

PEMODELAN SPASIAL KERAWANAN LONGSOR MENGGUNAKAN METODE AHP DI PULAU JAWA

Safinatunnajah^{1*}, Guruh Samodra², Muhammad Anggri Setiawan²

¹ Program Magister Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Jl. Kaliurang, Sekip Utara, Bulaksumur, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, 55281, Indonesia

² Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Jl. Kaliurang, Sekip Utara, Bulaksumur, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, 55281, Indonesia
email: Safinatunnajah@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Longsor di Pulau Jawa memiliki jumlah yang banyak dengan tingkat kerawanan yang berbeda. Kestabilan lereng dapat dipengaruhi oleh karakteristik topografi, hidrologi, antropogenik dan geologi yang berbeda. Sehingga perlu adanya kajian yang berfungsi untuk mengetahui wilayah rawan longsor dengan menggunakan metode AHP. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi wilayah rawan longsor di Pulau Jawa. Penelitian kerawanan longsor dilakukan dengan cara menerapkan pendekatan heuristik dengan menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dan indeks kerawanan longsor dihitung dengan menggunakan metode weighted overlay. Hasil analisis kerawanan longsor menunjukkan bahwa Zona Vulkanik Tengah yang merupakan kawasan paling rawan, terutama di lereng gunung api aktif seperti Kabupaten Bogor bagian selatan, Bandung Barat, Garut, Wonosobo, Magelang, Boyolali, dan Malang bagian selatan. Zona Pegunungan Selatan juga tergolong rawan, dengan wilayah seperti Trenggalek, Pacitan, Gunungkidul bagian barat, dan Wonogiri. Zona Depresi Tengah menunjukkan tingkat kerawanan sedang hingga tinggi seperti Grobogan, Blora, Nganjuk, Lamongan bagian selatan, dan Bojonegoro. Sebaliknya, Zona Pegunungan Lipatan Utara seperti Indramayu, Subang, dan Gresik memiliki tingkat kerawanan yang relatif rendah.

Kata Kunci: Longsor; Analytical Hierarchy Process; Kerawanan

ABSTRACT

[Title: Spatial Modeling Of Landslide Susceptibility Using Ahp Method In Java Island] Landslides in Java Island have a large number with different levels of susceptibility. Slope stability can be affected by different topographic, hydrological, anthropogenic and geological characteristics. Therefore, a study is identify landslide prone areas using AHP method. This study aims to identify landslide prone areas in Java Island. Landslide susceptibility research was conducted by applying heuristic approach using Analytical Hierarchy Process (AHP) method and landslide susceptibility index was calculated using weighted overlay method. The results of landslide susceptibility analysis show that the Central Volcanic Zone is the most vulnerable area, especially on the slopes of active volcanoes such as southern Bogor Regency, West Bandung, Garut, Wonosobo, Magelang, Boyolali, and southern Malang. The Southern Mountainous Zone is also vulnerable, with areas such as Trenggalek, Pacitan, western Gunungkidul, and Wonogiri. The Central Depression Zone shows moderate to high susceptibility such as Grobogan, Blora, Nganjuk, southern Lamongan and Bojonegoro. In contrast, the Northern Fold Mountains Zone such as Indramayu, Subang and Gresik has a relatively low level of susceptibility.

Keywords: Landslide; Analytical Hierarchy Process; Susceptibility

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara rawan bencana, khususnya bencana hidrometeorologi seperti longsor. Kerawanan ini dipengaruhi oleh letak geografis Indonesia yang berada di zona pertemuan tiga lempeng aktif, sehingga menghasilkan kondisi geomorfologi yang kompleks dan tidak stabil (Bachri et al., 2021). Longsor terjadi akibat kombinasi faktor pengontrol dan pemicu, seperti morfologi lahan, jenis material, vegetasi, curah hujan, dan aktivitas seismik (Samodra,

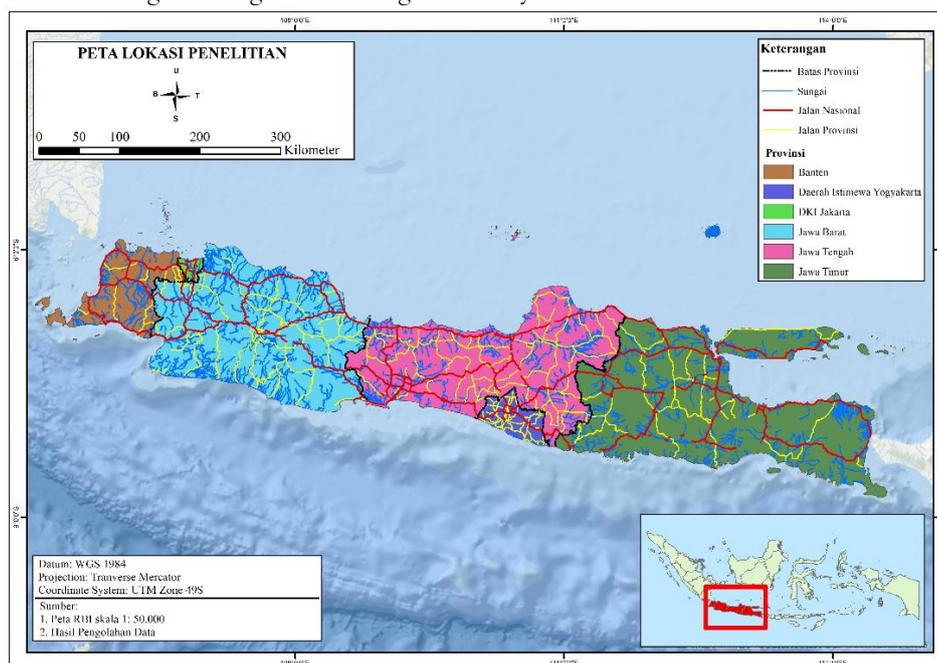
2024). Faktor-faktor lain yang memperparah longsor meliputi aktivitas manusia, seperti penebangan pohon liar, pembangunan di lereng curam, serta kepadatan penduduk di daerah perbukitan (Zaruba & Mencl, 1982; Hanifa & Suwardi, 2023). Data informasi bencana Indonesia mengungkapkan bahwa longsor menjadi bencana paling sering terjadi ketiga setelah banjir dan cuaca ekstrem dengan rincian kejadian dalam enam tahun terakhir adalah 642 kali di 2018, 734 kali di 2019, 1160 kali di 2020, 1038 kali di 2021, 884 kali

di 2022 dan 430 kali di tahun 2023. Pusdalops BNPB mencatat dampak keseluruhan yang terjadi akibat longsor sejak tahun 2018-2022 yaitu 635 orang meninggal, 57 orang hilang, 764 orang terluka, 13787 rumah rusak dan 705 fasilitas umum rusak (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2024). Pulau Jawa menjadi wilayah dengan tingkat kerawanan longsor tertinggi, terutama di Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur, akibat dominasi tanah residu dan tingkat pelapukan tinggi (PVMBG, 2024). Selain dampak langsung seperti korban jiwa dan kerusakan sarana, longsor juga berdampak tidak langsung berupa hilangnya lapisan tanah subur yang menurunkan produktivitas pertanian (Chowdhury & Flentje, 2014). Berdasarkan latar belakang, upaya mitigasi melalui zonasi wilayah rawan longsor menjadi langkah penting untuk mengetahui wilayah rawan longsor di Pulau Jawa. Zonasi ini dapat dilakukan melalui tiga pendekatan utama, yakni heuristic (berbasis pengetahuan), fisik (berbasis analisis stabilitas lereng), dan statistik (berbasis data) (Samodra et al., 2017; Fell et al., 2008). Pendekatan berbasis heuristic adalah pendekatan kualitatif dengan mengevaluasi longsor

