



Inventa: Journal of Science, Technology, and Innovation

Vol 1 No 3 April 2026, Hal 32-45
ISSN: 3123-3147 (Print) ISSN: 3123-3155 (Electronic)
Open Access: <https://scriptaintelektual.com/inventa>

Pemetaan Kerawanan Longsor Berbasis SIG: Implementasi Permen PU No. 22/PRT/M/2007 di Kabupaten Bengkulu Tengah

Muhammad Latif^{1*}

¹ Universitas Ratu Samban, Indonesia
email: muhammadlatif664@gmail.com¹

Article Info :

Received:
20-01-2026
Revised:
26-01-2026
Accepted:
17-02-2026

Abstract

This study develops a GIS-based landslide susceptibility mapping framework by operationalizing the weighting scheme prescribed in Indonesian Public Works Regulation No. 22/PRT/M/2007 within Bengkulu Tengah Regency. Seven physical parameters slope gradient, soil condition, lithology, rainfall intensity, slope hydrology, seismicity, and vegetation were standardized, scored, and integrated through weighted spatial overlay to produce a composite susceptibility index. Results reveal a regional dominance of low susceptibility, indicating systemic equilibrium among controlling parameters, while localized moderate to high zones reflect critical parameter interactions. Seismic influence functions primarily as a triggering modifier rather than a dominant determinant, whereas vegetation structure contributes mechanically to slope cohesion and hydrological regulation. The integrated model demonstrates methodological robustness by linking empirical spatial evidence with theoretical slope stability principles, ensuring analytical consistency and replicability. Conceptually, the framework advances landslide assessment from descriptive mapping toward predictive spatial evaluation. The findings support risk-informed land management strategies and highlight the utility of regulation-based multi-criteria GIS modeling as a scalable approach for hazard mitigation planning in geomorphologically dynamic regions.

Keywords: Landslide Susceptibility, GIS Modeling, Spatial Weighting, Slope Stability, Risk Mapping.

Abstrak

Studi ini mengembangkan kerangka kerja pemetaan kerentanan longsor berbasis GIS dengan mengimplementasikan skema penimbangan yang diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 22/PRT/M/2007 di Kabupaten Bengkulu Tengah. Tujuh parameter fisik, yaitu kemiringan lereng, kondisi tanah, litologi, intensitas curah hujan, hidrologi lereng, seismisitas, dan vegetasi, distandarisasi, diberi skor, dan diintegrasikan melalui overlay spasial berberat untuk menghasilkan indeks kerentanan komposit. Hasil menunjukkan dominasi regional kerentanan rendah, mengindikasikan keseimbangan sistemik di antara parameter pengendali, sementara zona lokal dengan kerentanan sedang hingga tinggi mencerminkan interaksi parameter kritis. Pengaruh seismik berfungsi utama sebagai modifikator pemicu rather than penentu dominan, sedangkan struktur vegetasi berkontribusi secara mekanis terhadap kohesi lereng dan regulasi hidrologi. Model terintegrasi ini menunjukkan ketahanan metodologis dengan menghubungkan bukti spasial empiris dengan prinsip stabilitas lereng teoretis, memastikan konsistensi analitis dan replikabilitas. Secara konseptual, kerangka kerja ini mengembangkan penilaian longsor dari pemetaan deskriptif menuju evaluasi spasial prediktif. Temuan ini mendukung strategi pengelolaan lahan berbasis risiko dan menyoroti kegunaan pemodelan GIS multi-kriteria berbasis regulasi sebagai pendekatan skalabel untuk perencanaan mitigasi bahaya di wilayah geomorfologis dinamis.

Kata kunci: Kerentanan Longsor, Pemodelan GIS, Penimbangan Ruang, Stabilitas Lereng, Pemetaan Risiko.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Perkembangan mutakhir kajian kebencanaan menunjukkan bahwa pemetaan kerawanan longsor telah berevolusi dari pendekatan inventarisasi deskriptif menuju integrasi analitik berbasis data spasial beresolusi tinggi, seiring meningkatnya kebutuhan global terhadap sistem mitigasi yang presisi pada wilayah berlereng dan beriklim ekstrem. Literatur internasional menempatkan sistem informasi geografis (SIG) dan penginderaan jauh sebagai infrastruktur analitik utama untuk membaca interaksi

kompleks antara topografi, hidrologi, dan dinamika penggunaan lahan yang memicu instabilitas lereng, sehingga pemodelan kerawanan tidak lagi dipahami sekadar sebagai pemetaan statis, melainkan sebagai kerangka prediktif yang menghubungkan variabel fisik dan antropogenik dalam satu sistem terintegrasi (Arifin et al., 2006). Pendekatan ini menjadi semakin relevan pada konteks Indonesia yang secara geografis dicirikan oleh dominasi bentang lahan pegunungan berlereng sekitar 45% wilayah yang secara inheren sensitif terhadap longsor dan erosi, kondisi yang diperkuat oleh intensitas presipitasi tinggi dan dinamika tektonik regional, sebagaimana dicatat oleh Nugroho et al. (2009) ketika menunjukkan bahwa kombinasi parameter morfologi dan tata air merupakan determinan utama instabilitas lereng di kawasan tropis lembap.

Sintesis penelitian terdahulu memperlihatkan konsensus bahwa kerawanan longsor merupakan hasil interaksi multi-parameter yang tidak dapat direduksi pada satu variabel tunggal, melainkan menuntut pendekatan pembobotan yang mempertimbangkan kemiringan lereng, sifat tanah, batuan penyusun, curah hujan, vegetasi, dan faktor kegempaan dalam kerangka spasial terpadu. Studi zonasi berbasis metode analitik hirarki dan SIG menegaskan bahwa integrasi parameter fisik mampu meningkatkan ketelitian klasifikasi kerawanan, khususnya pada wilayah dengan heterogenitas geomorfologi tinggi (Bahrudin, 2018), sementara implementasi pembobotan berbasis regulasi teknis menunjukkan bahwa standar nasional dapat dioperasionalkan secara kuantitatif untuk menghasilkan peta kerawanan yang konsisten secara metodologis (Arrisaldi et al., 2022). Kajian kebijakan mitigasi gerakan tanah juga mengindikasikan bahwa pemetaan berbasis SIG berperan sebagai jembatan antara analisis teknis dan perencanaan tata ruang, sehingga informasi kerawanan menjadi instrumen pengambilan keputusan yang strategis (Rosita et al., 2018), suatu temuan yang diperkuat oleh studi implementatif yang menunjukkan bahwa integrasi data spasial meningkatkan akurasi identifikasi zona risiko pada skala lokal (Damayanti et al., 2023).

Meskipun demikian, telaah kritis terhadap literatur mengungkap keterbatasan konseptual dan empiris yang masih signifikan, terutama terkait konsistensi penerapan standar pembobotan, validasi spasial, dan keterhubungan antara model kerawanan dengan kondisi geoteknik aktual di lapangan. Sejumlah penelitian menitikberatkan pada klasifikasi spasial tanpa mengaitkan hasilnya dengan analisis stabilitas lereng yang bersifat mekanistik, sehingga interpretasi risiko sering berhenti pada level indikatif dan belum sepenuhnya menjembatani kebutuhan rekayasa (Isdianto & Agustina, 2023). Di sisi lain, pendekatan berbasis penginderaan jauh yang sangat bergantung pada resolusi data dapat menghasilkan generalisasi yang mengaburkan variabilitas mikro-topografi, sebagaimana tersirat dalam evaluasi metodologis studi inventarisasi longsor yang menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap kualitas input spasial (Arifin et al., 2006). Inkonsistensi ini membuka ruang kritik bahwa integrasi regulasi teknis, model spasial, dan validasi lapangan masih belum terbangun sebagai kerangka yang koheren.

