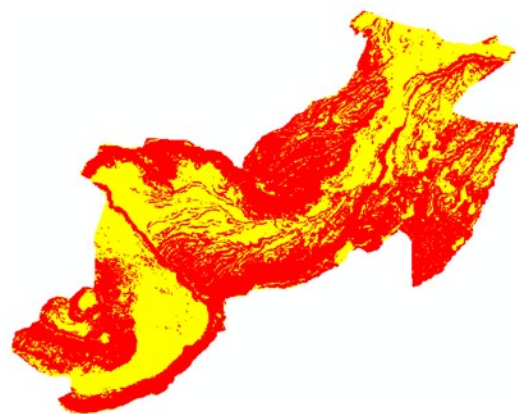
Jenis Batuan	Skor	AHP	Jumlah
Batuan aluvial	1	0,10	0,10
Batuan sedimen	2	0,10	0,20
Batuan vulkanik	3	0,10	0,30

Tabel 18. Skoring AHP Jenis Tanah

Jenis tanah	Skor	AHP	Jumlah
Latosol Coklat	3	0,10	0,30
Andosol, podsolik	4	0,10	0,40

Tabel 19. Klasifikasi Tingkat Bahaya Tanah Longsor

No.	Tingkat Kerawanan	Skor Nilai
1.	Tinggi	3,21 - 4,20
2.	Sedang	2,11 - 3,20
3.	Rendah	1,00 - 2,10

**Gambar 9.** Hasil Olahan ArcGis Rawan Longsor Kecamatan Sukapura

Berdasarkan analisis menggunakan GIS, Weighted Overlay, dan AHP, Kecamatan Sukapura terbagi menjadi dua zona utama:

- Zona Kerawanan Sedang (44,63% dari total

wilayah / 50,552 km²). Desa dengan risiko sedang: Ngadisari, Kedasih, Pakel, Sukapura, Ngepung. Faktor dominan: Kemiringan 15-30%, curah hujan sedang, dan tutupan lahan berupa semak belukar serta lahan pertanian tanpa konservasi.

- b. Zona Kerawanan Tinggi (55,37% dari total wilayah / 62,671 km²). Desa dengan risiko tertinggi: Sariwani, Ngadirejo, Sapikerep, Wonokerto. Faktor dominan: Kemiringan >45%, curah hujan tinggi, jenis tanah Andosol, dan penggunaan lahan yang tidak stabil.

Hasil pemetaan menunjukkan bahwa desa Sariwani memiliki tingkat kerawanan longsor tertinggi, dengan luas zona rawan mencapai 13,433 km².

4.9. Upaya Mitigasi

Upaya mitigasi yang dapat diterapkan untuk mengurangi risiko longsor di Kecamatan Sukapura hasil pemetaan kerawanan serta acuan dari Dokumen KRB Kabupaten Probolinggo dan Provinsi Jawa Timur.

- a. Zona Kerawanan Sedang, diutamakan pendekatan non-struktural seperti edukasi masyarakat, penataan ruang, vegetasi konservasi, dan pengembangan sistem peringatan dini.
- b. Zona Kerawanan Tinggi, direkomendasikan tindakan struktural seperti pembangunan sabo dam, bronjong, drainase lereng, serta relokasi penduduk dari tebing curam.

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang dilakukan terhadap bencana longsor di Kecamatan Sukapura, Kabupaten Probolinggo, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Faktor paling berpengaruh terhadap kerawanan longsor hasil analisis dipengaruhi oleh lima faktor utama, yaitu:
 - a. Kemiringan Lereng, dimana wilayah dengan kemiringan lebih dari 45% memiliki risiko longsor tinggi karena gaya gravitasi yang mempercepat pergerakan tanah.
 - b. Curah Hujan, dimana curah hujan tahunan mencapai 500–700 mm,

dengan intensitas tertinggi terjadi pada bulan Februari dan Juli, menyebabkan tanah jenuh air dan meningkatkan tekanan pori.

- c. Jenis Tanah, Kecamatan Sukapura didominasi tanah Andosol (80,46% dari total wilayah) yang gembur dan mudah jenuh air memperbesar potensi longsor.
 - d. Jenis Batuan, Kecamatan Sukapura 78,85% wilayah terdiri dari batuan vulkanik, yang bersifat rapuh dan mudah terfragmentasi, mempercepat proses pelongsoran.
 - e. Penggunaan Lahan, dimana penurunan luas hutan dari 54,04 km² (2018) menjadi 44,26 km² (2024) serta peningkatan luas permukiman dari 7,64 km² menjadi 16,69 km² meningkatkan kerentanan terhadap longsor.
2. Berdasarkan metode Weighted Overlay dan AHP, Kecamatan Sukapura terbagi ke dalam dua zona utama:
 - a. Zona Kerawanan Sedang (44,63% dari total wilayah / 50,552 km²). Desa dengan risiko sedang: Ngadisari, Kedasih, Pakel, Sukapura, Ngepung. Faktor dominan: Kemiringan 15-30%, curah hujan sedang, dan tutupan lahan berupa semak belukar serta lahan pertanian tanpa konservasi.
 - b. Zona Kerawanan Tinggi (55,37% dari total wilayah / 62,671 km²). Desa dengan risiko tertinggi: Sariwani, Ngadirejo, Sapikerep, Wonokerto. Faktor dominan: Kemiringan >45%, curah hujan tinggi, jenis tanah Andosol, dan penggunaan lahan yang tidak stabil.