aktual dibandingkan dengan karakteristik geologi atau geomorfologi dan diberikan penilaian kerawanan yang menggambarkan luasnya longsor dan proses geomorfologi di area global dengan skala kecil (Samodra et al., 2017). Pendekatan heuristic dapat menggunakan metode AHP. Metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*) merupakan metode yang digunakan untuk membuat peta zona kerawanan longsor karena dapat mengintegrasikan secara sistematis berbagai faktor yang berkontribusi terhadap longsor dan mengukur kepentingan relatif faktor-faktor tersebut melalui kerangka kerja yang terstruktur untuk penelitian dengan skala kecil di wilayah yang luas seperti Pulau Jawa.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Pulau Jawa dengan luas daerah kajian sekitar 128.297 km². Pulau ini memiliki 6 provinsi dan pulau-pulau kecil disekitarnya, yaitu Banten, Jawa Barat, DKI Jakarta, Jawa Tengah, Yogyakarta dan Jawa Timur (**Gambar 1**). Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu data sekunder.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah DEM SRTM 30 m (<https://earthexplorer.usgs.gov>) untuk identifikasi variable elevasi, kemiringan lereng, *profile curvature*, *plan curvature*, *topographic wetness index*, *stream power index* dan *aspect*. Peta RBI skala 1: 250.000 dari Badan Informasi Geospasial (<https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/>) untuk mengetahui informasi administrasi dan tutupan lahan. Peta geologi skala 1:250.000 dari Kementrian ESDM (<https://geologi.esdm.go.id/geomap>) untuk

mengetahui formasi geologi. Variabel kemiringan lereng didapatkan melalui *slope tool* dan *reclassify* pada QGIS, elevasi didapat dari analisis *hillshade* dan *reclassify*, *profile curvature* dan *plan curvature* didapat dari analisis menggunakan *curvature tools*, selanjutnya untuk variabel *aspect* dilakukan analisis menggunakan *aspect tools*. Tahapan variabel *topographic wetness index* yang dilakukan meliputi perhitungan arah aliran (*flow direction*), akumulasi aliran (*flow accumulation*), dan kemiringan lereng. Nilai TWI diperoleh melalui *Raster*

Calculator dengan mengkombinasikan nilai akumulasi aliran dan kemiringan lereng berdasarkan persamaan Moore et al., (1991):

$$TWI = \ln(\text{flow accumulation} / \tan \text{slope}) \quad (1)$$

$$\alpha = (\text{flow accumulation} + 1) \times \text{cell size} \quad (2)$$

Analisis variabel *stream power index* dilakukan menggunakan perangkat lunak QGIS melalui fitur *Hydrology*. Nilai SPI diperoleh dengan menggunakan fungsi *Raster Calculator*, melalui penggabungan antara nilai akumulasi aliran dan kemiringan lereng. Persamaan yang digunakan mengacu pada Moore et al., (1991) yaitu:

$$SPI = \ln\{(As + 0,001) \times ((\tan\beta/100) + 0,001)\} \quad (3)$$

Dengan As merupakan akumulasi aliran, dan $\tan \beta$ adalah nilai kemiringan lereng dalam persen. Nilai logaritma natural (\ln) digunakan untuk menstabilkan variasi data yang ekstrem. Hasil perhitungan SPI kemudian diklasifikasikan ulang ke dalam beberapa kelas untuk mempermudah interpretasi spasial.

Pemetaan wilayah kerawanan longsor dibobot dan diskoring menggunakan metode AHP, dengan menggunakan teknik perbandingan berpasangan yang menggambarkan pengaruh setiap parameter dan sub parameter dengan intensitas kepentingan dinilai dari 1 hingga 9 dengan perantara 2, 4, 6, dan 8 (Saaty, 1980). Penentuan nilai prioritas setiap kelas parameter kerawanan longsor menggunakan kepadatan titik longsor. Kepadatan titik longsor merupakan rasio jumlah kejadian longsor terhadap luas wilayah tertentu, yang dinyatakan dalam satuan kejadian per kilometer persegi. Data jumlah kejadian longsor diperoleh dari BNPB, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), PAMOR (Pusat Data Emergency Operation) DIY, Sistem Informasi Kebencanaan Kabupaten (SIKK) Magelang, dan pemberitaan dari media massa. Nilai kepadatan titik longsor dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kepadatan titik longsor} = \frac{\text{Jumlah kejadian longsor}}{\text{Luas area (km}^2\text{)}} \quad (4)$$

Nilai kepadatan ini digunakan untuk mengidentifikasi wilayah dengan intensitas longsor yang tinggi, sehingga dapat mencerminkan tingkat kerawanan suatu area. Tahap selanjutnya adalah menghitung konsistensi logis untuk menilai apakah bobot sudah konsisten. Perhitungan ini dilakukan dengan menghitung consistency index (CI) dan consistency ratio (CR). Hasil perhitungan CI kemudian dapat digunakan untuk menentukan CR dengan membaginya dengan nilai random index (RI) menggunakan rumus (Saaty 1977):

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (5)$$

$$CR = CI / RI \quad (6)$$

CI merupakan *consistency index*, λ_{\max} merupakan *maximal eigenvalue*, n merupakan jumlah parameter, RI

merupakan *ratio index*, dan CR merupakan *consistency ratio*

Apabila nilai perbandingan $CR < 0.1$ (10%), maka keputusan yang diambil dari matriks perbandingan dianggap konsisten. Hasil dari bobot parameter dan skoring sub parameter (kelas setiap parameter) yang didapatkan dari pengolahan AHP yang dapat diterima maka dapat digunakan untuk menghitung indeks kerawanan longsor dengan metode *weighted overlay*. Analisis *weighted overlay* adalah metode dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) yang digunakan untuk menggabungkan berbagai layer spasial dengan bobot tertentu berdasarkan tingkat kepentingannya menggunakan persamaan (Kadapa., 2024):

$$LS = \sum_{i=1}^n W_i \times R_i \quad (7)$$

LS adalah skor total kerawanan diperoleh dengan menggunakan fungsi *Raster Calculator*. W_i adalah bobot dari kriteria AHP, R_i adalah skor dari kelas pada parameter, dan n adalah jumlah seluruh parameter yang digunakan dalam analisis. Setelah nilai kerawanan dari hasil *weighted overlay* diperoleh, selanjutnya adalah mengklasifikasikan wilayah studi ke dalam lima kelas utama kerawanan longsor (skala 1-5) yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi (Kadapa., 2024)

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Faktor Pengontrol longsor

Kejadian longsor dipengaruhi oleh faktor topografi, hidrologi, antropogenik, dan geologi. Faktor topografi meliputi elevasi, kemiringan lereng, dan arah hadap lereng, yang memengaruhi kestabilan lereng. Faktor hidrologi terkait aliran air dan kejenuhan tanah, sedangkan faktor antropogenik mencakup perubahan tutupan lahan. Faktor geologi berhubungan dengan formasi geologi yang mempengaruhi kekuatan lereng. Untuk mendukung analisis, dilakukan perhitungan kepadatan titik longsor, yaitu rasio jumlah kejadian longsor terhadap luas wilayah setiap kelas parameter. Nilai kepadatan ini digunakan untuk mengidentifikasi wilayah rawan longsor dan mengevaluasi kontribusi masing-masing faktor pengontrol terhadap kejadian longsor.

a. Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng dibagi dalam lima kelas: $0-8^\circ$, $8-15^\circ$, $15-25^\circ$, $25-45^\circ$, dan $>45^\circ$ (Samodra, et al., 2017). Peta kemiringan lereng Pulau Jawa (**Gambar 3a**) menunjukkan distribusi kemiringan yang bervariasi, dengan kelas lereng curam mendominasi wilayah bergunung dan vulkanik aktif. Kepadatan longsor (**Gambar 4a**) cenderung meningkat seiring bertambahnya kemiringan, dengan nilai terendah pada kelas $0-8^\circ$ (0,0146), karena gaya gravitasi yang kecil dan kondisi lereng yang umumnya stabil. Kelas $8-15^\circ$

menunjukkan peningkatan kepadatan menjadi 0,0347, seiring bertambahnya gaya geser dan meningkatnya aktivitas manusia. Pada kelas 15–25°, nilai kepadatan mencapai 0,0539, mencerminkan kestabilan lereng yang semakin menurun. Kepadatan tertinggi terjadi pada kelas 25–45° sebesar 0,0545, karena dominasi gaya geser serta pengaruh aktivitas antropogenik. Namun, pada lereng sangat curam (>45°), kepadatan menurun menjadi 0,0373, kemungkinan karena keterbatasan pemanfaatan lahan di medan yang sulit dijangkau. Temuan ini mendukung hasil penelitian Kadapa (2024) dan Abay et al. (2019), serta memperkuat pemahaman bahwa longsor umumnya terjadi di lereng curam akibat tingginya tegangan geser dan peningkatan tekanan pori tanah saat hujan (Samodra et al., 2017).

b. Elevasi

Elevasi dibagi menjadi lima kelas: <300 m, 300–400 m, 400–500 m, 500–600 m, dan >600 m (Achour & Pourghasemi, 2020). Peta elevasi (**Gambar 3.b**) Pulau Jawa menunjukkan bahwa bagian selatan dan tengah Pulau Jawa didominasi oleh elevasi menengah hingga tinggi (500–600 m), yang cenderung memiliki potensi kerawanan longsor lebih tinggi karena lereng curam dan tanah yang lebih mudah tererosi. Sementara itu, wilayah utara dan sebagian kecil barat dan timur didominasi oleh elevasi <300 m, yang lebih datar dan memiliki potensi longsor lebih rendah. Pada elevasi <300 m (**Gambar 4.b**), kepadatan longsor tercatat paling rendah, yaitu 0,0181, karena topografi yang datar menyebabkan gaya gravitasi lebih kecil dan aliran air lebih mudah tersalurkan. Pada elevasi menengah (300–400 m dan 400–500 m), kepadatan longsor meningkat, masing-masing mencapai 0,0514 dan 0,0462, karena kemiringan lereng yang lebih curam dan aktivitas manusia yang lebih sering, seperti pembukaan hutan. Puncak kepadatan longsor terjadi pada elevasi 500–600 m dengan nilai 0,0586, yang dianggap sebagai zona kritis longsor. Pada elevasi tinggi (>600 m), meskipun lereng curam, kepadatan longsor sedikit menurun menjadi 0,0517, kemungkinan karena berkurangnya aktivitas manusia dan kondisi tanah yang lebih stabil. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa elevasi menengah hingga tinggi lebih rawan longsor, terutama jika dipengaruhi curah hujan tinggi dan gangguan antropogenik (Van Westen et al., 2003; Guzzetti et al., 2000).

c. Profile Curvature

Profile curvature menggambarkan kelengkungan lereng sejajar dengan arah aliran air. *Profile curvature* dibagi ke dalam tiga kelas, yaitu: < -0,3, -0,3 hingga 0,8 dan > 0,8 (Samodra et al., 2017). Secara spasial (**Gambar 3c**), daerah dengan kelas *profile curvature* <

-0,3 cenderung berada di kaki lereng atau lembah yang berbentuk cekung. Zona ini merupakan area akumulasi air dan material sedimen, sehingga memiliki potensi longsor tinggi akibat peningkatan tekanan pori dan penurunan kekuatan geser tanah. Kelas -0,3 hingga 0,8 menggambarkan area transisi yang relatif stabil dengan longsor sedang, tergantung faktor lain seperti tutupan lahan dan curah hujan. Adapun kelas > 0,8 menggambarkan lereng cembung seperti punggung bukit, yang memiliki sistem drainase permukaan baik dan akumulasi air rendah, sehingga potensi longsornya juga relatif rendah. Hasil analisis (**Gambar 4c**) kepadatan longsor tertinggi terdapat pada kelas < -0,3 (cekung), dengan nilai 5,889. Pada kelas -0,3 hingga 0,8, nilai kepadatan longsor menurun drastis menjadi 0,2079, dan mencapai nilai terendah sebesar 0,00095 pada kelas > 0,8 (cembung). Pola ini memperkuat pemahaman bahwa kelengkungan lereng berperan penting dalam menentukan tingkat kerawanan longsor. Temuan ini selaras dengan hasil penelitian Achour & Pourghasemi (2020), Agboola et al. (2024), dan Guzzetti et al. (2006), yang menekankan pentingnya *profile curvature* dalam pemodelan spasial kerawanan longsor, khususnya bila dikombinasikan dengan variabel lain seperti kemiringan, jenis tanah, dan penggunaan lahan.

d. Plan Curvature

Plan curvature dibagi ke dalam tiga kelas, yaitu: < -0,3, -0,3 hingga 0,8 dan > 0,8 (Samodra et al., 2017). Berdasarkan analisis spasial (**Gambar 3d**) diketahui bahwa wilayah dengan kelengkungan lateral negatif (< -0,3) mendominasi bagian utara dan barat Pulau Jawa. Zona ini berkorelasi dengan area akumulasi aliran air yang rawan terhadap peningkatan tekanan air pori, sehingga meningkatkan ketidakstabilan lereng. Sebaliknya, area dengan *plan curvature* positif (> 0,8) menggambarkan permukaan cembung yang berpotensi menjadi titik awal retakan tanah akibat proses dispersi aliran dan pelapukan batuan. Hasil analisis (**Gambar 4d**) menunjukkan bahwa kelas < -0,3 memiliki nilai kepadatan longsor tertinggi, yaitu sebesar 10,139. Hal ini menunjukkan hubungan kuat antara kelengkungan cekung secara lateral dan frekuensi kejadian longsor. Permukaan tanah cekung menyebabkan akumulasi air yang lebih tinggi, sehingga tekanan air pori dalam tanah meningkat dan kestabilan lereng menurun. Sementara itu, pada kelas -0,3 hingga 0,8 (netral) dan > 0,8 (cembung), nilai kepadatan longsor sangat rendah. Zona netral merupakan area transisi aliran, sedangkan zona cembung menyebarkan aliran, sehingga akumulasi air dan longsor cenderung rendah. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya oleh Moore et al. (1991), Montgomery & Dietrich (1994),

Achour & Pourghasemi (2020), serta Agboola et al. (2024) yang menegaskan bahwa *plan curvature* memiliki pengaruh signifikan terhadap distribusi longsor. Oleh karena itu, parameter ini penting dalam pemodelan spasial kerawanan longsor, terutama bila dikombinasikan dengan variabel lain.

e. *Aspect*

Aspect menggambarkan arah hadap kemiringan lereng terhadap mata angin dan berpengaruh terhadap intensitas penyinaran matahari (insolasi). Berdasarkan peta *aspect* pulau Jawa (**Gambar 3e**) diklasifikasikan menjadi delapan kelas arah mata angin, yaitu utara, timur laut, timur, tenggara, selatan, barat daya, barat, dan barat laut (Kadapa, 2024). Dari hasil analisis antara *aspect* dan kepadatan longsor (**Gambar 4e**), diketahui bahwa lereng yang menghadap ke arah barat memiliki kepadatan longsor tertinggi, yaitu sebesar 0,034. Hal ini berkaitan dengan karakteristik radiasi matahari yang tinggi pada sore hari di sisi barat, yang menyebabkan peningkatan suhu tanah. Proses ini mempercepat penguapan air tanah dan pelapukan tanah, baik secara fisik maupun kimia, sehingga melemahkan ikatan partikel tanah. Akibatnya, lereng menjadi lebih rawan terhadap kejenuhan air saat hujan dan berpotensi mengalami longsor (Rajakumar et al., 2007; Quan & Lee, 2012). Sebaliknya, kepadatan longsor terendah tercatat pada lereng yang menghadap ke utara, yaitu sebesar 0,026. Lereng ini cenderung memiliki kelembaban tanah yang lebih stabil dan perlindungan vegetasi yang lebih baik karena tidak terpapar radiasi matahari secara langsung sepanjang hari. Kondisi tersebut memperkuat struktur tanah dan mengurangi longsor. Temuan ini diperkuat oleh penelitian Singh et al. (2024), yang menunjukkan bahwa arah lereng berpengaruh signifikan terhadap kelembaban dan proses pelapukan tanah di wilayah tropis dan subtropis.