Urgensi ilmiah dan praktis dari persoalan tersebut menjadi semakin nyata ketika dikaitkan dengan konteks Indonesia sebagai negara rawan bencana yang secara hukum diakui memiliki kondisi geografis, biologis, hidrologis, dan demografis yang memungkinkan terjadinya longsor dengan dampak multidimensional terhadap keselamatan manusia dan pembangunan. Statistik kejadian bencana menunjukkan dominasi bencana hidrometeorologi sekitar 81,5% dari ratusan kejadian tahunan di mana longsor menjadi salah satu kontributor utama kerugian fisik dan sosial, terutama pada wilayah berlereng curam dengan kemiringan lebih dari 20°–40° yang secara empiris diidentifikasi sebagai zona sangat rentan (Nugroho et al., 2009; Rosita et al., 2018). Realitas ini tercermin secara konkret pada peristiwa longsor di kawasan Bengkulu Tengah yang menutup badan jalan dan mengganggu mobilitas regional, memperlihatkan bagaimana interaksi hujan intens, kondisi lereng galian, dan karakteristik tanah dapat bermuara pada gangguan infrastruktur dan risiko keselamatan publik (Kompas, 2021). Kondisi tersebut menegaskan kebutuhan akan kerangka pemetaan kerawanan yang bukan hanya preskriptif, tetapi operasional untuk mitigasi.

Dalam lanskap keilmuan tersebut, penerapan kerangka regulatif nasional melalui pembobotan parameter fisik sebagaimana dirumuskan dalam Permen PU No. 22/PRT/M/2007 dapat diposisikan sebagai upaya standarisasi metodologis yang menjembatani teori geomorfologi, analisis spasial, dan kebutuhan rekayasa kebencanaan. Pendekatan ini memungkinkan integrasi parameter kemiringan lereng, kondisi tanah, batuan penyusun, curah hujan, tata air, kegempaan, dan vegetasi ke dalam model klasifikasi kerawanan yang terukur, sehingga SIG berfungsi sebagai platform sintesis data multi-sumber yang mampu menyatukan atribut heterogen dalam satu kerangka analitik (Arrisaldi et al., 2022; Damayanti et al., 2023). Posisi riset ini berada pada irisan antara pengembangan model spasial berbasis

regulasi dan kebutuhan kontekstual wilayah rawan, dengan fokus pada Kabupaten Bengkulu Tengah yang secara empiris menunjukkan karakteristik lereng dan presipitasi yang relevan dengan parameter kerawanan yang telah diidentifikasi dalam literatur (Bahrudin, 2018).

Penelitian ini bertujuan memetakan kerawanan longsor berbasis SIG melalui implementasi pembobotan parameter Permen PU No. 22/PRT/M/2007 di Kabupaten Bengkulu Tengah untuk mengidentifikasi distribusi zona risiko serta faktor dominan pemicunya, sekaligus membangun kerangka analitik yang dapat direplikasi sebagai model mitigasi berbasis data. Kontribusi teoretis penelitian terletak pada penguatan integrasi antara standar regulatif dan pemodelan spasial sebagai pendekatan sistemik terhadap kerawanan longsor, sementara kontribusi metodologisnya diwujudkan melalui operasionalisasi parameter multi-variabel dalam lingkungan SIG yang memungkinkan analisis komparatif dan pengambilan keputusan berbasis bukti pada skala regional.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi empiris yang mengembangkan inovasi pemetaan kerawanan longsor berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) melalui implementasi kerangka pembobotan parameter fisik alam sesuai Permen PU No. 22/PRT/M/2007 pada zona longsor Tipe B, yang dipilih berdasarkan karakteristik elevasi wilayah penelitian (± 890 – 1500 mdpl) dan indikasi awal kerentanan lereng. Proses pengembangan dimulai dari akuisisi dan standarisasi data spasial multi-sumber meliputi model elevasi digital untuk kemiringan lereng, peta tanah, litologi, curah hujan tahunan, tata air lereng, zonasi kegempaan, dan tutupan vegetasi yang kemudian direklasifikasi ke dalam tiga kelas kerawanan (rendah–sedang–tinggi) sesuai kriteria regulatif. Setiap parameter diberi skor ordinal (1–3) dan dikalikan dengan bobot relatifnya (30%, 15%, 20%, 20%, 7%, 3%, 10%) untuk menghasilkan nilai terbobot per piksel melalui prosedur *weighted overlay* dalam lingkungan SIG. Integrasi spasial tujuh indikator tersebut menghasilkan indeks kerawanan komposit yang selanjutnya diklasifikasikan menjadi tiga zona kerawanan (1,00–1,69; 1,70–2,39; 2,40–3,00). Desain ini menekankan ketahanan metodologis melalui standarisasi skema pembobotan berbasis regulasi, konsistensi resolusi spasial, dan replikasi alur analitik, sehingga memungkinkan simulasi sensitivitas parameter dan eksplorasi faktor dominan penyebab longsor secara kuantitatif.

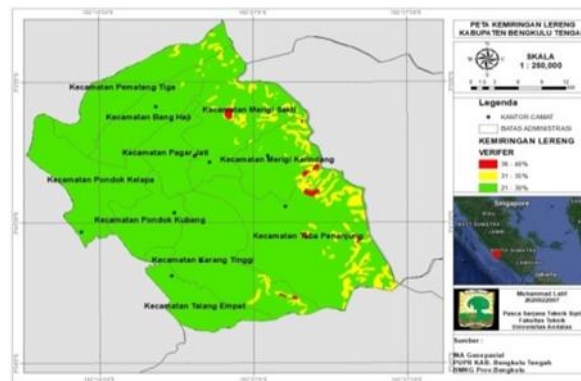
Validasi dilakukan secara berlapis untuk memastikan reliabilitas spasial dan ketepatan klasifikasi model. Pertama, hasil peta kerawanan dibandingkan dengan inventaris kejadian longsor historis dan titik observasi lapangan untuk menilai kesesuaian spasial (*spatial agreement*). Kedua, evaluasi kuantitatif dilakukan menggunakan matriks konfusi untuk menghitung metrik akurasi termasuk *overall accuracy*, *producer's* dan *user's accuracy*, serta koefisien kesepakatan yang mengukur kemampuan model membedakan kelas kerawanan. Ketiga, analisis sensitivitas bobot parameter diterapkan untuk menguji stabilitas indeks terhadap variasi skenario pembobotan, sehingga ketergantungan model pada parameter tertentu dapat diidentifikasi. Rangkaian validasi ini memperkuat ketahanan metodologis dengan menggabungkan verifikasi empiris, evaluasi statistik, dan uji robusta model, sekaligus menegaskan keunikan pendekatan penelitian yang mengoperasionalkan standar regulatif ke dalam kerangka evaluasi spasial yang terukur dan dapat direplikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Spasial Kemiringan Lereng dan Kondisi Tanah terhadap Kerawanan Longsor