3. Upaya mitigasi yang dapat diterapkan untuk mengurangi risiko longsor di Kecamatan Sukapura meliputi:

- a. Mitigasi Struktural (Teknis dan Infrastruktur):
 - Pembangunan Terasering yang berfungsi untuk mengurangi kemiringan lereng dan memperlambat aliran air permukaan.

- Pembuatan Bronjong dan Sabo Dam yang berfungsi untuk menahan material longsor dan mengurangi erosi lereng.
 - Drainase Lereng yang berfungsi untuk mengurangi tekanan air pori dan mencegah kejenuhan tanah.
 - Penanaman Vegetasi Berakar Kuat, seperti Vetiver, bambu, dan pohon keras untuk meningkatkan stabilitas tanah.
- b. Mitigasi Non-Struktural (Kebijakan dan Sosialisasi):
- Integrasi Peta Rawan Longsor ke dalam RTRW dengan cara menghindari pembangunan di zona merah longsor.
 - Relokasi Pemukiman di Zona Rawan Tinggi yang berfungsi untuk mengurangi risiko korban jiwa akibat longsor.
 - Sistem Peringatan Dini Berbasis Masyarakat dengan cara pemantauan retakan tanah dan tanda-tanda awal longsor.
 - Edukasi dan Sosialisasi dengan cara masyarakat diberi pemahaman tentang larangan membangun di bawah tebing dan pentingnya konservasi lahan.

5.2. Saran

1. Bagi Pemerintah Daerah: Diharapkan dapat segera menyusun dan mengimplementasikan kebijakan tata ruang berbasis risiko bencana serta menyediakan peta rawan longsor yang lebih terperinci untuk digunakan dalam perencanaan pembangunan dan mitigasi.
2. Bagi Masyarakat: Perlu ditingkatkan kesadaran akan bahaya longsor melalui edukasi dan pelatihan rutin. Masyarakat juga diimbau untuk tidak melakukan aktivitas pembangunan atau pertanian

intensif di lereng curam tanpa sistem konservasi.

3. Bagi Peneliti Selanjutnya: Diharapkan dapat memperluas cakupan analisis dengan mempertimbangkan faktor sosial ekonomi dan kepadatan penduduk sebagai bagian dari kajian risiko bencana, serta memanfaatkan citra resolusi tinggi untuk klasifikasi yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. W. Adi, Y. Bagaskoro, A. S. Putra, dan O. Shalih, *Indeks Risiko Bencana Indonesia Tahun 2023*, vol. 02. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2024.
- [2] Y. Liu, Z. Deng, dan X. Wang, "The effects of rainfall, soil type and slope on the processes and mechanisms of rainfall-induced shallow landslides," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 24, Des 2021, doi: 10.3390/app112411652.
- [3] I. Madani dkk., "Analisis Spasial Tingkat Kerawanan Tanah Longsor di Kecamatan Wagir, Kabupaten Malang Melalui Sistem Informasi Geografis," *Jurnal Geosaintek*, vol. 9, no. 2, hlm. 80, Agu 2023, doi: 10.12962/j25023659.v9i2.17431.
- [4] D. D. Firmansyah dan W. R. Indrawan, "Kecamatan Sukapura Dalam Angka 2023," Probolinggo, Sep 2023.
- [5] A. Y. Effendi dan T. Hariyanto, "Pembuatan Peta Daerah Rawan Bencana Tanah Longsor dengan Menggunakan Metode Fuzzy logic (Studi Kasus: Kabupaten Probolinggo)," *Jurnal Teknisk ITS*, vol. 5, hlm. A714–A722, 2016.
- [6] A. A. Nur, D. Sandri, N. H. Ahmada, dan R. A. Purbandini, "KLIK: Kajian Ilmiah Informatika dan Komputer Implementasi SIG dalam Menentukan Potensi Kerawanan Tanah Longsor sebagai Evaluasi Rencana Tata Ruang Wilayah," *KLIK: Kajian Ilmiah Informatika dan Komputer*, vol. 4, no. 4, hlm. 2046–2057, Feb 2024, doi: 10.30865/klik.v4i4.1658
10.30865/klik.v4i4.165810.30865/klik.v4i4.1658.