f. *Topographic Wetness Index (TWI)*

Analisis dilakukan menggunakan Hydrology Tool pada perangkat lunak QGIS, melalui tahapan perhitungan arah aliran (*flow direction*), akumulasi aliran (*flow accumulation*), serta kemiringan lereng. Nilai TWI diperoleh menggunakan Raster Calculator dengan rumus yang dikembangkan oleh Moore et al. (1991). Berdasarkan (**Gambar 3f**) nilai TWI Pulau Jawa diklasifikasikan ke dalam tujuh kelas, yaitu: 0–2, 2–4, 4–6, 6–8, 8–10, 10–12, dan >12 (Samodra et al., 2017). Berdasarkan grafik hubungan antara TWI dan kepadatan longsor (**Gambar 4f**) diketahui kepadatan longsor paling tinggi ditemukan pada kelas TWI >12. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah dengan potensi akumulasi air yang tinggi cenderung lebih rawan terhadap longsor. Sebaliknya, pada kelas TWI rendah hingga sedang (0–12), kepadatan longsor cenderung lebih stabil dan rendah, yang dapat

dikaitkan dengan kemampuan drainase alami atau kemiringan lereng yang lebih curam sehingga tidak terjadi penumpukan air signifikan. Temuan ini konsisten dengan penelitian Beven & Kirkby (1979) serta Samodra et al. (2017), yang menyatakan bahwa TWI secara efektif menggambarkan distribusi spasial kelembaban tanah berdasarkan bentuk lereng dan pola aliran. Dengan demikian, TWI merupakan parameter penting dalam pemodelan spasial kerawanan longsor, khususnya pada wilayah berlereng curam dan beriklim lembap.

g. *Stream Power Index (SPI)*

Stream power index digunakan untuk menggambarkan energi erosi dari aliran permukaan. Proses analisis dilakukan melalui *Hydrology Tool* di QGIS, mencakup perhitungan arah aliran, akumulasi aliran, dan kemiringan lereng. Nilai SPI dihitung menggunakan persamaan dari Moore et al. (1991). Hasil SPI (**Gambar 3g**) diklasifikasikan ke dalam lima kelas yaitu 0–3, 3–12, 12–50, 50–400, dan >400 (Samodra et al., 2017). Nilai SPI tinggi menunjukkan energi aliran yang besar dan berpotensi menyebabkan erosi serta memicu longsor, terutama pada daerah dengan akumulasi aliran besar dan kemiringan curam. Berdasarkan hubungan antara SPI dan kepadatan longsor (**Gambar 4g**) diketahui bahwa kepadatan longsor tertinggi terjadi pada kelas SPI > 400, menunjukkan hubungan kuat antara SPI tinggi dan kejadian longsor. Temuan ini sesuai dengan penelitian Moore et al. (1991), Samodra et al. (2017), dan Agboola et al. (2024) yang menekankan relevansi SPI dalam pemodelan kerawanan longsor.

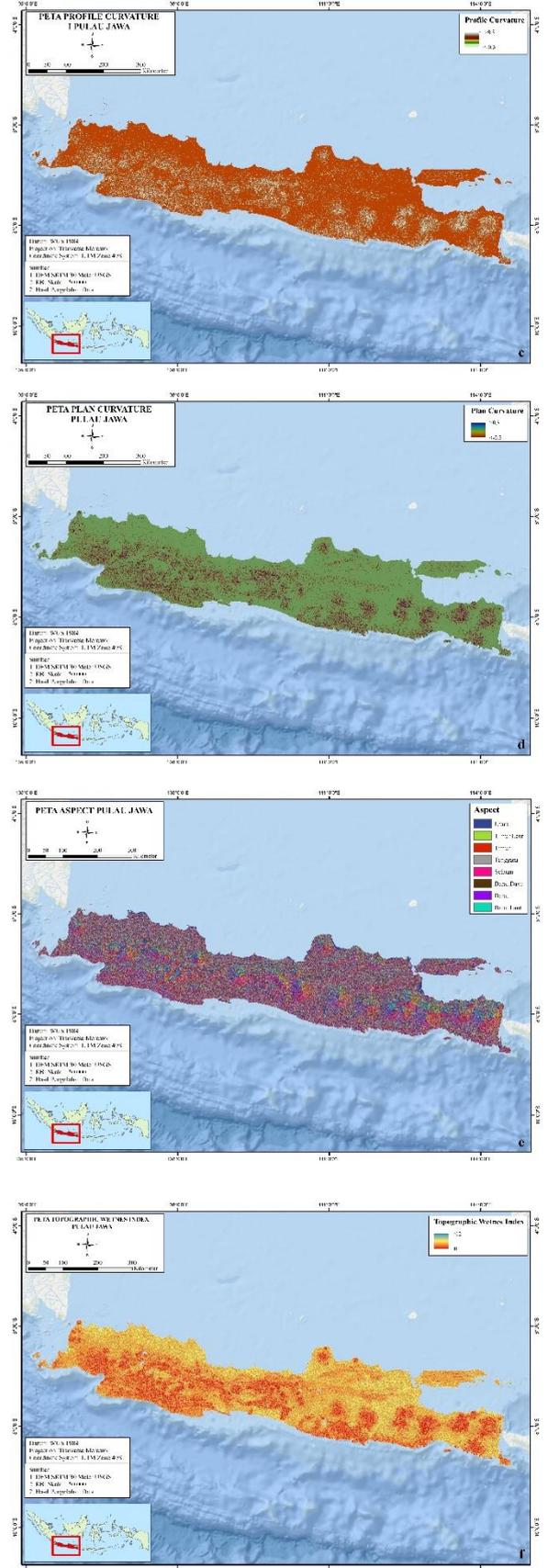
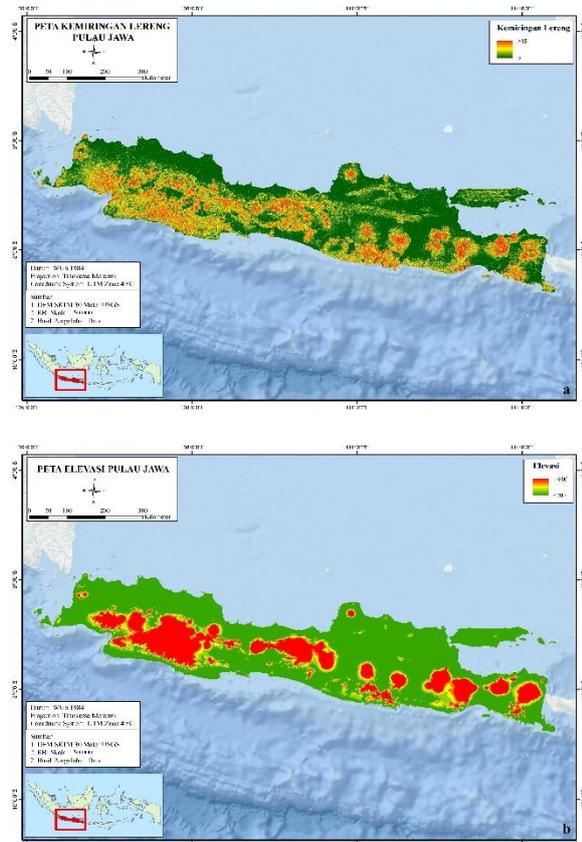
h. Tutupan Lahan