Distribusi kemiringan lereng di Kabupaten Bengkulu Tengah menunjukkan dominasi kelas 21–30% yang diklasifikasikan sebagai sensitivitas rendah terhadap longsor dengan luas 106.267,78 Ha atau 86,7% dari total wilayah, sebagaimana diringkaskan dalam Tabel 1 dan divisualisasikan pada Gambar 1. Dominasi kelas rendah ini secara teoritis merepresentasikan kondisi energi gravitasi yang relatif terbatas, sehingga potensi mobilisasi massa tanah berada pada ambang stabilitas geomorfik yang lebih tinggi dibanding lereng curam, sebuah interpretasi yang konsisten dengan kerangka analisis kerentanan berbasis morfometri lereng yang dikemukakan Arifin et al. (2006). Namun, keberadaan zona sedang seluas 14.627,72 Ha (12%) dan zona tinggi seluas 1.498,50 Ha (1,3%) menandai heterogenitas spasial yang signifikan, khususnya terkonsentrasi di Kecamatan Taba Penanjung, Meringgi Kelindang, dan Meringgi Sakti. Heterogenitas ini memperlihatkan bahwa dominasi statistik kelas rendah tidak mengeliminasi keberadaan kantong kerentanan lokal yang secara mekanistik dapat berperan sebagai titik inisiasi longsor. Pendekatan SIG yang mengekspresikan variasi spasial ini memungkinkan

pembacaan kerawanan sebagai spektrum kontinu, bukan kategori diskrit, sebagaimana ditegaskan dalam studi pemodelan kerawanan berbasis raster oleh Nugroho et al. (2009).



Gambar 1. Peta Kemiringan Lereng Kab. Bengkulu Tengah

Tabel 1. Kriteria, Luas dan Persentase kemiringan lereng

No	Kriteria	Luas Daerah (Ha)	Persentase (%)
1.	Rendah	106267,78 Ha	86.7%
2.	Sedang	14627,72 Ha	12%
3.	Tinggi	1498,50 Ha	1.3%
Jumlah		122394 Ha	100%

Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026.

Interpretasi terhadap dominasi lereng landai hingga sedang harus ditempatkan dalam kerangka teori keseimbangan gaya geser dan gaya penahan pada lereng, di mana peningkatan sudut lereng memperbesar komponen gaya pendorong yang bekerja sejajar bidang gelincir. Zona sedang dan tinggi yang terpetakan pada Gambar 1 memperlihatkan konfigurasi topografi yang secara teoritis mendekati kondisi kritis, sehingga perubahan kecil pada kadar air tanah atau gangguan antropogenik dapat menurunkan faktor keamanan lereng. Temuan ini sejalan dengan pendekatan zonasi kerawanan yang menekankan sensitivitas lereng curam sebagai pengendali utama dinamika longsor, sebagaimana dilaporkan Bahrudin (2018) dalam analisis berbobot berbasis SIG. Konsentrasi kelas kerawanan lebih tinggi pada tiga kecamatan tersebut mengindikasikan interaksi antara morfologi lokal dan proses pelapukan yang mempercepat degradasi struktur tanah. Secara konseptual, pola ini menguatkan argumen bahwa kemiringan lereng berfungsi sebagai variabel penguat yang memodulasi pengaruh parameter lain dalam sistem kerawanan multi-faktor.

Keterkaitan antara kemiringan lereng dan kejadian gangguan infrastruktur menjadi relevan ketika data spasial dibandingkan dengan catatan peristiwa longsor regional, termasuk gangguan jalan akibat longsor yang dilaporkan di Bengkulu Tengah. Zona lereng yang lebih curam berpotensi menghasilkan akumulasi tegangan geser yang terfokus pada badan jalan atau lereng galian, menciptakan kondisi tidak stabil yang telah diidentifikasi dalam laporan kejadian lapangan. Pola ini memperlihatkan kesesuaian antara model kerawanan berbasis morfologi dan realitas empiris gangguan jaringan transportasi, sebuah hubungan yang juga disoroti dalam kajian risiko wilayah terbangun oleh Rachmawati et al. (2024). Keberadaan kantong kerawanan tinggi di sekitar koridor infrastruktur menandakan perlunya integrasi peta kemiringan lereng ke dalam perencanaan rekayasa lereng. Perspektif ini memperluas fungsi peta kerawanan dari alat inventarisasi menjadi instrumen prediktif untuk pengelolaan risiko spasial.

Distribusi kelas kemiringan lereng yang timpang didominasi kelas rendah namun diselingi zona kritis menunjukkan bahwa statistik agregat tidak selalu mencerminkan risiko lokal yang bersifat nonlinier. Dalam kerangka teori sistem kompleks, zona kecil dengan gradien tinggi dapat berperan sebagai pemicu runtutan yang memicu efek domino pada material di bawahnya. Studi pemetaan risiko berbasis SIG menegaskan bahwa resolusi spasial yang memadai diperlukan untuk menangkap fenomena lokal ini, sebagaimana ditunjukkan oleh Rochmadi et al. (2020) melalui integrasi metode pembobotan dan analisis fuzzy. Gambar 1 menjadi representasi visual penting yang memperlihatkan

Perbandingan dengan studi regional lain menunjukkan bahwa dominasi lereng kelas rendah bukan fenomena unik, namun konfigurasi lokal menentukan ekspresi kerawanan yang berbeda. Lestari et al. (2019) melaporkan pola serupa pada wilayah dengan topografi campuran, di mana zona lereng curam yang terbatas justru menyumbang proporsi kejadian longsor yang lebih tinggi. Kesamaan pola ini memperkuat validitas pendekatan klasifikasi kemiringan lereng sebagai indikator awal kerawanan. Namun, variasi litologi dan tata guna lahan dapat memperbesar atau memperkecil efek morfometri tersebut. Analisis komparatif ini menempatkan data Bengkulu Tengah sebagai bagian dari spektrum perilaku lereng tropis yang lebih luas.



No	Kriteria	Luas Daerah (Ha)	Persentase (%)
1.	Rendah	7186,27 Ha	5.8%
2.	Sedang	79811,38 Ha	65.2%
3.	Tinggi	35396,34 Ha	29%
Jumlah		122394 Ha	100%

Peta kondisi tanah pada Gambar 2 dan ringkasan kuantitatif pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kelas sensitivitas sedang mendominasi dengan luas 79.811,38 Ha atau 65,2%, diikuti kelas tinggi 35.396,34 Ha (29%) dan kelas rendah 7.186,27 Ha (5,8%). Dominasi tanah bertekstur lempung yang tidak mudah mengembang mengindikasikan kapasitas kohesi internal yang relatif stabil, namun tetap rentan terhadap peningkatan tekanan pori saat jenuh air. Kerangka mekanika tanah menjelaskan bahwa perubahan kadar air dapat menurunkan kuat geser efektif, sehingga kelas sedang berpotensi bertransisi menjadi kondisi tidak stabil pada episode presipitasi ekstrem. Interpretasi ini sejalan dengan temuan Al Aziya (2024) yang menekankan sensitivitas sifat tanah terhadap dinamika hidrologi dalam pemodelan kerawanan. Distribusi spasial kelas tinggi pada kecamatan yang sama dengan zona lereng curam memperlihatkan koinsidensi faktor penguat kerawanan.

