

Analisis Kerawanan Longsor dengan Metode *Analytical Hierarchy Process* dan *Information Value* di Kecamatan Lembang–Kabupaten Bandung Barat

Agus Jaiz Hamdani^{1*}, Zulfa Yogi Rahmawati¹, Pandu Eka Priyana¹, Revina Fitri Zen¹, Muhammad Alsamtu Tita Sabila Pratama Suhartono¹, Ashilah Putri Mandiri¹, Salma Maya Puspita¹, Muhammad Bagus Fitriawan¹, Najmadina Faradiba Ahsan¹, Fitri Hanifah Setiawan¹, dan Muhammad Hafidz Abdul Hanif¹

¹Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia; e-mail: agus.jaiz.hamdani@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Kecamatan Lembang merupakan salah satu daerah yang sering dilanda bencana tanah longsor. Kejadian longsor di daerah tersebut tidak jarang menimbulkan kerugian ekonomi dan korban jiwa. Sejauh ini, belum ada satupun penelitian yang membandingkan metode pemetaan kerawanan tanah longsor, misalnya *analytical hierarchy process* (AHP) dan *information value* (IV), di daerah tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan (1) memetakan dan menganalisis distribusi spasial tingkat kerawanan longsor dan (2) membandingkan serta menganalisis metode AHP dan IV untuk kajian kerawanan longsor di Kecamatan Lembang. Sebanyak delapan parameter kerawanan longsor digunakan dalam pemetaan, seperti ketinggian, kemiringan lereng, arah hadap lereng, jarak terhadap patahan, jarak terhadap sungai, jarak terhadap jalan, litologi, dan penggunaan lahan. Semua parameter tersebut kemudian ditumpang-susunkan (*overlay*) sehingga menghasilkan peta kerawanan tanah longsor. Hasil peta kerawanan tersebut kemudian dibagi menjadi 5 kelas: sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Uji akurasi juga dilakukan terhadap kedua metode pemetaan. Metode IV memiliki akurasi yang lebih tinggi daripada metode AHP dengan nilai 68% berbanding 56%. Pola kelas kerawanan tinggi dan sangat tinggi di kedua peta tersebut berasosiasi dengan hutan dan jaringan sungai. Selain itu, analisis ini juga menunjukkan kualitas data parameter dan ketersediaan basis data kejadian penting untuk menghasilkan peta yang lebih representatif.

Kata kunci: Kerawanan, tanah longsor, *analytical hierarchy process*, *information value*, GIS

ABSTRACT

Lembang District is an area frequently affected by landslides, which often cause significant economic losses and casualties. To date, no studies have compared landslide susceptibility mapping methods such as the analytical hierarchy process (AHP) and information value (IV), in this area. Therefore, this study aims to (1) map and analyze the spatial distribution of landslide susceptibility and (2) compare and analyze the AHP and IV methods for landslide susceptibility assessment in Kecamatan Lembang. Eight landslide susceptibility parameters were used in the mapping process, including elevation, slope gradient, slope aspect, distance to faults, distance to rivers, distance to roads, lithology, and land use. These parameters were overlaid to produce a landslide susceptibility map. The resulting maps were classified into five categories: very low, low, moderate, high, and very high. Accuracy tests were also conducted for both mapping methods. The IV method demonstrated higher accuracy, with 68% compared to AHP's 56%. The patterns of high and very high susceptibility classes on both maps are associated with forested areas and river networks. Additionally, this analysis highlights the importance of parameter data quality and the availability of event databases to produce more representative maps.

Keywords: *susceptibility, landslide, analytical hierarchy process, information value, GIS*

Citation: Hamdani, A. J., Rahmawati, Z. Y., Priyana, P. E., Zen, R. F., Suhartono, M. A. T. S. P., Mandiri, A. P., Puspita, S. M., Fitriawan, M. B., Ahsan, N. F., Setiawan, F. H., dan Hanif, M. H. A. (2025). Analisis Kerawanan Longsor dengan Metode *Analytical Hierarchy Process* dan *Information Value* di Kecamatan Lembang–Kabupaten Bandung Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(5), 1253-1268, doi:10.14710/jil.23.5.1253-1268

1. PENDAHULUAN

Hadmoko dkk. (2010) mendefinisikan bahaya longsor sebagai probabilitas terjadinya gerakan tanah

yang berpotensi menimbulkan kerusakan dalam jangka waktu dan wilayah tertentu. Longsor dapat menyebabkan resiko besar terhadap sektor publik

maupun privat atau swasta (Guzzetti dkk., 2020; Loche dkk., 2022). Selain itu, longsor juga dapat menyebabkan korban jiwa. Hadmoko dkk. (2009) dan Hadmoko dkk. (2010) menyebutkan kejadian longsor di Pulau Jawa selama periode 1981-2007 telah menyebabkan sekitar 2.095 korban jiwa dan 552 cedera. Menurut Data Informasi Bencana Indonesia yang diterbitkan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2024) jumlah kematian akibat longsor selama periode 2010-2024 sebanyak 11.309 orang. Besarnya dampak yang disebabkan longsor menjadikan bencana tersebut sebagai salah satu bencana alam mematikan di Indonesia (Samodra, 2022).

Longsor dapat disebabkan oleh faktor antropogenik, faktor alam, maupun kombinasi antara keduanya. Faktor utama penyebab longsor dibagi menjadi faktor pengontrol dan faktor pemicu. Faktor pengontrol longsor merupakan faktor yang secara alami dan konstan mempengaruhi kondisi material dan stabilitas lereng. Deformasi longsor disebabkan oleh berbagai faktor seperti faktor geologi, kondisi hidrologis, dan konfigurasi geomorfologi dari suatu wilayah (Tan dkk., 2018). Faktor pemicu longsor merupakan faktor yang menyebabkan pergerakan pada material atau lereng, seperti curah hujan, gempa bumi, erosi kaki lereng, dan aktivitas manusia (Naryanto, 2013; Naryanto, 2017).

Kecamatan Lembang merupakan salah satu wilayah rawan longsor di Indonesia. Kecamatan Lembang merupakan bagian dari wilayah administrasi Kabupaten Bandung Barat yang berada pada zona Sesar Lembang sehingga rawan terhadap bencana longsor (Kastolani dkk, 2017). Longsor telah terjadi beberapa kali di Kecamatan Lembang dengan rincian peristiwa pada Tabel 1.

Besarnya kerugian akibat longsor berupa harta benda maupun korban jiwa terjadi karena padatnya populasi dan banyaknya infrastruktur dibangun di wilayah rawan longsor (Hadmoko dkk., 2010; Hadmoko dkk., 2017) sehingga dibutuhkan upaya mitigasi longsor yang tepat. Apabila upaya mitigasi longsor tidak tepat, proses pembangunan suatu wilayah dapat terhambat karena longsor dapat mengakibatkan kerugian ekonomi di wilayah tersebut (Guzzetti dkk., 1999; Saha dkk, 2002; Knapen dkk., 2006). Pendekatan mitigasi bencana longsor secara umum melibatkan tiga aspek utama: pemetaan, pemodelan, dan pemantauan. Data yang akurat dan komprehensif dibutuhkan untuk menyusun langkah-langkah mitigasi yang tepat sehingga perlu dilakukan kajian kerawanan longsor.

Kajian kerawanan longsor tidak terlepas dari pemanfaatan sistem informasi geografis (SIG) dan penginderaan jauh. Pemanfaatan SIG dan penginderaan jauh memudahkan dalam proses akuisisi, menyimpan, menganalisis dan menampilkan data spasial. Salah satu contoh pemanfaatan SIG dalam penelitian ini adalah dalam pengumpulan data geologi dan jenis tanah lokasi kajian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode

semikuantitatif, yaitu *analytical hierarchy process* (AHP) dan *information value* (IV). Validasi data dilakukan secara kuantitatif dengan menghitung luas longsor pada setiap kelas kerawanan dan observasi di lapangan. Kedua metode tersebut juga digunakan dalam penelitian Hadmoko, dkk (2017) karena (1) penyusunan peta kerawanan longsor dengan metode AHP disandarkan pada pendapat ahli yang cocok untuk digunakan pada area dengan keterbatasan data longsor, (2) AHP diaplikasikan untuk menjembatani pendekatan kuantitatif dan kualitatif, (3) pendekatan statistik bivariat relatif sederhana dibandingkan dengan pendekatan multivariat, karena analisis statistik bivariat menggabungkan satu variabel dependen dan satu variabel independen. Metode kuantitatif lebih ditekankan dalam penelitian ini, karena metode kuantitatif masih jarang digunakan untuk mengkaji longsor di Indonesia karena keterbatasan inventarisasi data longsor.

Tabel 1. Kejadian Bencana Longsor di Kecamatan Lembang

Tanggal	Keterangan
9 Februari 2015	Jalan penghubung Desa Jayagiri dengan Desa Cikahuripan tertimbun material longsor.
10 Februari 2015	Badan jalan dan saluran irigasi di Kampung Situ Desa Lembang tertutup longsor.
13 November 2016	Longsor di Kampung Kramat RT 07 RW 06 Desa Cikahuripan menyebabkan 1 rumah rusak berat, 2 rumah ambruk, dan mobil beserta 4 penumpang di dalamnya meninggal karena tertimbun longsor.
9 Januari 2021	Longsor di Desa Suntenjaya pada pukul 16.30 WIB di Kp. Cibodas dan Kp. Ciawitali RT. 003/RW. 014 dan RT. 003/RW. 012 menyebabkan total kerugian sebesar ± 80.000.000,- (Delapan Puluh Juta Rupiah).
2 November 2021	- Longsor terjadi di Desa Cikahuripan, Gudangkahuripan, dan Desa Jayagiri menyebabkan salah satu rumah warga tertimbun longsor. - Longsor juga mengancam rumah warga yang berada di Kp. Batureok RT 002 RW 012 Desa Gudangkahuripan.
10 November 2021	Longsor terjadi di Kp. Sukapingir RT. 003 RW 012 Desa Jayagiri pada pukul 16.30 WIB. Total kerugian ± 10.000.000,00 (Sepuluh Juta Rupiah) dan jumlah korban jiwa sebanyak 4 orang.
14 November 2021	Jalan Kolonel Masturi Desa Cikahuripan tertimbun material longsor sehingga menutup akses jaringan jalan, adanya retakan di lokasi longsor yang memanjang ke utara 3-5 meter, dan penurunan permukaan tanah 2 meter.
3 April 2022	Jalan Raya Tangkuban Perahu di RW 10 Desa Cibogo tertimbun longsor yang mengakibatkan kemacetan.

Sumber: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2022)

Penilaian kerawanan melalui pendekatan kuantitatif di wilayah dengan data longsor yang terbatas dapat dilakukan dengan metode *analytical hierarchy process* (AHP). AHP menawarkan metode yang fleksibel dan mudah dipahami untuk menganalisis masalah yang kompleks. AHP mempertimbangkan faktor subjektif dan objektif

dalam proses pengambilan keputusan (Ozdemir, 2020). Metode ini memungkinkan para ahli untuk berpartisipasi secara aktif dalam mencapai kesepakatan dan menyediakan alasan yang rasional bagi pelaku mitigasi bencana dalam membuat keputusan. AHP dapat digunakan untuk menentukan pengaruh berbagai faktor yang berhubungan dengan longsor terhadap potensi terjadinya longsor di masa depan.