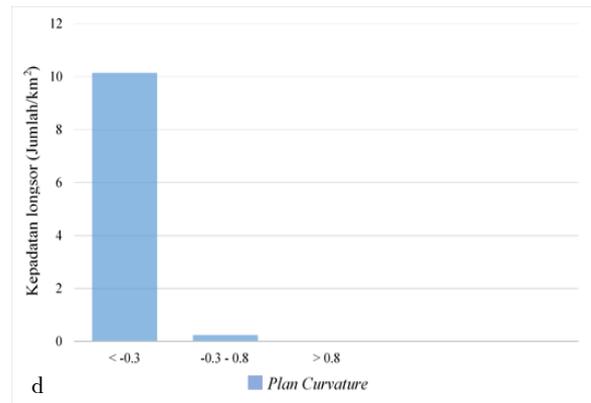
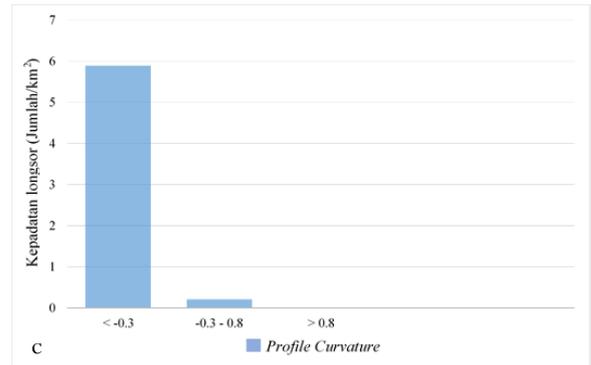
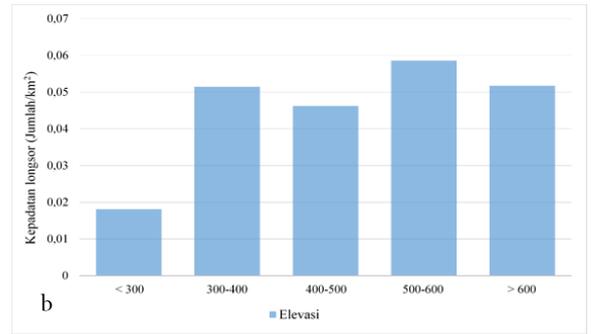
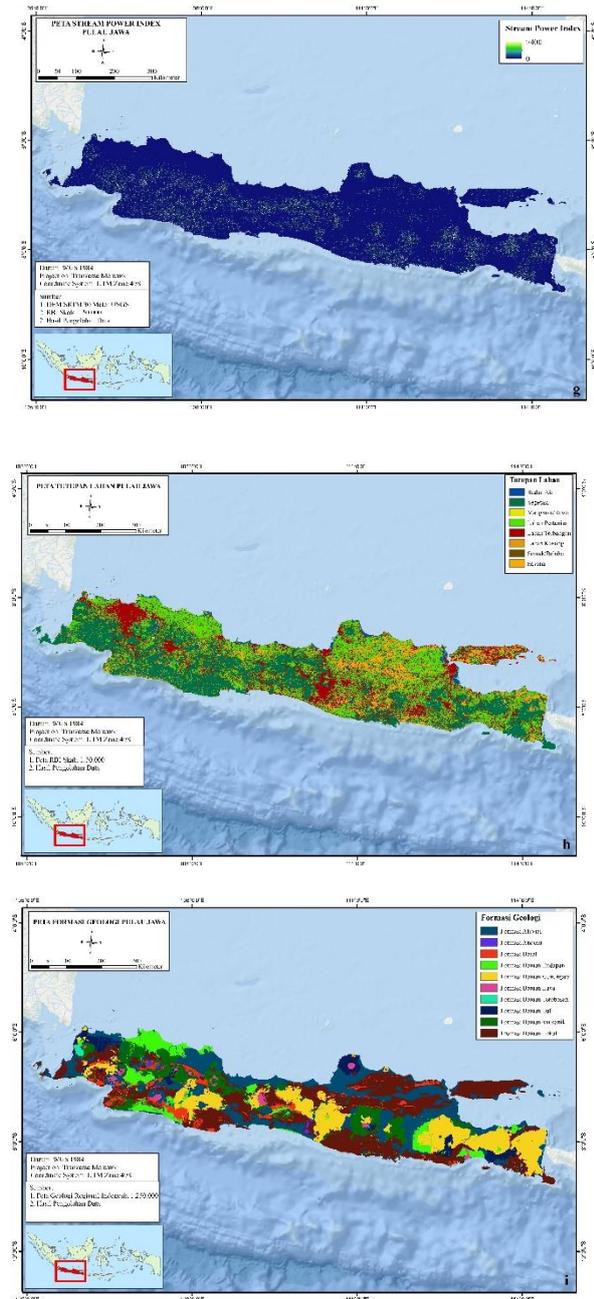
Peta tutupan lahan Pulau Jawa (**Gambar 3h**) menunjukkan delapan kategori utama, yaitu vegetasi, lahan pertanian, lahan terbangun, lahan kosong, semak-belukar, mangrove/rawa, savana, dan badan air (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024). Sebagian besar Pulau Jawa didominasi oleh lahan pertanian dan lahan terbangun, khususnya di wilayah tengah dan utara, sedangkan vegetasi alami dan hutan tersebar di pegunungan selatan dan tengah. Berdasarkan hubungan antara jenis tutupan lahan dan kepadatan longsor (**Gambar 4h**) diketahui bahwa jenis tutupan semak-belukar memiliki densitas longsor tertinggi sebesar 0,1046. Hal ini dikaitkan dengan sistem perakaran dangkal yang tidak cukup kuat menahan tanah. Mangrove/rawa juga menunjukkan 0,0134 karena kondisi tanah jenuh air. Sebaliknya, vegetasi alami dan lahan terbangun memiliki densitas lebih rendah masing-masing 0,004237 dan 0,004231, meskipun tetap berpotensi longsor jika terjadi perubahan lahan tanpa penguatan lereng (Samodra et al., 2017). Tutupan badan air, savana, dan lahan pertanian mencatat densitas longsor terendah,

kemungkinan karena karakteristik fisik yang tidak mendukung longsor atau berada di dataran rendah.

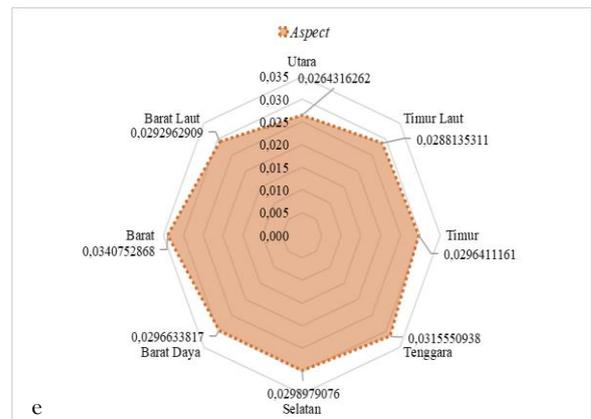
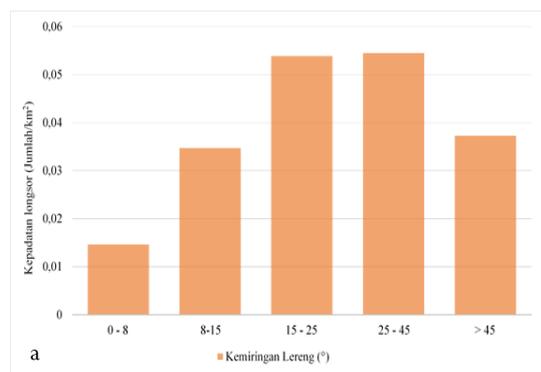
i. Formasi Geologi