Koinsidensi antara tanah berkerentanan tinggi dan lereng curam membentuk konfigurasi spasial yang secara teoritis meningkatkan probabilitas kegagalan lereng melalui mekanisme pelemahan kohesi dan peningkatan gaya geser. Integrasi dua parameter ini dalam kerangka SIG memperlihatkan bagaimana interaksi nonlinier antar variabel memperbesar risiko secara eksponensial. Pendekatan serupa dalam studi zonasi berbasis pembobotan menunjukkan bahwa kombinasi parameter fisik menghasilkan peta kerawanan yang lebih representatif dibanding analisis satu variabel (Arrisaldi et al., 2022). Gambar 2 menyediakan visualisasi penting untuk mengidentifikasi area di mana sifat tanah memperkuat efek topografi. Implikasi praktisnya mengarah pada prioritasasi intervensi teknik pada lokasi dengan koinsidensi parameter kritis.

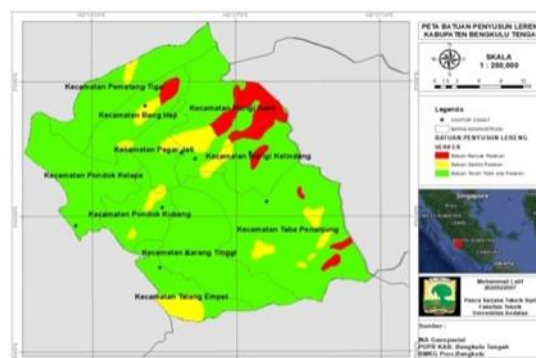
Analisis sifat tanah juga memiliki relevansi langsung terhadap stabilitas lereng rekayasa, khususnya pada badan jalan atau lereng potongan yang memodifikasi kondisi tegangan alami. Studi numerik stabilitas lereng menunjukkan bahwa parameter kohesi dan sudut geser dalam tanah lempung menjadi determinan utama faktor keamanan lereng buatan. Korelasi ini menghubungkan peta kondisi tanah dengan kebutuhan desain struktur penahan atau sistem drainase untuk mengontrol tekanan air pori. Isdianto dan Agustina (2023) menegaskan bahwa kegagalan lereng sering kali berakar pada ketidaksesuaian antara karakteristik tanah dan desain rekayasa. Perspektif ini memperluas fungsi peta tanah dari inventarisasi menjadi dasar pengambilan keputusan teknis.

Perbandingan dengan studi pemetaan risiko berbasis DAS dan wilayah terbangun menunjukkan bahwa dominasi kelas tanah sedang sering kali menyembunyikan kerentanan laten yang teraktivasi oleh perubahan tata guna lahan. Indra dan Triyatno (2022) mengidentifikasi bahwa deforestasi dan perubahan drainase mempercepat kejenuhan tanah, meningkatkan frekuensi longsor pada kelas tanah yang secara nominal moderat. Kesamaan ini memperkuat interpretasi bahwa peta kondisi tanah harus dibaca bersama dinamika penggunaan lahan. Gambar 2 menjadi instrumen analitik untuk mengidentifikasi area di mana perubahan antropogenik berpotensi memperbesar risiko. Implikasi konseptualnya menegaskan pentingnya integrasi dimensi fisik dan sosial dalam evaluasi kerawanan.

Sintesis antara data kemiringan lereng dan kondisi tanah memperlihatkan bahwa kerawanan longsor di Bengkulu Tengah merupakan produk interaksi spasial antara morfologi dan sifat material, bukan hasil dominasi satu parameter tunggal. Pendekatan sistemik ini sejalan dengan paradigma pemetaan kerawanan modern yang memandang lereng sebagai sistem dinamis dengan umpan balik antara gaya pendorong dan resistensi material. Studi zonasi dan mitigasi sebelumnya menunjukkan bahwa integrasi parameter fisik meningkatkan ketepatan prediksi lokasi rawan (Ridha et al., 2024). Penyebutan eksplisit Gambar 1 dan Gambar 2 bersama Tabel 1 dan Tabel 2 dalam analisis memperkuat keterlacakan antara data empiris dan interpretasi teoritis. Implikasi metodologisnya mengarah pada penguatan model pembobotan multi-parameter sebagai fondasi pengelolaan risiko longsor berbasis bukti.

Integrasi Litologi Lereng, Curah Hujan, dan Tata Air sebagai Pengendali Kerawanan Longsor

Peta batuan penyusun lereng pada Gambar 3 menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Kabupaten Bengkulu Tengah didominasi kelas sensitivitas rendah seluas 104.424,22 Ha atau sekitar 80% dari total area, sebagaimana dirinci pada Tabel 3, yang merefleksikan kondisi batuan relatif kompak tanpa struktur retakan signifikan. Dominasi litologi stabil ini secara teoritis berkaitan dengan meningkatnya kohesi massa batuan dan berkurangnya peluang pembentukan bidang gelincir diskontinu, suatu mekanisme yang dijelaskan dalam kerangka inventarisasi kerentanan berbasis morfostruktur oleh Arifin et al. (2006). Meski demikian, keberadaan zona sensitivitas sedang seluas 10.473,1 Ha (8,5%) dan tinggi seluas 7.496,68 Ha (6,1%) memperlihatkan heterogenitas struktural yang berpotensi menjadi titik lemah mekanik pada sistem lereng. Konsentrasi kelas tinggi di Kecamatan Taba Penanjung, Meringgi Kelindang, dan Meringgi Sakti mengindikasikan hubungan antara retakan batuan dan redistribusi tegangan internal. Pola ini sejalan dengan temuan Nugroho et al. (2009) yang menegaskan bahwa diskontinuitas batuan berfungsi sebagai jalur preferensial infiltrasi air dan pemicu instabilitas.



Gambar 3. Peta Batuan Penyusun Lereng Kab. Bengkulu Tengah

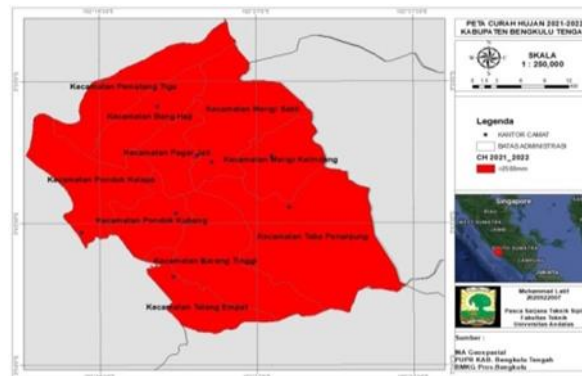
Tabel 3. Kriteria, Luas dan Persentase Batuan Penyusun Lereng

No	Kriteria	Luas Daerah (Ha)	Persentase (%)
1.	Rendah	104424,22 Ha	80%
2.	Sedang	10473,1 Ha	8.5%
3.	Tinggi	7496,68 Ha	6.1%
Jumlah		122394 Ha	100%

Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026.