Faktor-faktor yang berhubungan dengan dinamika longsor dapat dinilai dengan pendekatan *information value* (IV). Metode IV adalah pendekatan statistik yang populer dalam pemetaan kerawanan longsor karena dapat memberikan hubungan kuantitatif antara kejadian longsor yang pernah terjadi dengan faktor pengontrol di suatu wilayah. Setiap kelas faktor lingkungan dinilai berdasarkan keterlibatannya dalam kemunculan longsor sehingga bobot yang dihasilkan menjadi lebih objektif (Sarkar, dkk, 2013). Metode ini dianggap lebih representatif terhadap kondisi lapangan dibandingkan metode lain yang berbasis pertimbangan subjektif. Metode IV dapat membantu mengevaluasi peran tiap variabel penentu tingkat kerawanan yang juga digunakan dalam metode AHP.

Sejalan dengan pemaparan di atas, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menganalisis distribusi spasial tingkat kerawanan longsor di Kecamatan Lembang. Penelitian ini juga memiliki tujuan untuk membandingkan dan menganalisis metode AHP dan IV untuk kajian kerawanan longsor di Kecamatan Lembang. Dalam penelitian ini digunakan batasan wilayah penelitian berupa batas administrasi untuk mendapatkan penyusunan dan visualisasi data yang lebih tepat sasaran. Hasil kajian yang diperoleh diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan atau masukan bagi pemerintah daerah dalam menentukan langkah-langkah mitigasi longsor yang tepat di Kecamatan Lembang.

2. METODE PENELITIAN

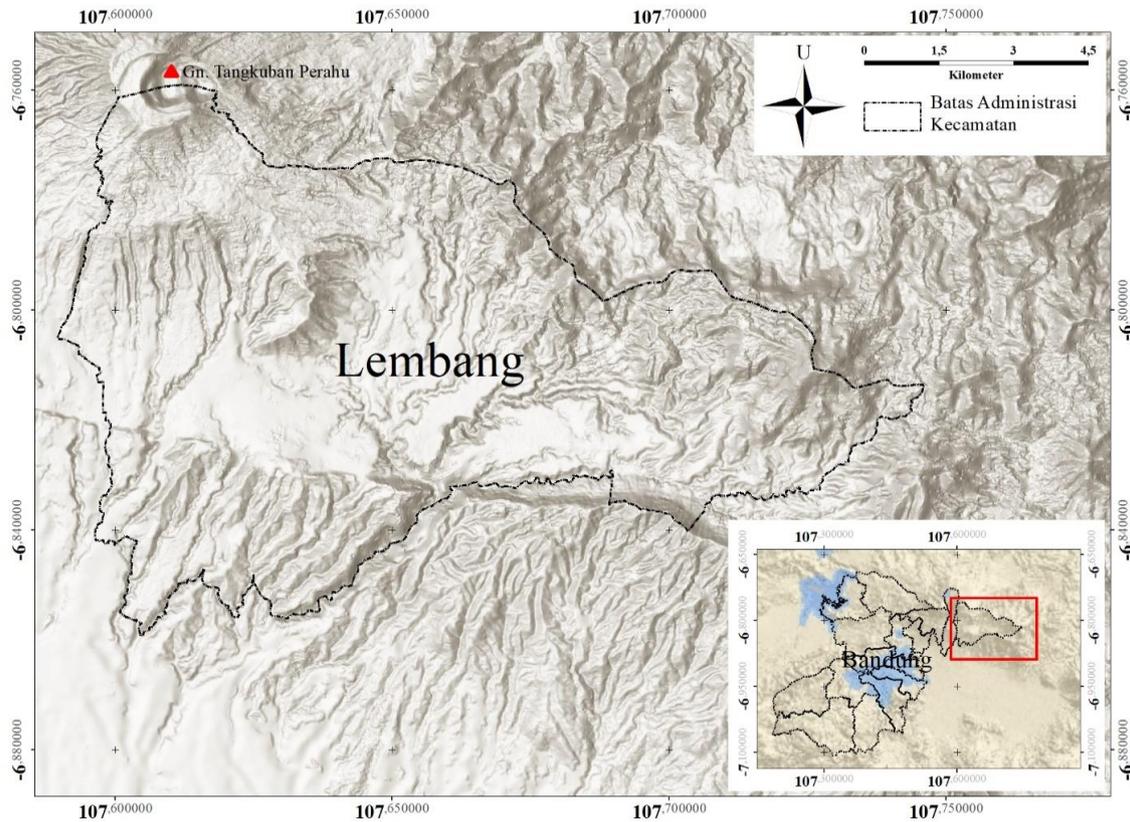
Penelitian ini dilakukan melalui empat tahap: (a) deskripsi wilayah, (b) inventarisasi data kejadian longsor, (c) manajemen basis data spasial, (d) penilaian kerawanan longsor, dan (e) validasi peta kerawanan. Data, sumber data, dan metode pada studi ini dirangkum dalam Tabel 2.

2.1. Deskripsi Wilayah

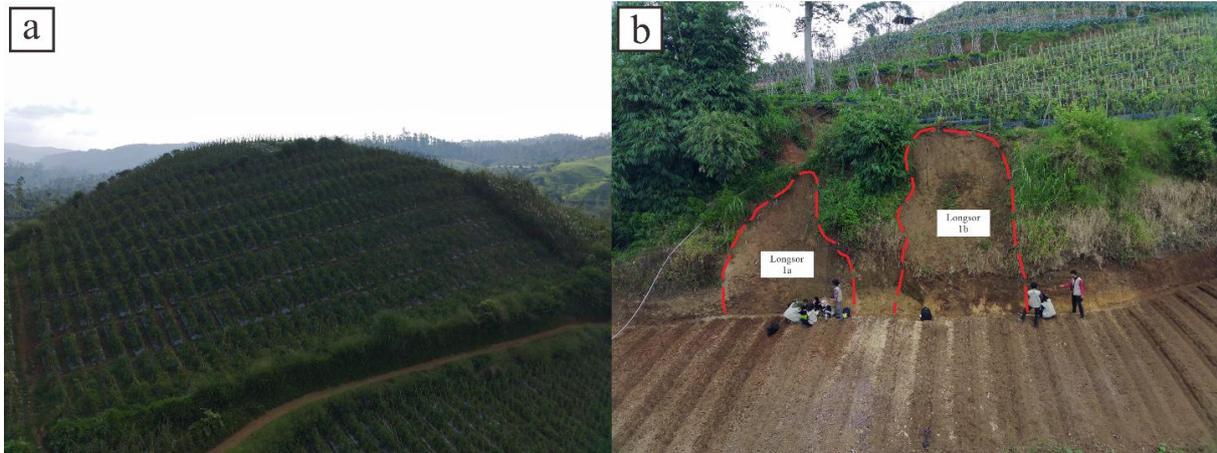
Kecamatan Lembang masuk dalam wilayah administrasi Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat (Gambar 1). Luas wilayahnya mencapai 96,56

km² dengan ketinggian mencapai lebih dari 1.500 meter di atas permukaan laut (mdpl). Kecamatan Lembang didominasi oleh perbukitan berlereng curam dengan jenis tanah vulkanik yang subur. Rerata curah hujan tahunan mencapai 3.000 mm/tahun dengan suhu rata-rata 20°C dan memiliki tipe iklim tropis. Kecamatan Lembang banyak dilalui anak sungai, salah satunya adalah Sungai Cihideung dengan muara Sungai Cikapundung. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Bandung skala 1:100.000 yang diterbitkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Kecamatan Lembang tersusun atas 6 formasi geologi, yaitu: (1) koluviial (Qc) yang sebagian besar berasal dari reruntuhan pegunungan-pegunungan hasil gunungapi tua, seperti bongkahan batuan beku andesit-basal, breksi batupasir tuf dan lempungan tuf; (2) lava (Qvl) menunjukkan kekar lempeng dan kekar tiang dengan susunan basal dan sebagian telah terpropilitisasikan; (3) produk gunungapi muda tak teruraikan (Qvu) terdiri dari pasir tufan, lapili, breksi, lava, aglomerat, sebagian besar berasal dari Gunungapi Tangkubanparahu dan sebagian dari Gunung Tampomas. Batuan tersebut membentuk daratan-daratan kecil atau bagian-bagian rata dan bukit-bukit rendah yang tertutup oleh tanah berwarna abu-abu kuning dan kemerahan di antara Sumedang dan Bandung; (4) produk gunungapi tua tak teruraikan (Qvu) terdiri dari breksi gunungapi, lahar, dan lava berselang-seling; (5) tuf pasir (Qyd) berasal dari Gunung Dano dan Gunung Tangkubanparahu (tipe erupsi C). Tuf pasir coklat jarang dijumpai, dengan kristal-kristal horeblendakasar, lahar lapuk kemerahan, lapisan-lapisan lapili dan breksi; (6) tuf berbatu apung (Qyt) terdiri dari pasir tufan, lapili, bom-bom, lava berongga, kepingan-kepingan andesit-basal padat yang bersudut dengan banyak bongkahan dan pecahan batuapung berasal dari Gunung Tangkubanparahu (tipe erupsi A) dan Gunung Tampomas.

Kondisi iklim, topografi, dan geologi demikian mendukung pemanfaatan lahan untuk pertanian, permukiman, dan pariwisata di Kecamatan Lembang. Topografi dengan lereng-lereng perbukitan dimanfaatkan oleh masyarakat setempat untuk bercocok tanam jenis sayuran dengan pola memotong kontur seperti pada Gambar 2(a) agar air tidak terlalu lama menggenangi akar sehingga tanaman tidak cepat busuk. Namun, pemanfaatan lahan untuk pertanian yang masif dapat menyebabkan terjadinya longsor di lahan pertanian seperti yang terlihat pada Gambar 2(b).



Gambar 1. Daerah Penelitian



Gambar 2. (a) Pola Cocok Tanam Memotong Kontur (b) Longsor 1a dan 1b adalah Longsor yang Terjadi di Lahan Pertanian karena Pemanfaatan Lahan Pertanian yang Masif di Lereng Perbukitan

2.2. Inventarisasi dan Manajemen Data

Studi ini dimulai dengan mengumpulkan rekaman kejadian longsor yang terjadi di wilayah kajian, Kecamatan Lembang. Inventarisasi kejadian longsor bertujuan untuk mendapatkan jumlah longsor yang terjadi di wilayah kajian sebagai data utama dalam melakukan pemetaan dan pengukuran distribusi spasial kerawanan longsor. Pengumpulan data longsor dilakukan berbasis interpretasi citra yang berasal dari Google Earth dengan rentang waktu tahun 2016 - 2023. Penggunaan citra yang bersumber dari Google Earth memungkinkan akuisisi data kejadian longsor yang lebih detail dan terbaru dibandingkan citra yang digunakan dalam penelitian terdahulu. Objek kajian berupa longsor dalam citra

diidentifikasi berdasarkan kenampakan tanah terbuka tanpa vegetasi yang terindikasi baru saja muncul dengan membandingkannya dengan kenampakan pada citra keluaran bulan sebelumnya. Data longsor tahun 2016-2020 (123 kejadian) digunakan untuk memproses penilaian kerawanan sementara data tahun 2021-2023 (68 kejadian) diperlukan untuk melakukan validasi.

Informasi spasial dan faktor seperti kemiringan lereng, arah hadap lereng, elevasi, litologi, zona patahan, jaringan sungai, jaringan jalan, dan penggunaan lahan digunakan sebagai faktor utama yang mengontrol longsor. Distribusi spasial dari faktor-faktor tersebut divisualisasikan dalam bentuk peta tematik untuk mengetahui distribusi kejadian

longsor di setiap parameter yang berbeda. Prosedur SIG yang dijalankan pada tahap ini meliputi interpolasi data ketinggian untuk membuat peta kemiringan lereng, elevasi, dan arah hadap lereng, *overlay*, dan kalkulasi data atribut untuk membangun peta kerawanan longsor.

paling besar berada di area tersebut. Peta penggunaan lahan didapatkan melalui peta rupabumi Indonesia sedangkan Peta litologi diinterpretasi melalui data geologi yang disediakan oleh Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral Indonesia.