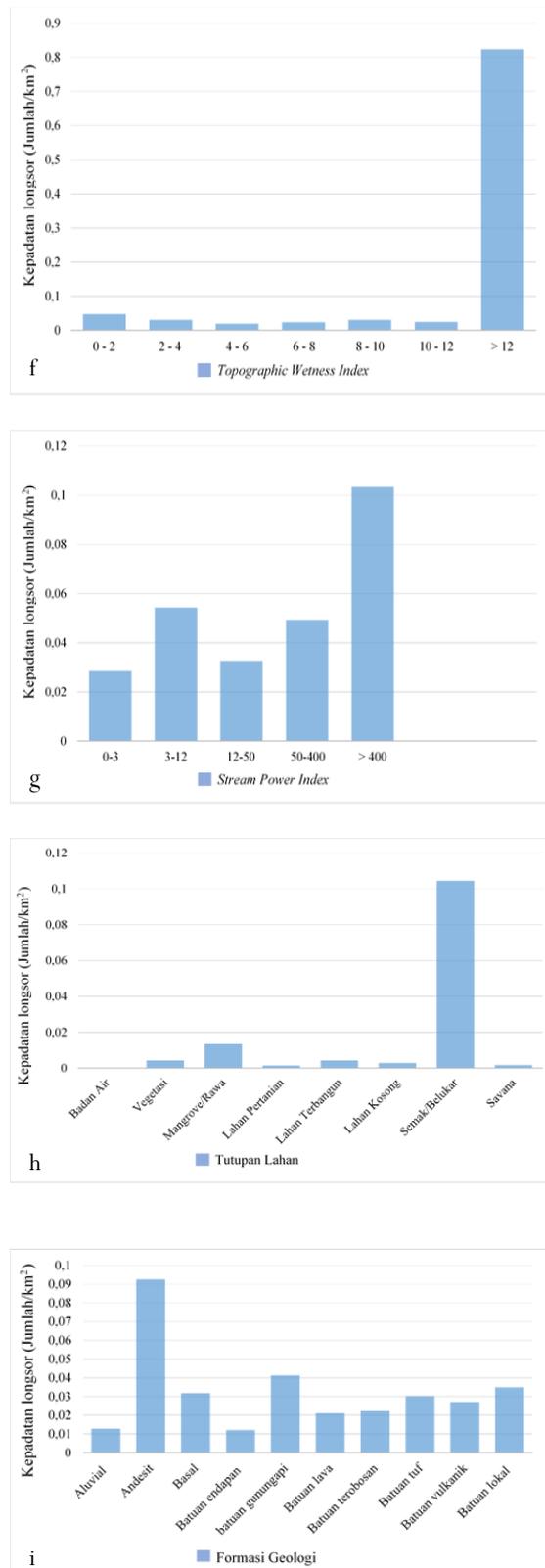
Berdasarkan peta formasi geologi Pulau Jawa (**Gambar 3i**) dibagi ke dalam sepuluh kelas, antara lain formasi aluvial, andesit, basal, batuan endapan, batuan gunungapi, lava, batuan terobosan, tuf, batuan vulkanik, dan batuan lokal. Hasil analisis hubungan antara formasi geologi dan kepadatan longsor (**Gambar 4i**) diketahui bahwa Formasi Andesit memiliki densitas longsor tertinggi sebesar 0,09266. Meskipun keras, batuan andesit rawan terhadap pelapukan di iklim tropis lembap, yang melemahkan kekuatan mekaniknya (Van Zuidam, 1986). Formasi batuan gunungapi (0,04131) dan batuan lokal (0,03497) juga menunjukkan densitas tinggi karena tersusun dari material lepas dan tidak seragam yang tidak stabil pada lereng terjal (Cruden & Varnes, 1996). Sebaliknya, formasi batuan endapan (0,01208) dan aluvial (0,01277) memiliki densitas longsor rendah, kemungkinan karena lokasinya yang relatif datar sehingga mengurangi gaya gravitasi pemicu longsor. Temuan ini mendukung studi Agboola et al. (2024) dan Kadapa (2024), yang menyatakan bahwa litologi sangat memengaruhi stabilitas lereng, menjadikan analisis geologi krusial dalam pemetaan kerawanan longsor.





Gambar.3 Faktor pengontrol longsor: (a) kemiringan lereng, (b) elevasi, (c) *profile curvate*, (d) *plan curvature*, (e) *aspect*, (f) *topographic wetness index*, (g) *stream power index*. (h) tutupan lahan, (i) formasi geologi





Gambar.4 Hubungan faktor pengontrol dan kepadatan longsor: (a) kemiringan lereng, (b) elevasi, (c) *profile curvatute*, (d) *plan curvature*, (e) *aspect*, (f) *topographic wetness index*, (g) *stream power index*. (h) tutupan lahan, (i) formasi geologi

B. Penentuan Nilai Prioritas Setiap Kelas Parameter Kerawanan Longsor

Penentuan nilai prioritas parameter merupakan langkah penting dalam penyusunan peta kerawanan longsor. Nilai ini dihitung berdasarkan kepadatan titik longsor menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Kemiringan lereng 25–45° memiliki skor tertinggi (0,4136), menandakan tingkat kerawanan longsor tertinggi, karena lereng curam meningkatkan gaya gravitasi yang memicu longsor. Elevasi 500–600 meter menunjukkan skor tertinggi (0,3831), diikuti oleh >600 meter (0,2158), yang mengindikasikan bahwa wilayah dataran tinggi lebih rawan terhadap longsor. Kategori cekung dalam *profile curvature* (< -0,3) memperoleh skor tertinggi (0,7854), karena bentuk cekung memungkinkan akumulasi air dan massa tanah yang meningkatkan longsor. *Plan curvature* cekung (< -0,3) juga memiliki skor tertinggi (0,7854), yang menunjukkan korelasi dengan kepadatan longsor yang tinggi. Pada *aspect* atau arah lereng, arah barat memiliki skor tertinggi (0,2479), tenggara (0,1964), sedangkan utara dan barat laut memiliki skor terendah, menunjukkan variasi kerawanan berdasarkan arah lereng. Nilai TWI >12 memperoleh skor tertinggi (0,5341), menandakan bahwa wilayah dengan kelembapan tinggi lebih rawan terhadap longsor. SPI >400 mendapatkan skor tertinggi (0,5982), yang mengindikasikan bahwa wilayah dengan energi aliran tinggi lebih rawan longsor. Untuk tutupan lahan, kategori semak belukar memperoleh skor tertinggi (0,4284), diikuti oleh rawa (0,2403), yang menunjukkan bahwa jenis lahan ini cenderung tidak stabil dan kurang memiliki sistem akar yang kuat. Untuk formasi batuan, kategori formasi andesit memperoleh skor tertinggi (0,3858), menunjukkan dominansi dalam memengaruhi kejadian longsor, sementara formasi batuan lain seperti gunungapi dan basal juga memiliki skor cukup tinggi.

C. Pembobotan Masing-Masing Parameter

Kerawanan Longsor

Dalam kajian pemetaan kerawanan longsor, penentuan bobot dilakukan untuk menilai pengaruh relatif masing-masing parameter terhadap potensi longsor menggunakan metode AHP. Tingkat kepentingan masing-masing parameter ditentukan berdasarkan tinjauan literatur ilmiah yang relevan, serta disesuaikan dengan karakteristik wilayah studi. Studi literatur tersebut memberikan landasan teoritis mengenai peran dan pengaruh setiap faktor. Selanjutnya proses pembobotan menghasilkan nilai yang kemudian dinormalisasi.