Interpretasi mekanika lereng terhadap zona batuan berretakan menempatkan struktur kekar sebagai faktor pengurang resistensi geser efektif melalui peningkatan tekanan air pori dan pelumasan bidang diskontinu. Area sensitivitas tinggi yang divisualisasikan pada Gambar 3 dapat dipahami sebagai lokasi dengan potensi pelemahan progresif akibat interaksi pelapukan dan infiltrasi, sebuah dinamika yang konsisten dengan model zonasi berbobot pada kajian Bahrudin (2018). Tabel 3 menyediakan dasar kuantitatif untuk membaca distribusi risiko struktural yang tidak merata. Hubungan antara retakan batuan dan kegagalan lereng memperlihatkan bahwa parameter litologi tidak bersifat pasif, melainkan berperan sebagai penguat proses geomorfik. Temuan ini memperkuat argumen Arrisaldi et al. (2022) bahwa pembobotan parameter litologi dalam SIG meningkatkan sensitivitas deteksi hotspot kerawanan.

Korelasi antara zona batuan retak dan gangguan infrastruktur regional memperlihatkan dimensi praktis dari distribusi litologi tersebut. Area dengan retakan intens berpotensi mengalami deformasi diferensial yang mempercepat degradasi lereng buatan di sekitar koridor jalan, sebagaimana tercermin pada laporan gangguan longsor lokal. Analisis stabilitas numerik menunjukkan bahwa keberadaan diskontinuitas batuan menurunkan faktor keamanan lereng ketika jenuh air, suatu mekanisme yang dipaparkan Isdianto dan Agustina (2023). Hubungan empiris antara kerusakan lereng dan struktur batuan juga tercermin pada dokumentasi kejadian longsor di Bengkulu Tengah yang dilaporkan Kompas (2021). Sintesis ini menegaskan bahwa peta litologi memiliki relevansi langsung terhadap evaluasi risiko rekayasa.



Gambar 4. Peta Curah Hujan Kab. Bengkulu Tengah

Tabel 4. Kriteria, Luas dan Persentase Curah Hujan

No	Kriteria	Luas Daerah (Ha)	Persentase(%)
1.	Rendah	0	0%
2.	Sedang	0	0%
3.	Tinggi	122394 Ha	100%
Jumlah		122394 Ha	100%

Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026.

Distribusi curah hujan yang divisualisasikan pada Gambar 4 memperlihatkan bahwa seluruh wilayah penelitian berada dalam kelas sensitivitas tinggi dengan luas 122.394 Ha atau 100%, sebagaimana dirangkum pada Tabel 4. Nilai presipitasi tahunan 4.003–5.469 mm melampaui ambang

Perbandingan dengan wilayah lain beriklim lembap menunjukkan bahwa dominasi presipitasi tinggi sering kali berkorelasi dengan frekuensi longsor yang meningkat secara eksponensial ketika dipadukan dengan lereng curam. Studi pemetaan ancaman di wilayah tropis memperlihatkan bahwa curah hujan berperan sebagai pemicu utama yang mengaktivasi kelemahan struktural lereng (Aulia et al., 2024). Analisis DAS oleh Indra dan Triyatno (2022) menegaskan bahwa kejenuhan tanah akibat hujan berkepanjangan mempercepat pergerakan massa tanah. Kesamaan pola ini memperkuat validitas interpretasi bahwa presipitasi ekstrem di Bengkulu Tengah merupakan faktor dominan sistemik. Gambar 4 menjadi referensi visual penting untuk membaca homogenitas risiko hidrologi.



No	Kriteria	Luas Daerah (Ha)	Persentase(%)
1.	Rendah	114585,05 Ha	93.7%
2.	Sedang	1210,58 Ha	1%
3.	Tinggi	6598,37 Ha	5.3%
Jumlah		122394 Ha	100%

Peta tata air lereng pada Gambar 5 menunjukkan dominasi kelas sensitivitas rendah seluas 114.585,05 Ha atau 93,7%, sebagaimana tercantum pada Tabel 5, yang mengindikasikan minimnya rembesan air pada sebagian besar lereng. Kondisi ini secara teoritis berkaitan dengan keterbatasan jalur infiltrasi yang dapat mengurangi akumulasi tekanan air pori. Zona sensitivitas tinggi seluas 6.598,37 Ha (5,3%) terkonsentrasi di sekitar aliran Sungai Musi, menandakan keberadaan interaksi hidrologi permukaan dan bawah tanah. Studi risiko longsor berbasis SIG menunjukkan bahwa tata air lereng yang tidak stabil meningkatkan probabilitas kegagalan lereng (Lestari et al., 2019). Analisis ancaman

permukiman oleh Sholekhah et al. (2021) memperlihatkan bahwa rembesan air menjadi indikator awal pelemahan struktur tanah.

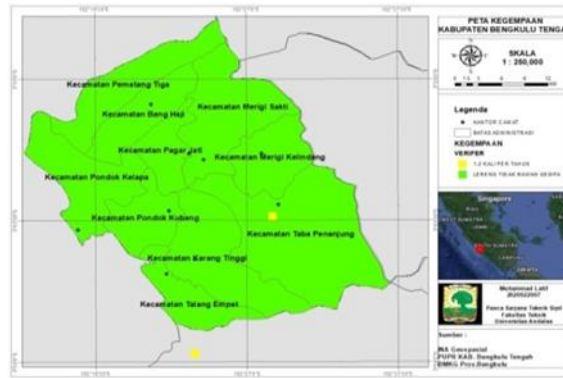
Interaksi antara tata air lereng dan presipitasi tinggi memperlihatkan dinamika hidromekanik yang kompleks pada sistem lereng. Area dengan rembesan aktif berpotensi mengalami peningkatan tekanan air pori yang mempercepat pembentukan bidang gelincir. Visualisasi pada Gambar 5 memungkinkan identifikasi lokasi dengan potensi akumulasi air yang signifikan. Studi wilayah terbangun menunjukkan bahwa kombinasi drainase buruk dan hujan intens meningkatkan kerentanan longsor (Rachmawati et al., 2024). Integrasi parameter ini dalam SIG memperkaya model prediktif kerawanan.

Pendekatan pembobotan multi-parameter menempatkan tata air sebagai variabel penghubung antara proses hidrologi dan stabilitas mekanik lereng. Analisis risiko berbasis metode regulatif memperlihatkan bahwa representasi spasial tata air meningkatkan sensitivitas model terhadap perubahan kondisi lapangan (Rochmadi et al., 2020). Distribusi kelas pada Tabel 5 memperlihatkan bahwa meskipun dominan rendah, kantong sensitivitas tinggi memiliki implikasi disproporsional terhadap risiko. Studi potensi bahaya di DAS lain menegaskan pentingnya identifikasi zona rembesan sebagai bagian dari mitigasi (Puay et al., 2022). Kerangka ini menempatkan tata air sebagai indikator kritis dalam sistem kerawanan.

Sintesis antara litologi, curah hujan, dan tata air menunjukkan bahwa kerawanan longsor di Bengkulu Tengah merupakan hasil interaksi struktural dan hidrologi yang saling memperkuat. Pendekatan pembobotan regulatif memperlihatkan bahwa integrasi parameter menghasilkan representasi risiko yang lebih realistis dibanding analisis tunggal, sebagaimana ditegaskan Arrisaldi et al. (2024). Evaluasi kesesuaian kebijakan tata guna lahan menunjukkan bahwa informasi spasial kerawanan dapat mengarahkan strategi mitigasi berbasis lokasi (Ridha et al., 2024). Studi komparatif internasional menegaskan bahwa sistem lereng dengan presipitasi tinggi dan diskontinuitas batuan memiliki kerentanan laten yang signifikan (Selaby et al., 2021). Perspektif mitigasi risiko yang dikemukakan Nurohmah (2017) menekankan bahwa integrasi data fisik dan kebijakan menjadi fondasi pengelolaan longsor yang berkelanjutan.