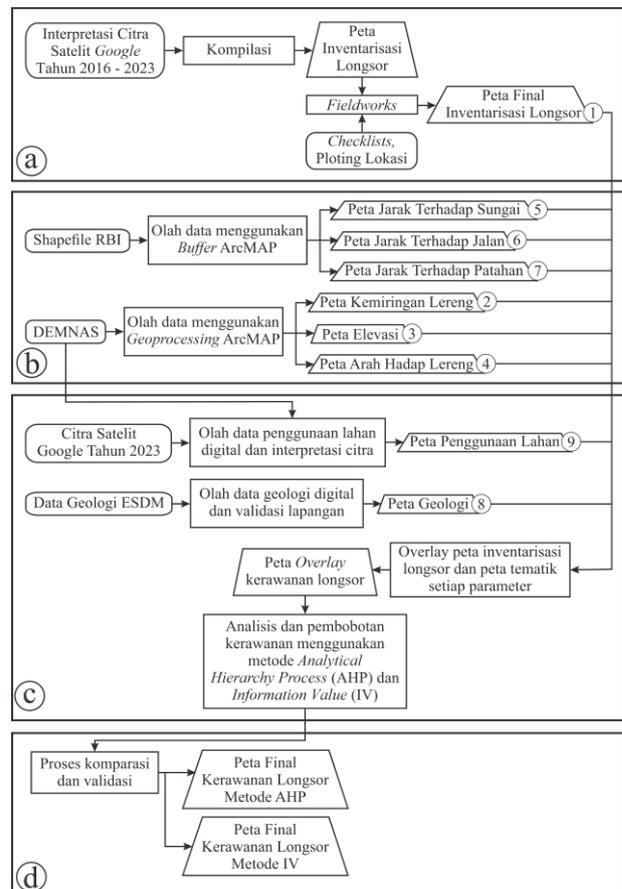
Tabel 2. Data, Sumber Data, dan Metode yang Digunakan

Data	Sumber Data	Metode
Inventarisasi longsor	Citra Google Earth	Interpretasi citra dengan variasi temporal
Kemiringan lereng	DEMNAS	Penggunaan <i>tools geoprocessing</i> "Multi Ring Buffer" pada aplikasi ArcGIS
Elevasi	DEMNAS	Penggunaan <i>tools geoprocessing</i> "Reclassify" pada aplikasi ArcGIS
Arah hadap lereng	DEMNAS	Penggunaan <i>tools geoprocessing</i> "Aspect" pada aplikasi ArcGIS
Buffer sungai	Data jaringan sungai dari peta rupabumi Indonesia	Penggunaan <i>tools geoprocessing</i> "Buffer" pada aplikasi ArcGIS
Buffer jalan	Data jaringan jalan dari peta rupabumi Indonesia	Penggunaan <i>tools geoprocessing</i> "Buffer" pada aplikasi ArcGIS
Buffer patahan	Data jalur Patahan Lembang	Penggunaan <i>tools geoprocessing</i> "Buffer" pada aplikasi ArcGIS
Litologi/geologi	Data geologi dari Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral Indonesia	Penggunaan data geologi digital dan divalidasi dengan <i>fieldwork</i>
Penggunaan lahan	Citra Google Earth tahun 2023	Interpretasi citra secara manual
Analisis kerapatan longsor	Peta inventarisasi longsor tahun 2016-2020 dan peta tematik setiap parameter	<i>Overlay</i> peta inventarisasi longsor dan peta tematik setiap parameter
Penilaian kerawanan longsor	Data parameter pemicu longsor dan pembobotan setiap parameter	<i>Information value</i> (IV) dan <i>analytical hierarchy process</i> (AHP)
Validasi peta kerawanan	Peta kerawanan dan peta inventarisasi longsor tahun 2021-2023	<i>Overlay</i> peta kerawanan longsor dan peta inventarisasi longsor

Digital Elevation Model (DEM) dengan resolusi 8,1 m dimanfaatkan untuk membuat peta turunan berupa peta kemiringan lereng, variasi elevasi, dan arah hadap lereng menggunakan aplikasi ArcGIS. Peta *buffer* sungai, jalan, dan patahan disusun dari data jaringan sungai, jaringan jalan, dan patahan melalui penggunaan tool *buffer* pada aplikasi ArcGIS. Pembuatan peta *buffer* ini ditujukan untuk memperkirakan pengaruh jarak sungai, jalan, dan patahan terhadap kejadian longsor. Peta *buffer* jaringan sungai dan patahan menggunakan interval sejauh 150 meter sedangkan peta *buffer* jaringan jalan menggunakan interval sepanjang 25 meter. Interval *buffer* sungai ditentukan berdasarkan rata-rata lebar lembah sungai yang berkisar antara 100-150 meter sementara interval *buffer* jalan senilai 25 meter dipilih karena pengaruh keberadaan jalan terhadap longsor

2.3. Conditional Independence Test

Variabel penentu longsor pada umumnya bersifat dependen satu sama lain. Hal ini menyebabkan ketidakstabilan parameter yang berujung pada tidak relevannya pemodelan kerawanan longsor. Uji independen bersyarat diperlukan untuk memastikan setiap parameter tidak terkait satu sama lain. Hubungan antar parameter diketahui berdasarkan perhitungan nilai Chi-square (χ^2) melalui perbandingan berpasangan seluruh parameter yang digunakan. Peta inventarisasi longsor di-*overlay* dengan peta setiap parameter prediktor untuk mendapatkan Chi-square. Nilai Chi-square selanjutnya dimanfaatkan untuk menentukan Cramer's V menggunakan aplikasi SPSS. Cramer's V berguna untuk menentukan seberapa kuat hubungan antara dua variabel yang memengaruhi kejadian longsor (Barančoková, dkk, 2021). Cramer's V berkisar dari 0 hingga 1, dengan nilai yang lebih tinggi menunjukkan hubungan yang lebih kuat. Penelitian ini menggunakan parameter-parameter dengan Cramer's V kurang dari 0.5 sebagai parameter yang dianggap independen.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

2.4. Penilaian Kerawanan Longsor

Peta kerawanan longsor menggambarkan probabilitas terjadinya longsor dan mengategorikan wilayah dengan fitur tertentu ke dalam berbagai kelas kerentanan dengan tujuan meminimalkan kerusakan. Probabilitas kejadian longsor dapat diperkirakan melalui pendekatan statistik kuantitatif dari hubungan antara longsor yang terjadi pada masa lalu dengan faktor geo-lingkungan suatu lokasi (Das, dkk, 2022). Metode yang digunakan dalam penyusunan peta kerawanan adalah metode semikuantitatif dengan *analytical hierarchy process* (AHP) dan pendekatan statistik bivariat berupa *information value*. Peta inventarisasi longsor yang telah dibuat kemudian dianalisis dengan masing-masing parameter secara terpisah. Analisis ini dilakukan untuk semua peta parameter untuk menentukan hubungan variabel longsor dan kejadian longsor guna menyusun indeks kerawanan longsor.

2.4.1. Analytical Hierarchy Process (AHP)

Prinsip kerja AHP adalah menyederhanakan masalah kompleks yang tidak terstruktur dan dinamis menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan menatanya dalam sebuah hierarki. Setiap variabel diberi nilai numerik secara subjektif berdasarkan tingkat kontribusi relatifnya terhadap variabel lain. Pertimbangan-pertimbangan ini kemudian disintesis untuk menentukan variabel yang memiliki prioritas lebih tinggi dan berpengaruh signifikan terhadap hasil dalam model penilaian kerawanan longsor. Hasil skoring AHP perlu divalidasi menggunakan rasio konsistensi (CR). kontribusi relatif parameter kejadian longsor ditentukan dengan memberikan nilai antara 1 dan 9 (Tabel 3) dalam matriks perbandingan berpasangan (Satty, 1980).

Tabel 3. Kontribusi Relatif Parameter AHP

Skor Parameter	Tingkat Kontribusi	Deskripsi
1	Sama	Dua faktor berkontribusi sama terhadap tujuan
3	Sedang	Pengalaman dan penilaian sedikit hingga cukup mendukung satu faktor dibandingkan faktor lain
5	Kuat	Pengalaman dan penilaian sangat mendukung satu faktor dibandingkan faktor lain
7	Sangat Kuat	Kontribusi satu faktor sangat mendominasi faktor lain dan dominasi ini ditunjukkan dalam praktiknya
9	Kuat Ekstrim	Kontribusi satu faktor sangat kuat dibandingkan faktor lain dan menunjukkan tingkat penegasan tertinggi
2, 4, 6, 8	Menengah	Digunakan untuk merepresentasikan kompromi antara preferensi pada bobot 1, 3, 5, 7, dan 9
Reciprocal	Berlawanan	Digunakan untuk perbandingan terbalik

$$CR = \frac{\lambda_{max} - n / n - 1}{RI} \quad (1)$$

Dengan λ_{max} adalah nilai eigen terbesar dari matriks yang dapat dihitung dan n adalah jumlah parameter yang digunakan dalam matriks. RI adalah rata-rata indeks konsistensi yang dihasilkan, tergantung pada ordo matriks (Satty, 1980). Skor pada peta kerawanan longsor dapat dihitung dengan rumus:

$$Skor\ kerawanan = (elevasi \times W_1 + (kemiringan\ lereng \times W_2) + (arah\ hadap\ lereng \times W_3) + (jarak\ terhadap\ patahan \times W_4 + (jarak\ terhadap\ sungai \times W_5) + (jarak\ terhadap\ jalan \times W_6) + (geologi \times W_7) + (penggunaan\ lahan \times W_8) \quad (2)$$

Di mana W_n adalah bobot dari setiap peta parameter.

2.4.2. Information Value Method (IV)

Metode nilai informasi atau *information value* yang dimodifikasi oleh Sarkar, dkk (2013) merupakan metode yang dapat memberikan prediksi spasial kejadian tanah longsor berdasarkan parameter yang diberikan. Nilai informasi yang dihitung membantu untuk menentukan peran setiap kelas faktor terhadap kejadian longsor. Seluruh peta faktor dikonversi ke dalam peta raster dengan sistem koordinat yang sama dan diklasifikasikan kembali ke dalam kelas-kelas yang berbeda. Peta inventarisasi longsor yang telah diraster ditumpang-susunkan dengan peta parameter longsor yang telah diraster dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS untuk menghitung nilai informasi untuk semua kelas pada setiap peta faktor dengan menggunakan model *information value*. Peta kerentanan longsor dihasilkan dari hubungan antara distribusi spasial kejadian longsor dan peta parameter. Nilai informasi merupakan hasil kali antara log natural dari kerapatan longsor pada setiap peta parameter yang digunakan. Rumus yang digunakan untuk menghitung kerentanan adalah sebagai berikut:

$$IV = \ln \frac{L_i/L}{A_i/A} \quad (3)$$

Dengan L adalah luas longsor di kelas parameter i; L adalah luas longsor di seluruh wilayah kajian; A_i adalah luas kelas parameter i; A adalah luas Kecamatan Lembang.

Indeks kerawanan (S) dapat dihitung dengan rumus:

$$S = \sum_{j=1}^{j=n} IV_{ij} \quad (4)$$

IV_{ij} adalah nilai informasi dari variabel i untuk parameter j; n adalah jumlah variabel.