Tabel 1. Bobot Antar Parameter Kerawanan Longsor

Parameter	Bobot
Kemiringan Lereng	0,3411
Elevasi	0,231
Formasi	0,1559
Tataguna Lahan	0,0885
<i>Plan Curvature</i>	0,0622
<i>Profile Curvature</i>	0,0626
<i>Aspect</i>	0,0231
SPI	0,0218
TWI	0,0139

Sumber: Hasil Olah Data (2025)

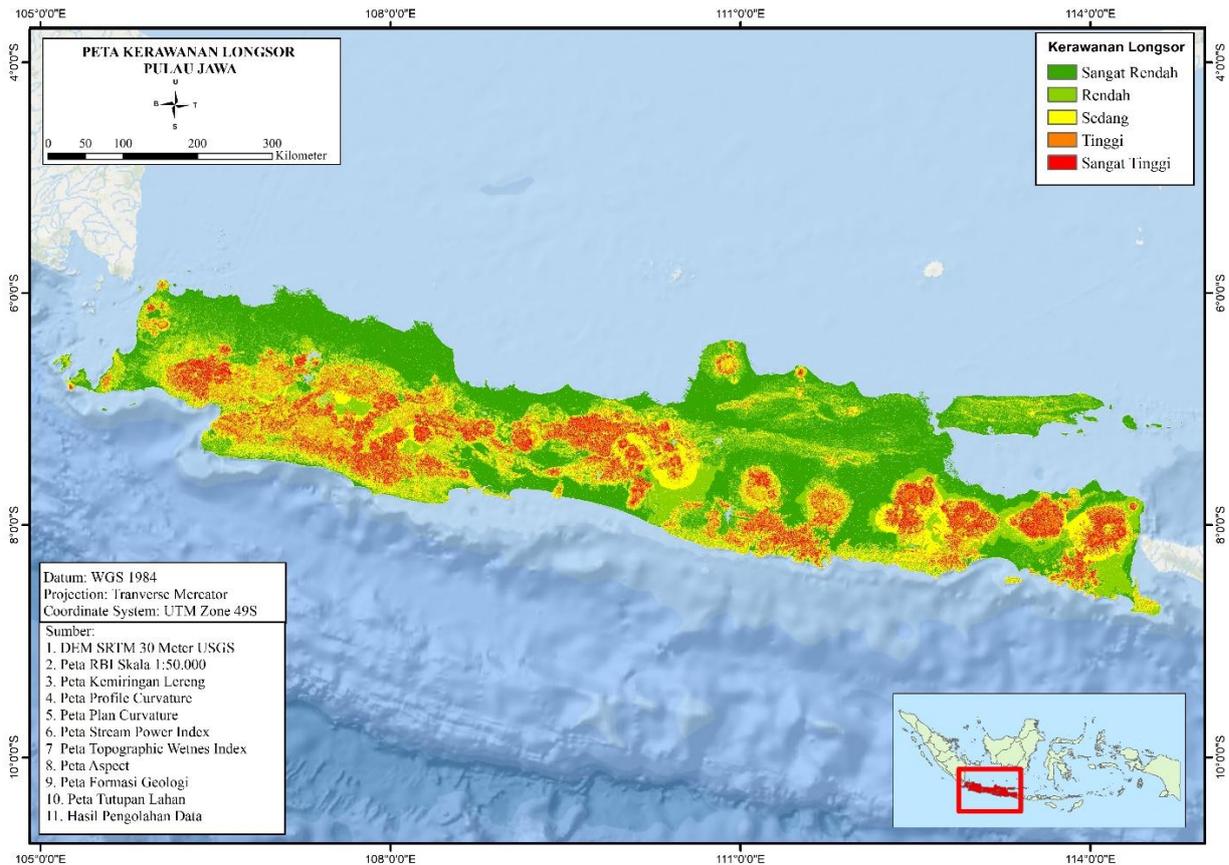
Berdasarkan **Tabel 1.** kemiringan lereng memperoleh bobot tertinggi (0,3411), yang menunjukkan pengaruh terbesar terhadap kerawanan longsor. Hal ini sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa lereng curam lebih rawan terhadap longsor (Guzzetti et al., 2006). Selanjutnya, elevasi (0,231) dan formasi geologi (0,1559) juga memiliki bobot besar, karena keduanya memengaruhi stabilitas lereng dan potensi longsor (Samodra et al., 2017; Kadapa, 2024). Tutupan lahan, dengan bobot 0,0885, juga berkontribusi signifikan, terutama karena jenis tutupan lahan yang tidak stabil, seperti semak belukar atau rawa (Samodra et al., 2017). Parameter lainnya, seperti *plan curvature*, *profile curvature*, *aspect*, SPI, dan TWI, memiliki bobot lebih rendah, yang mengindikasikan pengaruh yang lebih kecil terhadap longsor meskipun tetap relevan (Agboola et al., 2024). Secara keseluruhan, hasil pembobotan ini memungkinkan pembuatan model kerawanan longsor yang lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

D. Kerawanan Longsor

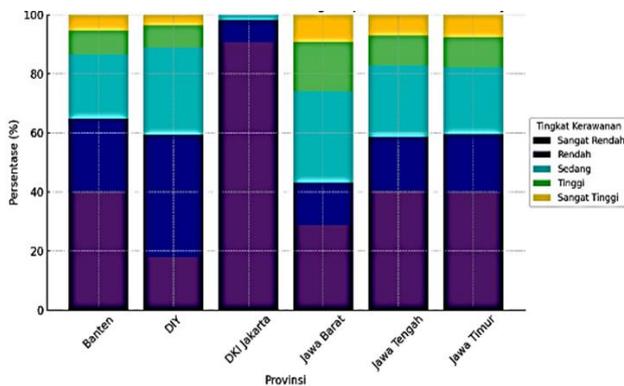
Pembagian zona kerawanan longsor dilakukan berdasarkan pendekatan fisiografis mengacu pada klasifikasi Van Bemmelen (1949), yang membagi Pulau Jawa ke dalam empat zona utama yaitu Zona Pegunungan Lipatan Utara, Zona Depresi Tengah, Zona Pegunungan Selatan, dan Zona Vulkanik Tengah. Berdasarkan (**Gambar 5**), zona dengan tingkat kerawanan tinggi hingga sangat tinggi banyak ditemukan di Zona Vulkanik Tengah dan Zona Pegunungan Selatan. Beberapa wilayah seperti

Kabupaten Bogor bagian selatan, Bandung Barat, Garut, Magelang, Wonosobo, dan Boyolali, berada di lereng gunung api aktif dengan kemiringan curam. Di Zona Pegunungan Selatan, kerawanan tinggi ditemukan di Trenggalek, Pacitan, Gunungkidul bagian barat, dan Wonogiri, yang didominasi batuan karbonat dan perbukitan karst yang rawan pelapukan. Sementara itu, Zona Depresi Tengah menunjukkan tingkat kerawanan sedang hingga tinggi meskipun memiliki topografi lebih landai. Zona Pegunungan Lipatan Utara menunjukkan tingkat kerawanan paling rendah karena morfologinya yang relatif datar hingga bergelombang. Berdasarkan luas indeks kerawanan (**Gambar 6**) menunjukkan provinsi DKI merupakan provinsi dengan tingkat kerawanan terendah, di mana 90,59% wilayahnya tergolong sangat rendah, tanpa adanya wilayah yang termasuk dalam kategori tinggi atau sangat tinggi. Kondisi ini sejalan dengan topografi DKI Jakarta yang relatif datar. Daerah Istimewa Yogyakarta menunjukkan distribusi kerawanan yang lebih merata, dengan dominasi pada kategori rendah (41,40%) dan sedang (29,52%), serta sebagian kecil wilayah yang termasuk kategori tinggi dan sangat tinggi. Provinsi Banten didominasi oleh wilayah dengan kategori sangat rendah (40,01%) dan rendah (24,67%), namun tetap memiliki area yang tergolong tinggi dan sangat tinggi sebesar lebih dari 13%.