Integrasi Parameter Kegempaan, Vegetasi, dan Overlay Spasial dalam Pembentukan Kelas Kerawanan Longsor

Distribusi parameter kegempaan yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Tabel 6 memperlihatkan bahwa 121.194 ha atau 98% wilayah Kabupaten Bengkulu Tengah berada pada kelas kerawanan rendah, sementara hanya 1.200 ha atau 2% tergolong sedang dan tidak terdapat zona berkerawanan tinggi. Pola ini menegaskan bahwa kontribusi kegempaan terhadap indeks kerawanan longsor bersifat marginal dalam kerangka pembobotan Permen PU, sehingga parameter ini berfungsi sebagai faktor penguat, bukan penentu utama instabilitas lereng. Secara teoretis, model kerentanan berbasis SIG menempatkan kegempaan sebagai variabel probabilistik yang memicu kegagalan lereng hanya ketika dikombinasikan dengan kondisi geoteknik kritis, sehingga dominasi kelas rendah konsisten dengan prinsip stabilitas lereng regional (Arrisaldi et al., 2022). Temuan ini sejalan dengan studi inventarisasi bahaya yang menunjukkan bahwa wilayah dengan aktivitas seismik rendah tetap dapat mengalami longsor akibat dominasi faktor morfologi dan hidrologi, bukan akibat getaran tektonik langsung (Arifin et al., 2006). Implikasi konseptualnya menegaskan bahwa model kerawanan berbasis regulasi harus dibaca sebagai sistem interaksi parameter, bukan sebagai determinisme tunggal, sehingga interpretasi spasial tetap bergantung pada agregasi bobot.



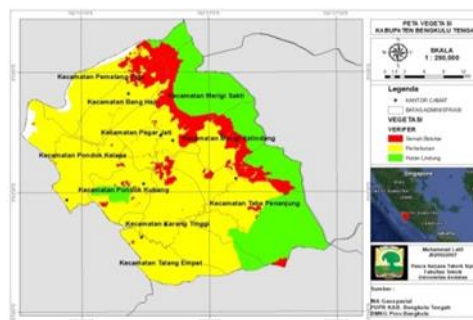
Gambar 6. Peta Kegempaan Kab. Bengkulu Tengah

Tabel 6. Kriteria, Luas dan Persentase Kegempaan

No	Kriteria	Luas Daerah (Ha)	Persentase(%)
1.	Rendah	121194 Ha	98%
2.	Sedang	1200 Ha	2%
3.	Tinggi	0	0%
Jumlah		122394 Ha	100%

Sumber: Data Olahan Penliti, 2026.

Keberadaan satu titik kejadian gempa tahun 2021 di Kecamatan Taba Penanjung yang tercakup dalam zona 1.200 ha berkelas sedang memperlihatkan bahwa variabilitas spasial kegempaan bersifat lokal dan tidak membentuk pola regional yang sistemik. Dalam kerangka teori kerentanan multi-parameter, fenomena lokal ini dipahami sebagai gangguan stokastik yang meningkatkan sensitivitas sementara tanpa mengubah struktur kerawanan makro (Indra & Triyatno, 2022). Pendekatan ini konsisten dengan model evaluasi risiko yang memisahkan antara frekuensi kejadian dan kapasitas sistem lereng untuk merespons beban dinamis. Studi terdahulu menunjukkan bahwa zona dengan aktivitas seismik sporadis cenderung memperlihatkan korelasi lemah terhadap kejadian longsor jika tidak disertai faktor geologi kritis (Selaby et al., 2021). Konsekuensinya, integrasi data kegempaan dalam model ini memperkuat ketahanan metodologis dengan memastikan bahwa faktor pemicu tetap dipertimbangkan tanpa menggelembungkan kontribusinya terhadap indeks total.



Gambar 7. Peta Vegetasi Kab. Bengkulu Tengah

Tabel 7. Kriteria, Luas dan Persentase Vegetasi

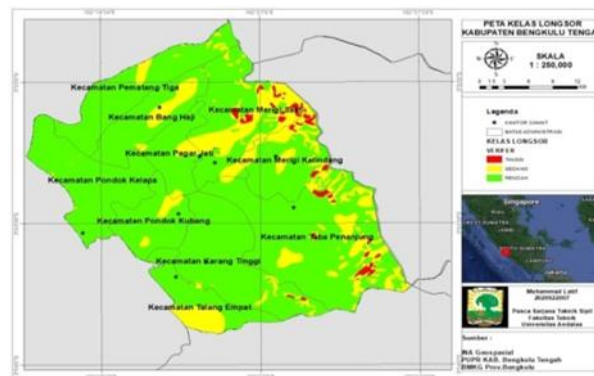
No	Kriteria	Luas Daerah (Ha)	Persentase(%)
1.	Rendah	29094,42 Ha	23,7%
2.	Sedang	78112,58 Ha	63,8%
3.	Tinggi	15187 Ha	12,5%
Jumlah		122394 Ha	100%

Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026.

Parameter vegetasi yang divisualisasikan pada Gambar 7 dan dirinci pada Tabel 7 menunjukkan dominasi kelas sedang seluas 78.112,58 ha atau 63,8%, diikuti kelas rendah 29.094,42 ha atau 23,7%, serta kelas tinggi 15.187 ha atau 12,5%. Dominasi vegetasi berdaun jarum seperti sawit dan pinus menandakan karakteristik perakaran yang relatif dangkal sehingga memberikan kontribusi moderat terhadap kohesi tanah. Dalam teori bioengineering lereng, jenis vegetasi memengaruhi gaya tahan geser melalui interaksi akar dan struktur tanah, sehingga klasifikasi sedang mencerminkan keseimbangan antara perlindungan permukaan dan potensi infiltrasi (Damayanti et al., 2023). Hasil ini paralel dengan temuan pemetaan vegetasi di wilayah perbukitan yang menunjukkan bahwa tutupan monokultur cenderung menghasilkan stabilitas menengah dibandingkan hutan alami berakar tunjang (Ahmad & Buchori, 2019). Implikasi konseptualnya memperlihatkan bahwa vegetasi tidak hanya berfungsi sebagai elemen ekologis, tetapi sebagai komponen mekanis dalam sistem stabilitas lereng berbasis SIG.

Zona vegetasi berkerawanan rendah yang berasosiasi dengan kawasan hutan lindung memperlihatkan kontribusi akar dalam meningkatkan kohesi tanah dan mengurangi erosi permukaan. Secara teoretis, vegetasi dengan sistem akar dalam meningkatkan faktor keamanan lereng melalui penambahan resistansi mekanik tanah. Model ini mendukung asumsi bahwa intervensi vegetatif merupakan strategi mitigasi pasif yang efektif dalam kerangka pengelolaan risiko longsor (Rosita et al., 2018). Studi komparatif menunjukkan bahwa kawasan hutan lindung memiliki probabilitas kegagalan lereng yang lebih rendah dibanding wilayah terbangun dengan vegetasi minim (Rachmawati et al., 2024). Interpretasi tersebut memperluas makna parameter vegetasi dari sekadar penutup lahan menjadi variabel struktural dalam analisis kerentanan.

Sebaliknya, zona vegetasi berkerawanan tinggi di sekitar permukiman mencerminkan degradasi tutupan vegetatif yang berimplikasi pada meningkatnya limpasan permukaan dan penurunan kohesi tanah. Dalam teori perubahan tata guna lahan, transformasi vegetasi alami menjadi area terbangun memperbesar ketidakseimbangan hidrologi lereng. Pola ini konsisten dengan temuan empiris yang mengaitkan urbanisasi lereng dengan peningkatan risiko longsor melalui perubahan aliran air dan beban tanah (Sholekhah et al., 2021). Integrasi parameter ini dalam model SIG memperlihatkan bahwa faktor antropogenik berperan sebagai penguat kerentanan fisik. Konsekuensinya, analisis vegetasi menjadi instrumen evaluatif untuk membaca interaksi antara dinamika sosial dan stabilitas geomorfik.



Gambar 8. Peta Kelas Longsor Kab. Bengkulu Tengah

Tabel 8. Luas Daerah dan Persentase Luasan Kelas Longsor

No	Kelas Longsor	Luas Daerah (Ha)	Persentase(%)
1.	Rendah	95598 Ha	78%
2.	Sedang	23172 Ha	19%
3.	Tinggi	3624 Ha	3%
Jumlah		122394 Ha	100%

Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026.

Keluaran overlay spasial yang disajikan pada Gambar 8 dan Tabel 8 menghasilkan klasifikasi kelas longsor dengan distribusi 95.598 ha atau 78% pada kelas rendah, 23.172 ha atau 19% pada kelas sedang, dan 3.624 ha atau 3% pada kelas tinggi. Distribusi ini menunjukkan bahwa agregasi tujuh

parameter menghasilkan dominasi stabilitas relatif pada skala regional. Dalam kerangka teori *weighted overlay*, hasil tersebut mencerminkan integrasi linier parameter yang telah dinormalisasi, sehingga indeks akhir merepresentasikan keseimbangan kontribusi faktor fisik (Rochmadi et al., 2020). Studi terdahulu memperlihatkan pola serupa ketika metode pembobotan regulatif diterapkan pada wilayah dengan karakter geomorfologi menengah (Puay et al., 2022). Implikasi konseptualnya mengonfirmasi bahwa pendekatan berbasis regulasi mampu menghasilkan representasi spasial yang konsisten dan dapat direplikasi.

Dominasi kelas rendah pada peta overlay menegaskan bahwa interaksi parameter kegempaan dan vegetasi tidak cukup kuat untuk mendorong eskalasi indeks kerawanan secara regional. Dalam perspektif teori sistem kompleks, stabilitas ini dipahami sebagai hasil keseimbangan antar-parameter yang saling menahan efek ekstrem. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian zonasi yang menekankan pentingnya agregasi parameter dalam membaca risiko spasial secara holistik (Bahrudin, 2018). Pola yang dihasilkan memperlihatkan bahwa kerentanan tidak selalu mengikuti distribusi satu parameter dominan. Konsekuensinya, model overlay berfungsi sebagai alat sintesis yang mengurangi bias interpretatif terhadap faktor tunggal.

Zona kelas sedang hingga tinggi yang terlokalisasi di Kecamatan Taba Penanjung dan Meringgi mengindikasikan area dengan interaksi parameter yang lebih kritis. Secara teoretis, konsentrasi kerawanan pada lokasi tertentu mencerminkan ketidakseimbangan lokal antara gaya pendorong dan penahan lereng. Studi empiris menunjukkan bahwa hotspot kerawanan sering muncul pada wilayah dengan kombinasi kemiringan, vegetasi terdegradasi, dan tata air buruk (Lestari et al., 2019). Hasil ini menguatkan validitas pendekatan multi-parameter dalam mengidentifikasi zona prioritas mitigasi. Implikasinya bersifat strategis karena peta kerawanan dapat langsung diterjemahkan menjadi dasar perencanaan tata ruang berbasis risiko.

Keterpaduan antara parameter kegempaan, vegetasi, dan overlay spasial memperlihatkan bahwa model berbasis Permen PU mampu menangkap dinamika kerentanan secara sistemik. Dalam kerangka metodologi SIG, integrasi data heterogen menghasilkan representasi spasial yang memiliki daya prediktif terhadap distribusi bahaya (Aulia et al., 2024). Temuan ini selaras dengan penelitian yang menegaskan bahwa standarisasi pembobotan meningkatkan konsistensi analisis lintas wilayah (Arrisaldi et al., 2024). Pendekatan tersebut memperluas dimensi teoretis pemetaan longsor dari sekadar inventarisasi menjadi instrumen evaluasi risiko berbasis kebijakan. Konsekuensinya, model ini memiliki nilai aplikatif tinggi untuk mitigasi dan pengelolaan wilayah.

Hubungan antara data empiris dan kerangka teoritis menunjukkan bahwa kerawanan longsor di Kabupaten Bengkulu Tengah merupakan hasil interaksi parameter fisik yang terstruktur. Interpretasi berbasis teori stabilitas lereng menempatkan setiap parameter sebagai komponen sistem yang berkontribusi secara proporsional terhadap indeks akhir (Isdianto & Agustina, 2023). Konsistensi hasil dengan studi zonasi regional memperlihatkan bahwa pendekatan pembobotan regulatif memiliki legitimasi ilmiah yang kuat (Ridha et al., 2024). Sintesis ini menegaskan bahwa pemetaan kerawanan bukan sekadar visualisasi spasial, melainkan konstruksi analitik yang menghubungkan data, teori, dan kebijakan. Kerangka tersebut membuka peluang pengembangan model prediktif yang lebih adaptif terhadap dinamika perubahan lingkungan dan penggunaan lahan.

KESIMPULAN

Hasil integrasi parameter fisik melalui pendekatan pembobotan Permen PU No. 22/PRT/M/2007 menunjukkan bahwa kerawanan longsor di Kabupaten Bengkulu Tengah terbentuk dari interaksi sistemik antara kemiringan lereng, kondisi tanah, litologi, curah hujan, tata air lereng, kegempaan, dan vegetasi yang divisualisasikan melalui overlay SIG menjadi pola spasial yang konsisten dan dapat direplikasi. Dominasi kelas kerawanan rendah pada hasil overlay menegaskan bahwa stabilitas regional ditentukan oleh keseimbangan parameter, sementara zona sedang hingga tinggi yang terlokalisasi mencerminkan konsentrasi faktor pengontrol yang lebih kritis. Analisis parameter kegempaan memperlihatkan kontribusi pemicu yang bersifat sekunder, sedangkan struktur vegetasi berperan sebagai komponen mekanis yang memengaruhi kohesi tanah dan respons hidrologi lereng. Keterpaduan seluruh parameter memperkuat validitas kerangka multi-kriteria berbasis SIG sebagai instrumen evaluasi risiko yang tidak hanya deskriptif, tetapi analitik dan prediktif. Sintesis temuan menegaskan bahwa pemetaan kerawanan longsor berbasis regulasi mampu menjembatani data empiris, teori stabilitas lereng, dan kebutuhan perencanaan mitigasi, sehingga menghasilkan dasar konseptual yang

kokoh bagi pengelolaan wilayah berbasis risiko. Dari peta kelas longsor tersebut dapat lihat bahwa daerah Kabupaten Bengkulu Tengah hampir secara keseluruhan memiliki daerah sensitivitas tingkat kerawanan yang rendah dengan luas 95598 Ha. Yang memiliki sensitivitas tingkat kerawanan sedang hingga tinggi terdapat di Kecamatan Taba Penanjung, Kecamatan Meringgi Kelindang dan Kecamatan Meringgi Sakti. Factor yang medominasi dalam proses analisis Kawasan longsor menggunakan permenpu yaitu curah hujan yang dominan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, K., & Buchori, I. (2019). Identifikasi daerah rawan longsor berbasis SIG di Kecamatan Sumowono. *Teknik PWK (Perencanaan Wilayah Kota)*, 8(2), 59-70. <https://doi.org/10.14710/tpwk.2019.23849>.
- Al Aziya, S. F. (2024). Aplikasi GIS dan Penginderaan Jauh Dalam Identifikasi Daerah Rawan Longsor Menggunakan Metode Analytic Hierarchy Process (Ahp)(Studi Kasus: Desa Gununghalu Dan Sirnajaya). *Jurnal Teknik Geologi: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 6(2), 14-21. <http://dx.doi.org/10.30872/jtgeo.v6i2.12205>.
- Arifin, S., Carolila, I., & Winarso, G. (2006). Implementasi penginderaan jauh dan SIG untuk inventarisasi daerah rawan bencana longsor (Propinsi Lampung). *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 3(1), 77-86. <https://doi.org/10.30536/inderaja.v3i1.3181>.
- Arrisaldi, T., Bima, M. A. A., Yudaputra, A. M., Bisatya, B., Nur, A., Yuliana, T., ... & Wahyuningtyas, D. (2024, May). Identification of landslide vulnerability in the Sendangsari Area, Pajangan District, Bantul, Yogyakarta based on the Weighting Method of Regulation of the Minister of Public Works No. 22/PRT/M/2007. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1339, No. 1, p. 012012). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1339/1/012012>.
- Arrisaldi, T., Radityo, D., Atmojo, H. T., & Ekasara, A. R. (2022). Pemetaan Kerawanan Fisik Longsor Kecamatan Petungkriyono Dengan Metode Pembobotan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 22/PRT/M/2007. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 2(2), 55-69. <https://doi.org/10.31315/imagi.v2i2.9415>.
- Aulia, F., Sasmito, B., & Qoyimah, S. (2024). Pemetaan Ancaman Bencana Tanah Longsor Berbasis Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kecamatan Bener, Kecamatan Loano dan Kecamatan Kaligesing, Kabupaten Purworejo). *Elipsoida: Jurnal Geodesi dan Geomatika*, 7(1), 34-42. <https://doi.org/10.14710/elipsoida.2024.21626>.
- Bahrudin, M. J. U. H. (2018). Zonasi Daerah Rawan Longsor Menggunakan Analisis Sistem Informasi Geografis Berdasarkan Metode AHP Pada Daerah Gunung Kidul Yogyakarta. *Indonesian Journal of Business Intelligence (IJUBI)*, 1(1), 1-8. <https://doi.org/10.21927/IJUBI.V1i1.851>.
- Damayanti, F., Sabri, L. M., & Wahyuddin, Y. (2023). Implementasi Sistem Informasi Geografis Untuk Identifikasi Daerah Rawan Tanah Longsor (Studi Kasus: Kapanewon Dlingo dan Kapanewon Imogiri, Kabupaten Bantul). *Jurnal Geodesi Undip*, 12(2), 101-110. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2023.38044>.
- Indra, N., & Triyatno, T. (2022). Zonasi Rawan Bencana Longsor Pada Das Tarusan Pesisir Selatan Sumatera Barat. *Jurnal Buana*, 6(4), 904-916. <https://doi.org/10.24036/buana.v6i4.2426>.
- Isdianto, I., & Agustina, D. H. (2023). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Menggunakan Program Plaxis (Studi Kasus: Ruas Jalan Gesek-Simpang Busung. Kabupaten Bintan). *Sigma Teknika*, 6(2), 493-502. <https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v6i2.5665>.
- Kompas (2021) Longsor di Bengkulu Tengah Menutupi Badan jalan. www.kompas.com.
- Lestari, S., Nugraha, A. L., & Firdaus, H. S. (2019). Pemetaan risiko tanah longsor kabupaten semarang berbasis sistem informasi geografis. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 160-169. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2019.22477>.
- Nugroho, J. A., Sukojo, B. M., & Sari, I. L. (2009). Pemetaan Daerah Rawan Longsor dengan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Hutan Lindung Kabupaten Mojokerto). *Teknik Geomatika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*.
- Nurohmah, A. (2017). Kajian Resiko Dan Mitigasi Bencana Longsorlahan Di Kecamatan Ngilipar Kabupaten Gunungkidul. *Jurnal Enersia Publik: Energi, Sosial, dan Administrasi Publik*, 1(2). <https://doi.org/10.30588/jep.v1i2.342>.

- Puay, Y., Manek, L. M., Pobas, M., Benu, Y., Renoat, E., & Ora, Y. A. R. (2022). Pemetaan Potensi Bahaya Longsor Di Das Manikin Dengan Menggunakan Analisis Sistem Informasi Geografis. *Partner*, 27(2), 1913-1925. <http://dx.doi.org/10.35726/jp.v27i2.1044>.
- Rachmawati, E., Awaluddin, M., & Nugraha, A. L. (2024). Analisis Ancaman Bencana Longsor Wilayah Terbangun Berbasis Sistem Informasi Geografis (Studi kasus: Kecamatan Banyumanik dan Kecamatan Gunungpati). *Jurnal Geodesi Undip*, 13(2), 508-517. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2024.42356>.
- Ridha, R., Susanti, F., & Yunanti, S. R. (2024). Analisis Zonasi dan Kesesuaian Kebijakan Pemanfaatan Lahan pada Kawasan Bencana Longsor. *Jurnal Spatial Wahana Komunikasi Dan Informasi Geografi*, 24(1), 41-54. <https://doi.org/10.21009/spatial.241.005>.
- Rochmadi, W. A., Firdaus, H. S., & Wahyuddin, Y. (2020). Analisis dan Visualisasi Pemetaan Risiko Bencana Tanah Longsor di Kabupaten Karanganyar Menggunakan Sistem Informasi Geografis dengan Metode Permen PU dan Fuzzy AHP. *Jurnal Geodesi Undip*, 10(1), 40-49. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2021.29621>.
- Rosita, A., Aryanto, D., Noorainy, F., Slamet, M., & Permadi, D. (2018). Daerah Rawan Bencana Geologi Gerakan Tanah Dalam Arah Kebijakan Mitigasi Kabupaten Ciamis. *Jurnal Planologi Unpas*, 5(1), 885-896. <https://doi.org/10.23969/planologi.v5i1.927>.
- Selaby, S., Kusratmoko, E., & Rustanto, A. (2021, November). Landslide Susceptibility in Majalengka Regency, West Java Province. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 884, No. 1, p. 012053). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/884/1/012053>.
- Sholekhah, N. W., Nugraha, A. L., & Awwaluddin, M. (2021). Analisis Ancaman Terhadap Bencana Banjir dan Tanah Longsor pada Wilayah Permukiman di Kabupaten Jepara. *Jurnal Geodesi Undip*, 10(2), 29-35. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2021.30631>.