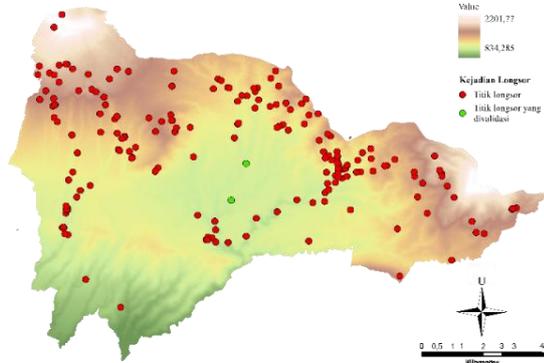
2.4.3. Validasi

Validasi peta kerawanan yang telah dibuat dilakukan dengan membandingkan peta model kerawanan longsor dengan peta inventarisasi longsor tahun 2021-2023. Validitas peta model kerawanan dengan metode AHP dan IV ditunjukkan oleh *area under curve* (AUC) dari luas peta kerentanan pada jumlah kelas tertentu (sumbu x) berdasarkan histogram jumlah longsor yang terdapat pada kelas tersebut (sumbu y). Sumbu x menunjukkan

permukaan kumulatif dari indeks kerentanan dan sumbu Y menunjukkan permukaan kumulatif longsor dari setiap bagian indeks kerentanan (Hadmoko dkk, 2017).

3. HASIL

3.1. Peta Distribusi Kejadian Longsor



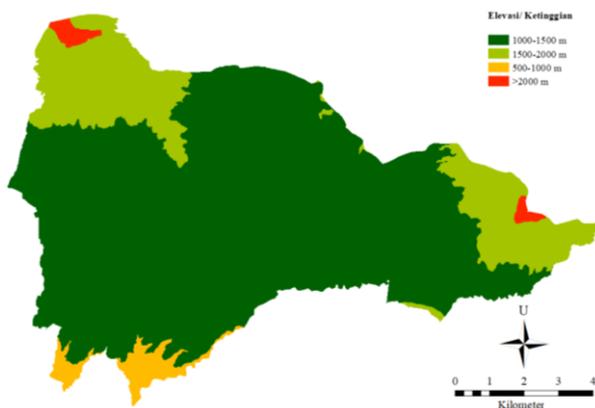
Gambar 4. Titik Longsor Hasil Inventarisasi dari Citra Google Earth

Inventarisasi longsor berdasarkan interpretasi citra yang disediakan oleh google earth menghasilkan 191 titik longsor. Sebagian besar titik longsor berada di bagian utara Kecamatan Lembang yang memiliki kemiringan lereng curam. Akumulasi keseluruhan titik longsor menghasilkan luasan sebesar 0,798 km². Densitas titik longsor per luas Kecamatan Lembang adalah 1,91 titik/km². Di sisi lain, densitas luas longsor per luas Kecamatan Lembang adalah 0,008 km²/km².

Dilakukan validasi terhadap dua lokasi longsor. Hasil validasi menunjukkan bahwa kedua longsor terjadi pada penggunaan lahan perkebunan dengan mekanisme *earth slide*. Hal ini dicirikan dengan karakteristik tanah lembab yang bergerak menuruni bidang gelincir, tanpa membentuk gerakan rotasional (Ohlmacher, 2007). Hasil pengujian menunjukkan bahwa tekstur tanah di lokasi kejadian longsor didominasi liat.

3.2. Parameter

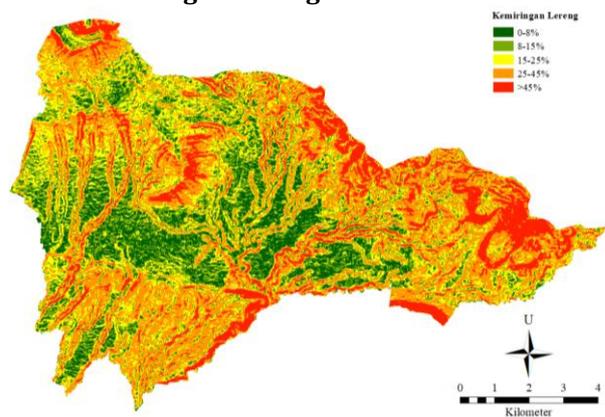
3.2.1. Elevasi



Gambar 5. Peta Elevasi Kecamatan Lembang

Jumlah titik longsor terbanyak ditemukan pada kelas elevasi 2 (1000-1500 mdpl) dengan kejadian sebanyak 142 titik (kerapatan: 2,23 kejadian/km²). Selanjutnya, terjadi penurunan jumlah kejadian longsor seiring dengan kenaikan elevasi. Di sisi lain, jumlah titik longsor paling sedikit terjadi pada kelas elevasi 1 (500-1000 mdpl) dengan 0 titik longsor. Penurunan jumlah titik longsor seiring dengan peningkatan elevasi dipengaruhi oleh keberadaan batuan resisten hasil proses vulkanik yang semakin banyak ditemukan pada elevasi tinggi. Wilayah dengan litologi batu resisten seperti andesit memiliki kerawanan longsor yang rendah (Istiyanti dkk, 2021). Di sisi lain, ketiadaan kejadian longsor pada kelas elevasi 1 dipengaruhi oleh kemiringan lereng yang landai sehingga lereng cenderung stabil.

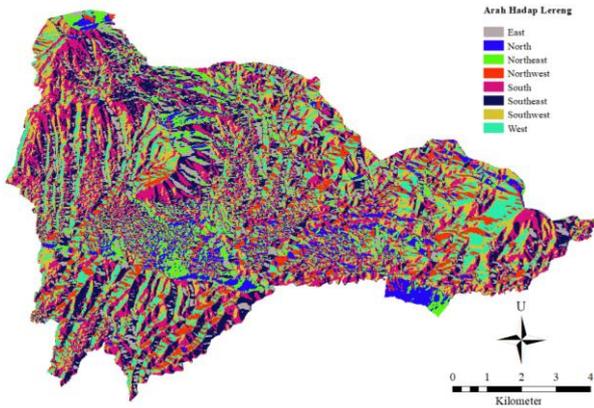
3.2.2. Kemiringan Lereng



Gambar 6. Peta Kemiringan Lereng Kecamatan Lembang

Terdapat korelasi positif antara kejadian longsor dengan kemiringan lereng. Semakin besar kemiringan lereng, semakin banyak titik kejadian longsor yang ditemukan. Namun demikian korelasi tersebut hanya terjadi hingga kelas kemiringan 3 (15-25%), dengan total 69 titik longsor dan kerapatan 2,9 kejadian/km². Mulai dari kelas kemiringan 4 (25-45%) dan seterusnya, terjadi penurunan jumlah titik longsor, bahkan pada kelas kemiringan 5 (>45%) tidak ditemukan titik longsor sama sekali. Tren penurunan jumlah longsor setelah kelas kemiringan 3 dipengaruhi oleh perubahan litologi yang pada umumnya didominasi oleh batuan resisten, sehingga proporsi tanah serta material lepas-lepas lainnya cenderung sedikit. Selain itu, peningkatan kemiringan hingga nilai tertentu berpengaruh pada penurunan aktivitas manusia akibat sulitnya akses. Hal ini pada akhirnya dapat meminimalkan kejadian longsor akibat minimnya intervensi manusia terhadap lereng (Ramlah dkk, 2020).

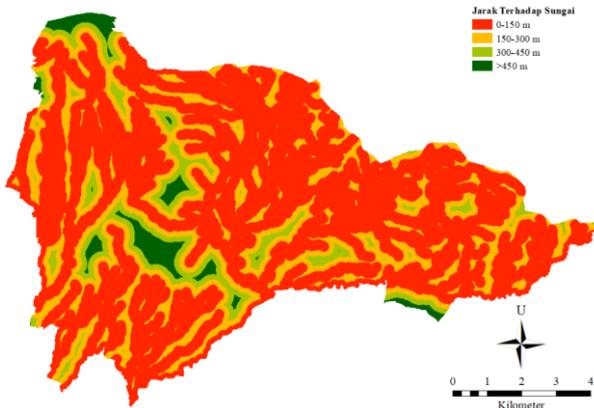
3.2.3. Arah Hadap Lereng



Gambar 7. Peta Arah Hadap Lereng Kecamatan Lembang

Sebagian besar kejadian longsor terkonsentrasi pada lereng dengan arah hadap tenggara (47 titik), selatan (27 titik), dan timur (25 titik). Pengaruh arah hadap lereng terhadap kejadian longsor berkaitan dengan efek orografis. Adanya efek orografis menyebabkan salah satu sisi lereng memiliki curah hujan yang lebih tinggi dibanding sisi lereng lainnya (Sanjaya dkk, 2023). Hal ini mengakibatkan salah satu lereng memperoleh faktor pengganggu kestabilan yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan peluang terjadinya longsor.

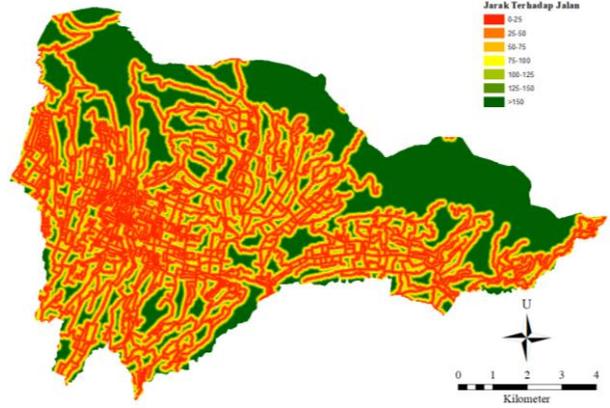
3.2.4. Jarak Terhadap Sungai



Gambar 8. Peta Jarak Terhadap Sungai Kecamatan Lembang

Terdapat korelasi negatif antara jarak terhadap sungai dengan jumlah titik longsor. Semakin dekat dengan sungai ditemukan lebih banyak titik longsor. Titik longsor terbanyak ditemukan pada jarak kurang dari 150 m terhadap sungai dengan jumlah 160 titik. Pada jarak 150 m - 300 m dari sungai terdapat penurunan titik longsor secara drastis, menyisakan hanya 15 titik. Korelasi negatif antara jarak terhadap sungai dengan jumlah titik longsor dipengaruhi oleh proses fluvial yang bekerja. Semakin dekat dengan sungai, proses fluvial seperti erosi tebing sungai semakin intens terjadi (Williams dkk., 2021). Hal ini menjadi salah satu faktor pengganggu kestabilan lereng sehingga menjadi pemicu kejadian longsor.

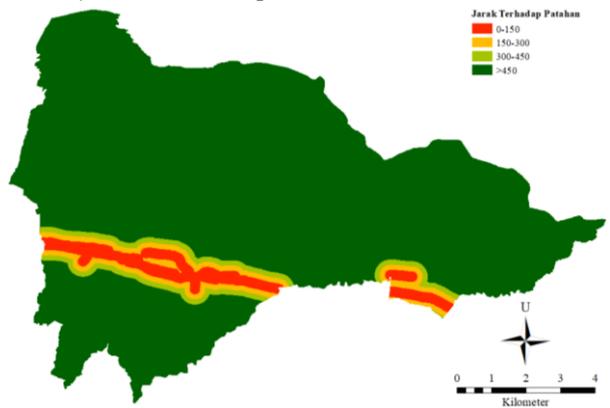
3.2.5. Jarak Terhadap Jalan



Gambar 9. Peta Jarak Terhadap Jalan Kecamatan Lembang

Tidak terlihat adanya korelasi antara jarak dari jalan dengan jumlah titik longsor. Titik longsor terbanyak ditemukan pada jarak lebih dari 100 m dari jalan. Disisi lain, jumlah titik longsor paling sedikit ditemukan pada jarak 75 m - 100 m dari jalan. Tingginya jumlah kejadian longsor pada jarak lebih dari 100 m dari jalan dipengaruhi oleh faktor kemiringan lereng. Wilayah dengan kemiringan lereng curam cenderung memiliki jaringan jalan terbatas akibat sedikitnya aktivitas masyarakat. Oleh karena itu sebagian besar titik longsor di wilayah ini cenderung jauh dari jalan. Namun demikian, hal ini tidak menghilangkan kemungkinan bahwa rekayasa relief dalam pembuatan jalan seperti pemotongan lereng, dapat memicu kejadian longsor (Azikin & Bundang, 2022). Hal ini dapat diketahui dari keberadaan titik longsor pada jarak kurang dari 25 m, sejumlah 23 titik.

3.2.6. Jarak Terhadap Patahan



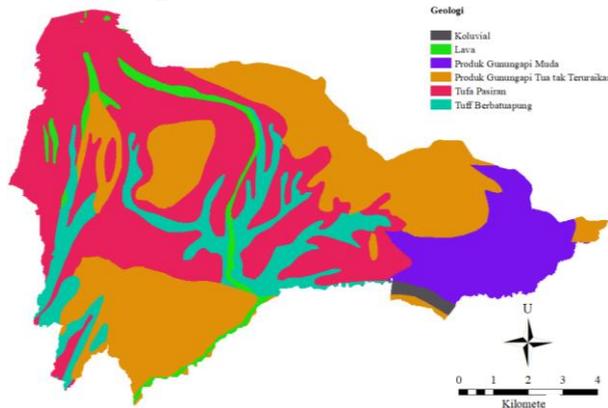
Gambar 10. Peta Jarak Terhadap Patahan Kecamatan Lembang

Tidak terdapat korelasi antara jarak dari patahan dengan jumlah kejadian longsor. Titik longsor terbanyak ditemukan pada jarak >450 m dari patahan (166 titik), sedangkan titik longsor paling sedikit ditemukan pada jarak <150 m dari patahan (0 titik). Banyaknya titik longsor pada jarak terjauh dari patahan dipengaruhi oleh kemiringan lereng.

Sebagian besar patahan di Kecamatan Lembang berada pada wilayah dengan kemiringan landai. Hal ini mengakibatkan wilayah dengan kemiringan curam, dimana sebagian besar longsor terjadi cenderung jauh dari lokasi patahan. Ketiadaan longsor pada jarak <150 m dari patahan kemungkinan disebabkan karena tidak ada kejadian gempa yang mampu memicu longsor selama periode kajian.

ini kontradiksi dengan kemampuan akar tanaman dalam mengikat matriks tanah (Zayadi dkk, 2023). Penjelasan terkait anomali ini adalah keberadaan hutan yang terkonsentrasi pada lereng dengan kemiringan curam. Dengan demikian, kejadian longsor yang terjadi pada penggunaan lahan hutan sebagian besar disebabkan oleh kemiringan lereng yang curam.

3.2.7. Litologi

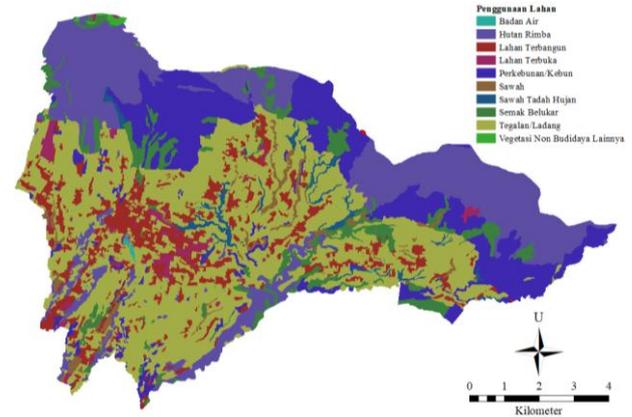


Gambar 11. Peta Litologi Kecamatan Lembang

Titik longsor paling banyak terjadi pada wilayah dengan litologi produk gunung api tua tak teruraikan (76 titik). Hal ini terjadi karena wilayah tersebut telah mengalami proses denudasi tingkat lanjut seperti erosi dan pelapukan, sehingga didominasi oleh material lepas-lepas (Chen dkk, 2020). Di sisi lain, titik longsor paling sedikit terdapat pada litologi koluvial. Hal ini terjadi karena litologi tersebut berada pada kemiringan landai sehingga cenderung stabil.

3.2.8. Penggunaan Lahan

Titik longsor paling banyak ditemukan pada penggunaan lahan hutan dengan jumlah 64 titik. Hal



Gambar 12. Peta Penggunaan Lahan Kecamatan Lembang

3.3. Analisis Kerawanan

3.3.1. Conditional Independence Test

Hasil uji chi-square digambarkan sebagai nilai Cramer's V di Tabel 4. Nilai V uji silang untuk setiap parameter berkisar antara 0,098 dan 0,436. Parameter jarak terhadap sungai dengan jarak terhadap patahan memiliki nilai dependensi paling rendah. Sementara itu, parameter penggunaan lahan dengan jarak terhadap sungai menghasilkan nilai dependensi tertinggi. Namun, seluruh parameter memenuhi syarat independen sebagai parameter kerawanan longsor karena semua nilai V yang dihitung tidak melebihi 0,5.

Tabel 4. Tabel Silang Uji Koefisien Cramer untuk Perbandingan Nilai Kontingensi *Chi-Square*

Parameter	Ketinggian	Arah hadap lereng	Jarak terhadap patahan	Jarak terhadap sungai	Jarak terhadap jalan	Litologi	Kemiringan lereng
Arah hadap lereng	0,280						
Jarak terhadap patahan	0,099	0,222					
Jarak terhadap sungai	0,325	0,261	0,098				
Jarak terhadap jalan	0,116	0,261	0,142	0,149			
Litologi	0,379	0,203	0,322	0,321	0,282		
Kemiringan lereng	0,098	0,155	0,129	0,198	0,125	0,161	
Penggunaan lahan	0,250	0,211	0,142	0,436	0,270	0,240	0,180

Tabel 5. Perbandingan Berpasangan dan Pembobotan Parameter pada Metode AHP

Parameter	Kode	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Bobot
Ketinggian	P1	1	2	4	2	5	2	1/3	1	0,164
Arah hadap lereng	P2	1/2	1	4	2	1/2	1/3	1/4	1/3	0,076
Jarak terhadap patahan	P3	1/4	1/4	1	1/3	1/3	1/4	1/6	1/2	0,035
Jarak terhadap sungai	P4	1/2	1/2	3	1	3	1	1/4	1/2	0,088
Jarak terhadap jalan	P5	1/5	2	3	1/3	1	1/2	1/3	1/6	0,064
Litologi	P6	1/2	3	4	1	2	1	1/3	1/2	0,109
Kemiringan lereng	P7	3	4	6	4	3	3	1	2	0,286
Penggunaan lahan	P8	1	3	2	2	6	2	1/2	1	0,177
Konsistensi = 0,083										

3.3.2. Analytical Hierarchy Process (AHP)

Perbandingan berpasangan antarparameter disajikan dalam Tabel 5. Parameter kemiringan lereng memiliki bobot paling tinggi dibandingkan parameter-parameter lainnya, yakni bernilai 0,286. Parameter berikutnya adalah ketinggian dan penggunaan lahan dengan masing-masing nilai 0,177 dan 0,164. Jarak terhadap patahan memiliki nilai 0,035 yang menjadi parameter dengan nilai terendah. Hasil perbandingan berpasangan ini dikategorikan konsisten (0,083) karena bernilai kurang dari 0,1.

Ketinggian 1.500–2.000 meter memiliki skor paling tinggi dibandingkan ketinggian yang lebih rendah, seperti yang terlihat pada Tabel 6. Selain itu, terdapat peningkatan skor secara bertahap dari ketinggian terendah hingga tertinggi. Bagian atas dari Kecamatan Lembang merupakan kawasan Gunungapi Tangkuban Perahu dengan morfologi curam, lalu datar pada bagian puncaknya. Kondisi tersebut tercermin pada kejadian longsor semakin meningkat hingga ketinggian 1.500–2.000 meter sebelum menurun drastis pada ketinggian 2.000 meter.

Arah hadap lereng (*aspect*) timur, tenggara, selatan, barat, dan barat daya menjadi kelas dengan skor tinggi karena arah lereng tersebut lebih banyak terpapar hujan orografis dibandingkan arah hadap lereng lainnya. Lugas tanah pada arah hadap lereng tersebut lebih besar dibandingkan lereng barat–timur laut sehingga berpengaruh terhadap stabilitas lereng akibat kejenuhan air pada tanah (Hadmoko dkk., 2017). Oleh karena itu, lereng dengan intensitas presipitasi tinggi, terutama pada lahan terbuka, memiliki potensi terjadinya longsor.

Parameter litologi memiliki kelas tertinggi pada satuan tuf berbatuapung. Satuan lahan bermaterial batuapung memiliki potensi longsor karena ketidakmampuannya melalukan air (Yulianto dkk., 2019). Sementara itu, material tuf dikenal memiliki tegangan geser yang rendah sehingga berpotensi terjadi gerak massa (Istiyanti dkk., 2021). Material lava menjadi kelas dengan skor paling rendah karena bersifat masif dan stabil.

Parameter jarak terhadap patahan, sungai dan jalan menunjukkan pola yang sama. Semakin dekat suatu wilayah dengan objek tersebut, maka kerawanan terjadinya tanah longsor semakin tinggi. Pembagian kelas pada ketiga parameter disesuaikan dengan luas wilayah kajian karena tidak ada aturan yang baku tentang pembagian kelas pada parameter tersebut (Shicker & Moon, 2012).

Penilaian yang telah dilakukan menghasilkan peta kerawanan menggunakan metode AHP awal (Gambar 13 (a)). Nilai histogram pemetaan tersebut memiliki rentang 0,059–0,328 (Gambar 13 (c)). Rentang nilai tersebut kemudian dibagi menjadi 5 kelas kerawanan: sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi (Gambar 13 (b)). Pembagian kelas tersebut dilakukan dengan metode *natural breaks* secara otomatis pada ArcGIS. Metode *natural breaks* dipilih karena mengklasifikasikan data spasial berdasarkan

pembagian yang jelas dengan memaksimalkan deviasi rata-rata masing-masing kelas dari rata-rata kelompok lain dan meminimalkan deviasi rata-rata masing-masing kelas dari rata-rata kelompok (Shicker & Moon, 2012). Hasil klasifikasi tersebut menunjukkan kelas sedang sebagai kelas paling luas (32,1%), lalu diikuti oleh kelas rendah (29,4%) (Gambar 13 (d)). Sementara itu, kelas sangat rendah, tinggi, dan sangat tinggi berturut-turut memiliki persentase luasan 13,5%, 19,5%, dan 5,5%.

3.3.3. Information Value (IV)

Metode *information value* juga digunakan dalam memetakan kerawanan longsor di Kecamatan Lembang. Hasil pemetaan menunjukkan variasi nilai masing-masing kelas berupa nilai negatif, nol, dan positif. Nilai negatif mengindikasikan suatu kelas pada suatu parameter tidak berkontribusi dalam menghasilkan kejadian longsor. Nilai nol menunjukkan tidak adanya kejadian longsor. Terakhir, nilai positif menunjukkan kontribusi suatu kelas terhadap kejadian longsor secara signifikan. Kelas sawah tadah hujan pada parameter penggunaan lahan memiliki skor -3,086 sebagai nilai terendah, sedangkan kelas lahan terbuka pada parameter yang sama memiliki skor 0,922 sebagai nilai tertinggi (Tabel 7).

Skor IV pada parameter ketinggian menunjukkan tren peningkatan hingga kelas 1.500–2.000 m. Kemudian, kelas ketinggian >2.000 m memiliki nilai negatif karena keberadaan longsor tidak terlalu signifikan. Sementara itu, skor tiap kelas pada parameter kemiringan lereng menunjukkan peningkatan hingga kelas lereng 15–25%, lalu menurun pada kelas 25–45% hingga bernilai nol pada kelas tertinggi. Skor tersebut juga menunjukkan kelas 0–8% dan 8–15% memiliki nilai negatif yang menunjukkan tidak signifikannya luasan longsor terhadap luas dua kelas parameter tersebut.

Sementara itu, arah hadap lereng timur laut dan barat menjadi kelas dengan skor tertinggi dengan masing-masing nilai sebesar 0,491 dan 0,373. Kelas selatan dan tenggara menjadi 2 arah hadap lereng dengan skor terendah, masing-masing bernilai -0,393 dan 0,290. Pola ini sedikit berbeda apabila dibandingkan pola skor pada metode AHP yang meninggikan kelas lereng yang menghadap tenggara.

Pola jarak terhadap sungai menunjukkan korelasi terhadap luasan longsor. Semakin dekat dengan sungai, luasan longsor semakin besar. Namun, pola ini tidak ditemukan pada parameter jarak terhadap patahan dan jalan yang luasan longsornya justru meningkat seiring menjauhnya dari garis parameter. Hal tersebut disebabkan oleh persentase luasan longsor yang ada tidak memiliki nilai signifikan apabila dibandingkan luasan kelas tiap parameter.

Parameter litologi, menunjukkan kelas produk gunungapi tua tak teruraikan sebagai satu-satunya kelas dengan skor positif dibandingkan parameter lainnya. Kelas tersebut memiliki skor 0,433,

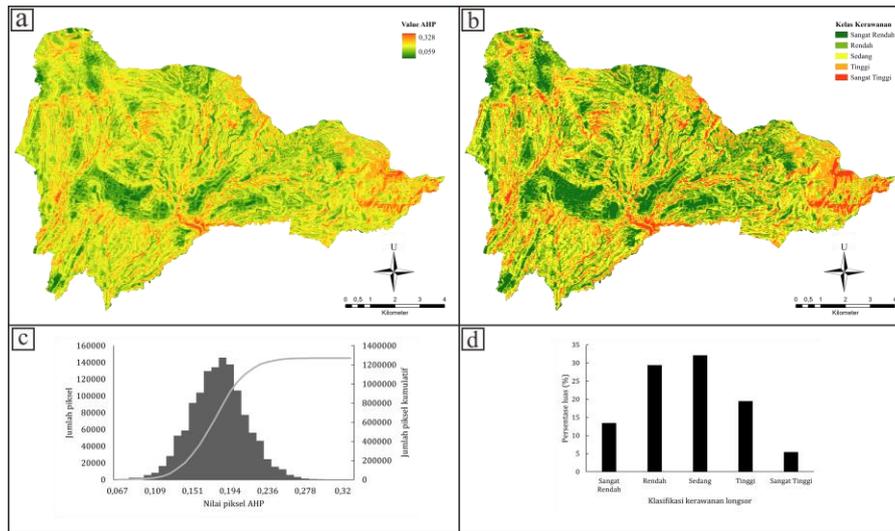
sedangkan kelas koluvial memiliki nilai terendah dengan skor -0,539. Sementara itu, penggunaan lahan hutan rimba, perkebunan, lahan terbuka, semak belukar, dan vegetasi nonbudidaya lainnya menunjukkan skor positif, sedangkan badan air dan lahan terbangun memiliki nilai nol dan sisanya minus.

Hasil penjumlahan tumpang susun (*overlay*) seluruh parameter menghasilkan peta kerawanan IV (Gambar 14 (a)). Rentang nilai total IV berdasarkan

histogram berada pada nilai -8,198–3,054 (Gambar 14 (c)). Rentang nilai tersebut kemudian dibagi dalam 5 kelas kerawanan dari sangat rendah hingga sangat tinggi dengan metode *natural breaks* (Gambar 14 (b)). Kelas sedang merupakan kelas paling luas (25,6%), lalu diikuti sangat tinggi (23, 6%), tinggi (23%), rendah (21,7%), dan sangat rendah (6,1%) (Gambar 14 (d)).

Tabel 6. Perbandingan Berpasangan dan Skor yang Dinormalisasi pada Metode AHP

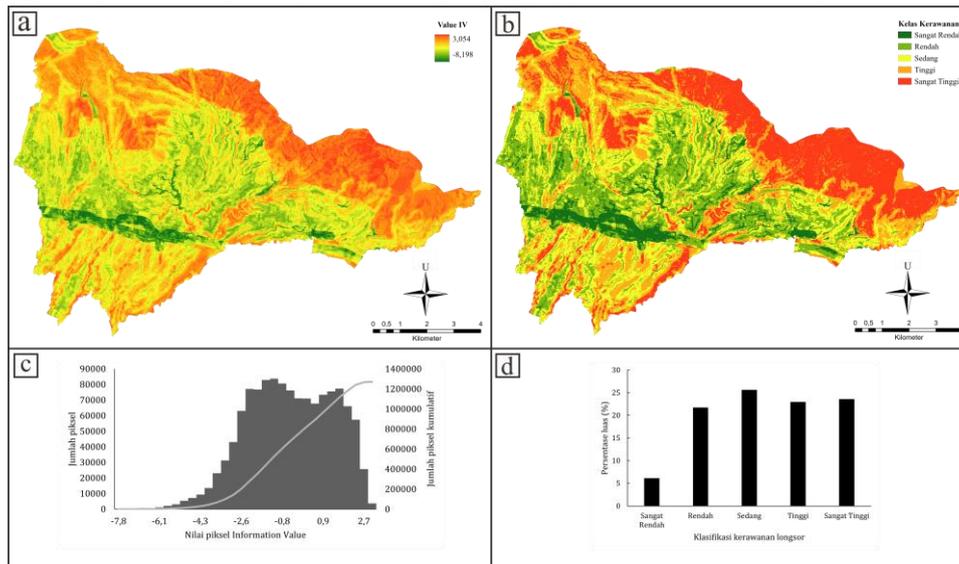
Parameter	No	Kelas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Skor
Ketinggian	1	500–1.000	1	1/2	1/3	1/4							0,098
	2	1.000–1.500	2	1	1/2	1/2							0,180
	3	1.500–2.000	3	2	1	1/2							0,412
	4	>2.000	4	2	1/2	1							0,310
Konsistensi = 0,011													
Arah hadap lereng	1	Utara	1	1/3	1/7	1/9	1/7	1/6	1/8	1/4			0,018
	2	Timur laut	3	1	1/6	1/6	1/6	1/4	1/7	1/2			0,029
	3	Timur	7	6	1	1/3	2	2	1/2	6			0,160
	4	Tenggara	9	6	3	1	2	4	4	5			0,316
	5	Selatan	7	6	1/2	1/2	1	2	1/2	6			0,141
	6	Barat daya	6	4	1/2	1/4	1/2	1	2	5			0,126
	7	Barat	8	7	2	1/4	2	1/2	1	7			0,173
	8	Barat laut	4	2	1/6	1/5	1/6	1/5	1/7	1			0,037
Konsistensi = 0,085													
Jarak terhadap patahan	1	<150	1	2	6	9							0,543
	2	150–300	1/2	1	4	6							0,314
	3	300–450	1/6	1/4	1	2							0,091
	4	>450	1/9	1/6	1/2	1							0,052
Konsistensi = 0,008													
Jarak terhadap sungai	1	<150	1	2	6	9							0,543
	2	150–300	1/2	1	4	6							0,314
	3	300–450	1/6	1/4	1	2							0,091
	4	>450	1/9	1/6	1/2	1							0,052
Konsistensi = 0,008													
Jarak terhadap jalan	1	<25	1	3	4	6	7						0,485
	2	25–50	1/3	1	3	4	6						0,262
	3	50–75	1/4	1/3	1	3	4						0,139
	4	75–100	1/6	1/4	1/3	1	3						0,074
	5	>100	1/7	1/6	1/4	1/3	1						0,040
Konsistensi = 0,058													
Litologi	1	Koluvial	1	3	2	5	3	2					0,066
	2	Lava	1/3	1	1/3	3	1/3	1/5					0,035
	3	Produk gunungapi muda	1/2	3	1	5	2	1/5					0,053
	4	Produk gunungapi tua tak teruraikan	1/5	1/3	1/5	1	2	1/5					0,044
	5	Tufa pasiran	1/3	3	1/2	3	1	1/5					0,045
	6	Tuf berbatuapung	5	5	5	3	5	1					0,255
Konsistensi = 0,121													
Kemiringan lereng	1	0–8%	1	1/2	1/5	1/7	1/9						0,038
	2	8–15%	2	1	1/2	1/4	1/6						0,072
	3	15–25%	5	2	1	1/2	1/5						0,138
	4	25–45%	7	4	2	1	1/2						0,264
	5	>45%	9	6	5	2	1						0,488
Konsistensi = 0,017													
Penggunaan lahan	1	Badan air	1	1/7	1/5	1/9	1/5	1/4	1/4	1/5	1/6	1/9	0,014
	2	Lahan terbangun	7	1	2	1/2	7	8	8	5	3	1/2	0,184
	3	Hutan rimba	5	1/2	1	1/5	3	7	7	6	1/5	1/5	0,095
	4	Perkebunan/kebun	9	2	5	1	5	7	7	5	1	1	0,204
	5	Lahan terbuka	5	1/7	1/3	1/5	1	3	3	1	1/5	1/5	0,041
	6	Sawah	4	1/8	1/7	1/7	1/3	1	1	1/3	1/6	1/7	0,023
	7	Sawah tadah hujan	4	1/8	1/7	1/7	1/3	1	1	1/3	1/6	1/7	0,023
	8	Semak belukar	5	1/5	1/6	1/5	1	3	3	1	1/5	1/5	0,041
	9	Tegalan/ladang	8	1/3	5	1	5	6	6	5	1	1	0,172
	10	Vegetasi non Budidaya Lainnya	9	2	5	1	5	7	7	5	1	1	0,204
Konsistensi = 0,085													



Gambar 13. Hasil Pemetaan Kerawanan Longsor Menggunakan Metode AHP: (a) Peta Kerawanan Longsor Awal; (b) Peta Kerawanan Longsor Akhir; (c) Histogram Indeks Kerawanan Longsor; (d) Histogram Kelas Kerawanan Longsor

Tabel 7. Penilaian Skor Kelas Tiap Parameter pada Metode IV

Parameter	Kelas	Jumlah Pixel Kelas	Jumlah Pixel Longsor	% Luas kelas	% Luas longsor	IV	
Ketinggian	500–1.000	34616	0	2,71	0,00	0,000	
	1.000–1.500	993850	910	77,85	72,34	-0,073	
	1.500–2.000	235309	342	18,43	27,19	0,389	
	>2.000	12842	6	1,01	0,48	-0,746	
Arah hadap lereng	Utara	106604	106	8,35	8,43	0,009	
	Timur laut	81344	131	6,37	10,41	0,491	
	Timur	120373	143	9,43	11,37	0,187	
	Tenggara	230470	170	18,05	13,51	-0,290	
	Selatan	251099	167	19,67	13,28	-0,393	
	Barat daya	193730	185	15,18	14,71	-0,031	
Jarak terhadap patahan	Barat	165577	237	12,97	18,84	0,373	
	Barat laut	121183	119	9,49	9,46	-0,003	
	<150	56879	5	4,46	0,40	-2,417	
	150–300	45086	43	3,53	3,42	-0,033	
Jarak terhadap sungai	300–450	39627	0	3,10	0,00	0,000	
	>450	1135025	1210	88,91	96,18	0,079	
	<150	921480	1018	72,18	80,92	0,114	
	150–300	258884	174	20,28	13,83	-0,383	
Jarak terhadap jalan	300–450	69811	56	5,47	4,45	-0,206	
	>450	26442	10	2,07	0,79	-0,958	
	<25	346860	130	27,17	10,33	-0,967	
	25–50	228204	130	17,88	10,33	-0,548	
	50–75	160574	141	12,58	11,21	-0,115	
Litologi	75–100	106816	110	8,37	8,74	0,044	
	>100	434163	747	34,01	59,38	0,557	
	Koluvial	8701	5	0,68	0,40	-0,539	
	Lava	40964	31	3,21	2,46	-0,264	
	Produk gunungapi muda	139930	110	10,96	8,74	-0,226	
	Produk gunungapi tua tak teruraikan	448119	681	35,10	54,13	0,433	
	Tufa pasiran	486120	283	38,08	22,50	-0,526	
	Tuf berbatuapung	152752	148	11,97	11,76	-0,017	
	Kemiringan lereng	0–8%	363196	153	28,45	12,16	-0,850
		8–15%	342671	302	26,84	24,01	-0,112
15–25%		371913	537	29,13	42,69	0,382	
25–45%		188404	266	14,76	21,14	0,360	
Penggunaan lahan	>45%	4196	0	0,33	0,00	0,000	
	Badan air	1629	0	0,13	0,00	0,000	
	Lahan terbangun	127944	0	10,02	0,00	0,000	
	Hutan rimba	292978	512	22,95	40,70	0,573	
	Perkebunan/kebun	215813	391	16,91	31,08	0,609	
	Lahan terbuka	20190	50	1,58	3,97	0,922	
	Sawah	24756	7	1,94	0,56	-1,248	
	Sawah tadah hujan	22217	1	1,74	0,08	-3,086	
	Semak belukar	85716	123	6,71	9,78	0,376	
	Tegalan/ladang	482794	168	37,82	13,35	-1,041	
Vegetasi non Budidaya Lainnya	2549	6	0,20	0,48	0,871		



Gambar 14. Hasil Pemetaan Kerawanan Longsor Menggunakan Metode IV: (a) Peta Kerawanan Longsor Awal; (b) Peta Kerawanan Longsor Akhir; (c) Histogram Indeks Kerawanan Longsor; (d) Histogram Kelas Kerawanan Longsor

4. PEMBAHASAN

Kajian ini menghasilkan peta kerawanan tanah longsor di Kecamatan Lembang dengan metode *analytical hierarchy process* (AHP) dan *information value* (IV). Kedua pemetaan tersebut kemudian dibandingkan dan dievaluasi kesesuaiannya terhadap lokasi kajian. Kajian seperti ini sudah pernah dilakukan dengan lokasi dan skala kajian yang berbeda oleh Hadmoko dkk. (2017), Pourgashemi dkk. (2012), dan Shicker & Moon (2012). Mereka menggunakan daerah aliran sungai (DAS) sebagai skala analisisnya. Sementara itu, kajian ini menggunakan wilayah administrasi, yaitu Kecamatan Lembang, sebagai skala analisis. Basis tersebut digunakan karena strategi penanganan bencana di Indonesia secara umum berbasis administratif, seperti halnya penentuan bencana prioritas di tiap daerah (Malawani dkk., 2024).

Analisis kerawanan longsor berdasarkan metode IV menghasilkan kelas kerawanan tinggi hingga sangat tinggi sebesar 46,6% dari luas total Kecamatan Lembang. Jauh lebih luas dibandingkan kerawanan yang dihasilkan dari metode AHP (25%). Analisis kerawanan longsor dengan metode IV menghasilkan distribusi kerawanan tinggi hingga sangat tinggi yang terkonsentrasi merata pada bagian utara, serta memanjang mengikuti sungai pada bagian tengah kecamatan. Pola distribusi ini berasosiasi dengan penggunaan lahan berupa hutan, serta kedekatan dengan jaringan sungai. Di sisi lain, kelas kerawanan rendah berasosiasi dengan keberadaan patahan. Asosiasi kerawanan terhadap parameter penggunaan lahan, kedekatan dengan sungai, serta keberadaan patahan sesuai dengan kejadian longsor aktual.

Perbedaan di antara metode AHP dan IV dapat diamati dengan membandingkan pola distribusi kerawanan longsor yang dihasilkan oleh kedua metode. Metode AHP menghasilkan kelas kerawanan longsor tinggi hingga sangat tinggi, yakni sekitar 25%

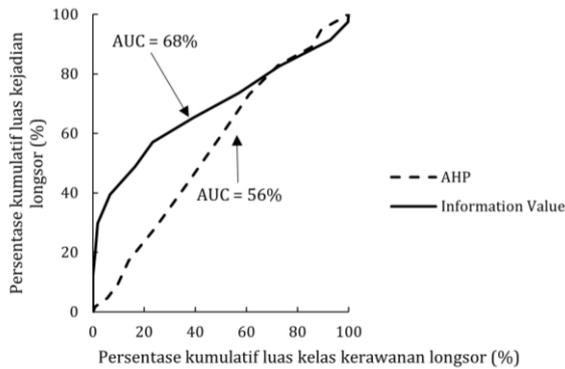
dari total luas Kecamatan Lembang. Distribusi kelas kerawanan tersebut mengelompok pada bagian timur dan selatan wilayah kajian. Kelas kerawanan tinggi hingga sangat tinggi juga berasosiasi terhadap ketinggian lebih dari 1.500 meter, kemiringan lereng yang curam, pola drainase yang rapat, dan kedekatan dengan patahan. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan parameter elevasi, kemiringan lereng, dan jarak terhadap sungai merupakan faktor dominan yang berkontribusi terhadap kejadian longsor di wilayah pegunungan (Pourgashemi dkk., 2012).

Di sisi lain, metode IV menunjukkan ketidaksesuaian antara distribusi kerawanan longsor dengan parameter patahan. Titik-titik longsor aktual justru mengelompok pada wilayah yang jauh dari patahan, lebih dari 450 meter. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh bobot dan skor yang digunakan dalam metode AHP, di mana bobot dan skor ditentukan oleh ahli berdasarkan generalisasi dari pengalaman kejadian longsor sebelumnya (Saaty, 1980). Penggunaan generalisasi tersebut cenderung tidak mempertimbangkan karakteristik khas setiap wilayah (Guzzetti dkk., 1999). Misalnya, di Kecamatan Lembang, patahan Lembang adalah fitur geologis utama yang berasosiasi dengan kerawanan longsor. Namun, data inventarisasi menunjukkan longsor di wilayah ini lebih sering terjadi pada daerah yang jauh dari patahan, sedangkan parameter lain lebih berpengaruh pada skala lokal (Pradhan & Lee, 2010). Hal tersebut dapat diperkuat dengan catatan seismik yang berasal dari Patahan Lembang tidak terlalu signifikan, baik dari segi magnitudo maupun frekuensi (Husain dkk., 2023).

Perbedaan lainnya di antara kedua metode juga dapat diamati dengan membandingkan akurasi hasil pemetaannya. Gambar 15 menunjukkan grafik persentase kumulatif luas kelas kerawanan longsor dengan persentase kumulatif luas kejadian longsor.

Hasil uji akurasi tersebut menunjukkan metode IV memiliki akurasi lebih tinggi dibandingkan AHP, yakni 68% berbanding 56%. Bukti akurasi yang lain adalah 10% zona kerawanan pertama metode AHP dapat menggambarkan 9% luasan longsor, sedangkan dalam 25% zona kerawanan mampu menjelaskan 28% luasan longsor. Hal tersebut berbeda dengan metode IV. Sepuluh persen zona kerawanan pertama pada metode tersebut dapat menggambarkan 40% luasan longsor, sedangkan dalam 25% zona kerawanan dapat menjelaskan 58% luasan longsor.

Perbedaan ini mengindikasikan bahwa metode IV lebih unggul dalam memvisualisasikan tingkat kerawanan berdasarkan data longsor yang telah ada. Nilai-nilai tersebut tidak menunjukkan seberapa mampu suatu model memprediksi kejadian longsor di masa depan, tetapi menunjukkan seberapa bagus model tersebut dalam memvisualisasikan tingkat kerawanan berdasarkan data longsor historis (Pourgashemi dkk., 2012). Dengan demikian, metode IV dapat dianggap lebih efektif untuk memetakan kerawanan longsor di Kecamatan Lembang.



Gambar 15. Grafik Uji Akurasi Pemetaan Kerawanan Longsor

Akurasi kedua parameter ini bergantung terhadap data masukan (*input*), seperti parameter dan inventarisasi longsor. Kualitas input data menghasilkan akurasi pemetaan yang berbeda (Gaidzik & Ramirez-Herrera, 2021). Ketiadaan citra beresolusi tinggi juga berpengaruh terhadap sedikitnya jumlah longsor yang dapat dideteksi (El Jazaouli dkk., 2019). Namun, publikasi lain menyebutkan kualitas data parameter lebih penting daripada data kejadian longsor untuk menghasilkan peta kerawanan yang akurat (Gaidzik & Ramirez-Herrera, 2021; Shicker & Moon, 2012). Hal tersebut dapat tercermin dalam ketersediaan data patahan yang hanya merepresentasikan patahan Lembang dengan skala detail. Kekurangan tersebut menyebabkan longsor-longsor yang berasosiasi dengan patahan tidak dapat terekam dengan baik. Oleh karena itu, hasil pemetaan pada metode statistik seperti *information value* menunjukkan nilai yang sangat rendah pada wilayah sekitar patahan.

Delineasi kejadian longsor di Kecamatan Lembang melalui citra juga mengalami kendala dalam

merekonstruksi kejadian longsor karena ukurannya yang terlalu kecil dan cepat ditutupi vegetasi. Banyak titik longsor yang berada di dekat jalan tidak dapat terekam dengan baik karena sudah ditutup dengan pelapis, seperti terpal. Kejadian-kejadian longsor di area permukiman juga sulit dikenali, sedangkan banyak kejadian longsor terekam di area nonbudidaya, misalnya hutan. Hasil validasi lapangan juga menunjukkan kejadian longsor, terutama pada lahan budidaya perkebunan dan tegalan, segera diolah oleh warga setempat sehingga bekasnya hampir tidak dikenali lagi. Bekas-bekas longsor di wilayah tropis akan sulit dikenali dalam beberapa bulan karena vegetasi dapat tumbuh dengan cepat (Guzetti dkk., 2012). Keberadaan awan di wilayah beriklim tropis juga meningkatkan kesulitan dalam menemukan bekas-bekas longsor (Van Westen dkk., 2008). Kendala-kendala tersebut seringkali ditemukan pada citra satelit, terutama yang disediakan oleh Google Earth dengan interval waktu citra yang tidak konsisten. Oleh karena itu, rentang temporal inventarisasi yang pendek dan terbatas berpengaruh terhadap kemampuan model dalam memetakan kerawanan longsor.

Kajian ini masih belum memasukkan data esensial sebagai agen pemicu longsor lainnya, seperti data curah hujan dan seismik karena ketiadaan sumber data. Hujan dapat menyebabkan tanah menjadi jenuh air dan mengurangi stabilitas lereng sehingga dapat memicu terjadinya longsor (Gariano & Guzzetti, 2016). Sementara itu, aktivitas seismik dapat mengganggu kestabilan lereng sehingga memicu terjadinya longsor (Yi dkk., 2009). Kedua data tersebut dapat menjelaskan distribusi kejadian longsor lainnya yang belum diakomodasi model ini. Oleh karena itu, pemilihan parameter dalam pemodelan longsor perlu diperhatikan. Selain itu, pemetaan yang komprehensif akan memberikan gambaran yang lebih tepat terhadap wilayah yang rawan terhadap longsor serta membantu upaya mitigasi dan perencanaan penggunaan lahan pada sektor pemerintahan.

5. KESIMPULAN

Analisis kerawanan longsor di Kecamatan Lembang melalui metode AHP dan IV menghasilkan distribusi kerawanan yang berbeda. Metode AHP menghasilkan kerawanan longsor tinggi hingga sangat tinggi sebesar 25% dari total luas Kecamatan Lembang dengan distribusi di bagian timur dan selatan. Distribusi ini berasosiasi dengan ketinggian lebih dari 1.500 m, kemiringan lereng curam, pola drainase rapat, serta kedekatan dengan patahan. Namun demikian, asosiasi model kerawanan dengan parameter patahan tidak sesuai dengan hasil validasi titik longsor. Di sisi lain, metode IV menghasilkan kerawanan longsor tinggi hingga sangat tinggi sebesar 46,6% dari total luas Kecamatan Lembang dengan distribusi merata dibagian utara, serta memanjang mengikuti alur sungai pada bagian tengah. Distribusi model kerawanan ini berkorelasi dengan parameter

Hamdani, A. J., Rahmawati, Z. Y., Priyana, P. E., Zen, R. F., Suhartono, M. A. T. S. P., Mandiri, A. P., Puspita, S. M., Fitriawan, M. B., Ahsan, N. F., Setiawan, F. H., dan Hanif, M. H. A. (2025). Analisis Kerawanan Longsor dengan Metode *Analytical Hierarchy Process* dan *Information Value* di Kecamatan Lembang–Kabupaten Bandung Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(5), 1253-1268, doi:10.14710/jil.23.5.1253-1268

ketinggian, kemiringan lereng curam, pola drainase rapat, serta kedekatan dengan patahan. Asosiasi ini sesuai dengan hasil validasi titik longsor.

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu diperhatikan. Inventarisasi kejadian longsor hanya mengandalkan interpretasi dari citra yang disediakan pada Google Earth tersedia dalam interval waktu yang tidak konsisten. Kondisi tersebut mengakibatkan kenampakan longsor dapat tertutup oleh vegetasi baru atau dimodifikasi oleh aktivitas manusia dalam waktu singkat. Selain itu, data pemicu longsor, seperti curah hujan dan aktivitas seismik, belum dimasukkan ke dalam model ini. Penambahan kedua faktor pemicu dalam penelitian selanjutnya dapat menambah akurasi model, khususnya pada metode IV.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Dr. Danang Sri Hadmoko yang telah mensupervisi kuliah kerja lapangan 3 dan penulisan artikel. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Bandung Barat yang telah memberikan data persiapan kegiatan lapangan. Selain itu, penulis juga menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu dalam membantu proses kegiatan Kuliah Kerja Lapangan III Prodi Geografi Lingkungan tahun 2024.

DAFTAR PUSTAKA

Azikin, B., & Bundang, S. (2022). Kerentanan Bencana Tanah Longsor di Wilayah Kecamatan Herolangelange Kabupaten Bulukumba Sulawesi Selatan. *Jurnal GEOMining*, 3(2), 67-75.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2024). *Data Informasi Bencana Indonesia*. Diakses dari <https://dibi.bnpb.go.id/superset/dashboard/2/>

Barančoková, M., Šošovička, M., Barančok Jr, P., & Barančok, P. (2021). Predictive modelling of landslide susceptibility in the Western Carpathian Flysch Zone. *Land*, 10(12), 1370.

Das, S., Sarkar, S., & Kanungo, D. P. (2022). GIS-based landslide susceptibility zonation mapping using the analytic hierarchy process (AHP) method in parts of Kalimpong Region of Darjeeling Himalaya. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(4), 234.

Chen, C. Y., Willett, S. D., West, A. J., Dadson, S., Hovius, N., Christl, M., & Shyu, J. B. H. (2020). The impact of storm-triggered landslides on sediment dynamics and catchment-wide denudation rates in the southern Central Range of Taiwan following the extreme rainfall event of Typhoon Morakot. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45(3), 548-564.

El Jazouli, A., Barakat, A. & Khellouk, R. (2019). GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco). *Geoenvironment Disasters*, 6, 3.

Gariano, S. L., & Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth Science Review*, 162, 227-252.

Gaidzik, K., & Ramírez-Herrera, M. T. (2021). The importance of input data on landslide susceptibility mapping. *Scientific Reports*, 11(1), 19334.

Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., & Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31(1-4), 181-216.

Guzzetti, F., Gariano, S.L., Peruccacci, S., Brunetti, M.T., Marchesini, I., Rossi, M., Melillo, M. (2020). Geographical landslide early warning systems. *Earth-Science Reviews*, 200, 102973.

Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., & Chang, K-T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112(1-2), 42-66.

Hadmoko DS, Lavigne F, Sartohadi J, Hadi MP (2010). Landslide hazard and risk assessment and their application in risk management and landuse planning in eastern flank of Menoreh Mountains, Yogyakarta Province, Indonesia. *Natural Hazards*, 54(3), 623-642.

Hadmoko DS, Lavigne F, Sartohadi J, Samodra G, Christanto N. (2009). GIS application for comprehensive spatial landslides analysis in Kayangan Catchment, Menoreh Mountains, Java, Indonesia dalam *Landslides processes: from geomorphic mapping to dynamic modeling*, editor Malet J.P., Remaître A., Bogaard T. European Center of Geomorphological Hazards, Strasbourg, pp. 297-302.

Hadmoko, D. S., Lavigne, F., & Samodra, G. (2017). Application of a semiquantitative and GIS-based statistical model to landslide susceptibility zonation in Kayangan Catchment, Java, Indonesia. *Natural Hazards*, 87, 437-468.

Hussain, E., Gunawan, E., & Hanifa, N. R. (2023). The seismic hazard from the Lembang Fault, Indonesia, derived from InSAR and GNSS data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23, 3185-3197.

Istiyanti, M. L., Goto, S., & Ochiai, H. (2021). Characteristics of tuff breccia-andesite in diverse mechanisms of landslides in Oita Prefecture, Kyushu, Japan. *Geoenvironmental Disasters*, 8, 4.

Kastolani, W., Darsiharjo, Setiawan, I., & Rahmafritra, F. (2017). Pelatihan Desa Binaan Siaga Bencana Untuk Pengurangan Resiko Bencana Gempa Bumi Dan Longsor di Desa Suntenjaya Kecamatan Lembang Kabupaten Bandung Barat. *Jurnal Abmas Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Pendidikan Indonesia*, 17(1), 74-87.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2022). *Laporan Kebencanaan Geologi*. Diakses melalui <https://vsi.esdm.go.id/index.php/kegiatan-pvmbg/berita-harian-kebencanaan-geologi/3830-laporan-kebencanaan-geologi-15-november-2021>

Knapen, A., Kitutu, M. G., Poesen, J., Breugelmanns, W., Deckers, J., & Muwanga, A. (2006). Landslides in a densely populated county in the footslopes of Mount Elgon (Uganda): characteristics and causal factors. *Geomorphology*, 73(1-2), 149-165.

Loche, M., Alvioli, M., Marchesini, I., Bakka, H., Lombardo, L. (2022). Landslide susceptibility maps of Italy: Lesson learnt from dealing with multiple landslide types and the uneven spatial distribution of the national inventory. *Earth Sci. Rev.* 232, 104125.

Malawani, M. N., Rachmadan, F. A., Rahim, A. P., Hibatullah, M. F., Ningsih, R. L., Yoga, A. G. H., & Handayani, T. (2024). Menentukan Jenis Bencana Prioritas pada

- Level Kabupaten: Studi Kasus Kabupaten Kulon Progo. *Media Komunikasi Geografi*, 25(1), 243-256.
- Naryanto, H.S. (2013). Analisis dan Evaluasi Kejadian Bencana Tanah Longsor di Cililin, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat Tanggal 25 Maret 2013. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 8(1), 39-49.
- Naryanto, H.S., Kristijono, A., Suwandita, H., Ganesha, D., Prawiradisastra, F. dan Udrek. (2017). Analisis Kejadian Bencana Tanah Longsor (Gerakan Tanah) di Dusun Tangkil, Desa Banaran, Kecamatan Pulung, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur Tanggal 1 April 2017. Laporan Kajian Cepat, PTRRB, BPPT.
- Ohlmacher, G. C. (2007). Plan curvature and landslide probability in regions dominated by earth flows and earth slides. *Engineering Geology*, 91(2-4), 117-134.
- Ozdemir, A. (2020). A comparative study of the frequency ratio, analytical hierarchy process, artificial neural networks and fuzzy logic methods for landslide susceptibility mapping: Taşkent (Konya), Turkey. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38, 4129-4157.
- Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., & Gokceoglu, C. (2012). Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Natural Hazards*, 63(2), 965-996.
- Pradhan, B., & Lee, S. (2010). Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models. *Environmental Earth Sciences*, 60(5), 1037-1054.
- Ramlah, R., Hadmoko, D. S., & Setiawan, M. A. (2020). Penilaian Tingkat Aktivitas Longsor di Sub-DAS Bompon. *Media Komunikasi Geografi*, 21(1), 12-26.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill Book Co, New York.
- Saha, A. K., Gupta, R. P., & Arora, M. K. (2002). GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) valley, Himalayas. *International journal of remote sensing*, 23(2), 357-369.
- Samodra, G. (2022). Simulasi Morfodinamika Longsor Kalisari, Kabupaten Magelang Berdasarkan Data LiDAR dan Model Numerik. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 13(2).
- Sanjaya, Z. T., Puspitosari, A., & Hidayat, A. (2023). Analysis of Landslide Vulnerability in Conto Village, Bulukerto Subdistrict, Wonogiri Regency. *ENVIBILITY: Journal of Environmental and Sustainability Studies*, 1(2), 115-122.
- Sarkar, S., Roy, A. K., & Martha, T. R. (2013). Landslide susceptibility assessment using information value method in parts of the Darjeeling Himalayas. *Journal of the Geological Society of India*, 82, 351-362.
- Schicker, R., & Moon, V. (2012). Comparison of bivariate and multivariate statistical approaches in landslide susceptibility mapping at a regional scale. *Geomorphology*, 161-162, 40-57.
- Tan, F., Hu, X., He, C., Zhang, Y., Zhang, H., Zhou, C., & Wang, Q. (2018). Identifying the main control factors for different deformation stages of landslide. *Geotechnical and Geological Engineering*, 36, 469-482.
- Van Westen, C. J., Castellanos, E., & Kuriakose, S. L. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology*, 102(3-4), 112-131.
- Varnes DJ. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, Commission on landslides of the IAEG, UNESCO, *Natural Hazards*, 3, 61.
- Williams, F., McColl, S., Fuller, I., Massey, C., Smith, H., & Neverman, A. (2021). Intersection of fluvial incision and weak geologic structures cause divergence from a universal threshold slope model of landslide occurrence. *Geomorphology*, 389, 107795.
- Yin, Y., Wang, F., & Sun, P. (2009). Landslide hazards triggered by the 2008 Wenchuan earthquake, Sichuan, China. *Landslides*, 6, 139-152.
- Yulianto, T., Suripin, S., & Purnaweni, H. (2019). Zoning landslide vulnerable area according to geological structure, slopes, and landuse parameters In Trangkil Sukorejo Gunungpati Semarang City's Residential Area. *Journal of Physics: Conference Series*, 1217(1), 012029.
- Zayadi, R., Andayani, S., & Indrawati, E. (2023). Pemanfaatan Tanaman Bambu dan Kaliandra untuk Perkuatan Lereng sebagai Upaya Mitigasi terhadap Longsor di Desa Sinarresmi Sukabumi: Utilization of Bamboo and Kaliandra Plant for Slope Reinforcement as a Mitigation Effort against Availability in Sinarresmi Village, Sukabumi. *PengabdianMu: Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat*, 8(4), 514-522.