Provinsi Jawa Barat memiliki profil kerawanan yang paling beragam, dengan distribusi relatif merata di seluruh kategori. Kategori sedang mendominasi dengan persentase 30,98%, diikuti oleh kategori sangat rendah (28,80%) dan tinggi (16,77%). Variasi ini mencerminkan kondisi morfologis wilayah yang kompleks dan rawan terhadap gerakan tanah. Jawa Tengah memiliki 40,27% wilayah dengan tingkat kerawanan sangat rendah dan sekitar 17,16% berada dalam kategori tinggi hingga sangat tinggi. Jawa Timur mencatatkan 39,93% wilayahnya dalam kategori sangat rendah, dan sekitar 17,80% berada pada kategori tinggi dan sangat tinggi. Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur memiliki tingkat kerawanan longsor yang relatif tinggi dibanding provinsi lain di Pulau Jawa yang dapat dipengaruhi oleh kombinasi faktor topografi, hidrologi, geologi dan faktor manusia.



Gambar.5 Peta Kerawanan Longsor Pulau Jawa



Gambar 6. Luas Indeks Kerawanan Longsor Setiap Provinsi

KESIMPULAN DAN SARAN

Pulau Jawa memiliki tingkat kerawanan longsor yang bervariasi yang terdiri dari Zona Vulkanik Tengah merupakan kawasan paling rawan, terutama di lereng gunung api aktif seperti Kabupaten Bogor bagian selatan, Bandung Barat, Garut, Wonosobo, Magelang, Boyolali, dan Malang bagian selatan. Zona Pegunungan Selatan juga tergolong rawan, dengan wilayah seperti Trenggalek, Pacitan, Gunungkidul bagian barat, dan Wonogiri Zona Depresi Tengah menunjukkan tingkat kerawanan sedang hingga tinggi

seperti Grobogan, Blora, Nganjuk, Lamongan bagian selatan, dan Bojonegoro. Sebaliknya, Zona Pegunungan Lipatan Utara seperti Indramayu, Subang, dan Gresik, memiliki tingkat kerawanan yang relatif rendah. Peta kerawanan longsor yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan oleh instansi pemerintah, baik di tingkat daerah maupun nasional, sebagai dasar dalam perencanaan pembangunan wilayah, pengelolaan tata ruang, serta upaya mitigasi bencana longsor. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengombinasikan metode AHP dengan pendekatan berbasis machine learning atau metode data-driven lainnya guna menghasilkan model prediksi yang lebih adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam proses penelitian hingga penyusunan artikel ini. Peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan rekan sejawat yang telah memberikan masukan, kritik, dan saran yang konstruktif selama proses penulisan berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Abay, A., Barbieri, G., & Woldearegay, K. (2019). GIS-based Landslide Susceptibility Evaluation Using Analytical Hierarchy Process (AHP) Approach: The Case of Tarmaber District, Ethiopia. *Momona Ethiopian Journal of Science*, 11(1), 14. <https://doi.org/10.4314/mejs.v11i1.2>
- Agboola, G., Beni, L. H., Elbayoumi, T., & Thompson, G. (2024). Optimizing landslide susceptibility mapping using machine learning and geospatial techniques. *Ecological Informatics*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102583>
- Achour, Y., & Pourghasemi, H. R. (2020). How do machine learning techniques help in increasing accuracy of landslide susceptibility maps? *Geoscience Frontiers*, 11(3), 871–883. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.10.001>
- Bachri, S., Sastro Bangun Utomo, K., Sumarmi, S., Naufal Fathoni, M., & Eka Aldianto, Y. (2021). Optimalisasi Model Artificial Neural Network Menggunakan Certainty Factor (C-ANN) Untuk Pemetaan Kerawanan Longsor Skala Semi-Detil di DAS Bendo, Kabupaten Banyuwangi. *Majalah Geografi Indonesia*, 35(1), 1. <https://doi.org/10.22146/mgi.57869>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2024a). Data dan Informasi Kebencanaan Bulanan Teraktual. <https://Bnpb.Go.Id/Informasi-Bencana/Buletin-Info-Bencana/Januari-2024>, 5(1), 1–19.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2024). Diakses Tanggal 12 April 2024. <https://Dibi.Bnpb.Go.Id/Home/Index2>.
- Beven KJ, Kirkby MJ (1979) A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol Sci Bull* 24:43–69
- Chen, M., Yang, X., & Zhou, J. (2023). Spatial distribution and failure mechanism of water-induced landslides in the reservoir areas of Southwest China. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 15(2), 442–456. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2022.04.004>
- Chowdhury, R., & Flentje, P. (2014). Mitigation of landslide impacts, strategies and challenges for the 21st century. <https://ro.uow.edu.au/eispapershttps://ro.uow.edu.au/eispapers/4002>
- Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology - Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, 43(1), 27–29. <https://doi.org/10.1007/BF02590167>
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., & Savage, W. Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102(3–4), 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022>
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., & Carrara, A. (2000). Comparing Landslide Maps: A Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy. *Environmental Management*, 25(3), 247–263. <https://doi.org/10.1007/s002679910020>
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., & Ardizzone, F. (2006). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Earth-Science Reviews*, 79(3–4), 272–299. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.02.002>
- Hanifa, H., & Suwardi, S. (2023). Identifikasi Tingkat Kerawanan Longsor di Ajibarang Banyumas Menggunakan Metode Skoring. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 10(1), 97–103. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.1.10>
- Kadapa, H. (2024). A comprehensive framework for landslide risk assessment of archaeological sites in Gujarat, India. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 27(1), 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2024.01.002>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2024). Indeks Kualitas Tutupan Lahan Konsep IKLH 2020-2024.
- Moore ID, Grayson RB, Ladson AR (1991) Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrol Process* 5(1):3–30
- Montgomery, D. R., & Dietrich, W. E. (1994). A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Resources Research*, 30(4), 1153–1171. <https://doi.org/10.1029/93WR02979>
- Pusat Vulkanologi Mitigasi Bencana Geologi. (2024). Diakses Tanggal 26 April 2024.

- Quan, L., & Lee, C. F. (2012). Effects of solar radiation on slope hydrology and stability. *Engineering Geology*, 123, 45–54.
- Rajakumar, S., Chandrasekar, N., & Magesh, N. S. (2007). A study on the influence of solar radiation on slope instability.
- Rashwan, M., Mohamed, L., Hassan, A., Youssef, M. A. S., Sabra, M. E. M., & Mohamed, A. K. (2024). Landslide susceptibility assessment along the Red Sea Coast in Egypt, based on multi-criteria spatial analysis and GIS techniques. *Scientific African*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02116>
- Saaty, T. L. (1977). A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *JOURNAL 01: MATHEMATICAL PSYCHOLOGY* (Vol. 15).
- Samodra, G. (2024). *Teknologi Geospasial Inventarisasi Longsor*. Gadjah Mada University Press.
- Samodra, G., Chen, G., Sartohadi, J., & Kasama, K. (2017). Comparing data-driven landslide susceptibility models based on participatory landslide inventory mapping in Purwosari area, Yogyakarta, Java. *Environmental Earth Sciences*, 76(4). <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6475-2>
- Singh, M., Khajuria, V., Singh, S., & Singh, K. (2024). Landslide susceptibility evaluation in the Beas River Basin of North-Western Himalaya: A geospatial analysis employing the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. *Quaternary Science Advances*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.qsa.2024.100180>
- Van Zuidam, R. A. (1986). *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. ITC Publication No. 9, Enschede, Netherlands.
- Varnes, D. (1978). *Slope Movement Types and Processes*.
- Van Westen, C. J., Van Asch, T. W. J., & Soeters, R. (2003). Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult. <https://doi.org/10.1007/s10064-002-0186-2> *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 62, 167–184.
- Van Bemmelen, R. W. (1949). *The Geology of Indonesia (Vol. IA)*. The Hague: Government Printing Office.
- Youssef, A. M., & Pourghasemi, H. R. (2021). Landslide susceptibility mapping using machine learning algorithms and comparison of their performance at Abha Basin, Asir Region, Saudi Arabia. *Geoscience Frontiers*, 12(2), 639–655. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.05.010>
- Zaruba, Q., & Mencl, V. (1982). *Landslides and Their Control*. ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY.