



Pemetaan Potensi Longsor Di Area Geothermal Cluster X PT. Pertamina Geothermal Energy Area Lahendong

Vanessa Laloan^{#a}, Steeva G. Rondonuwu^{#b}, Roski R. I. Legrans^{#c}

[#]Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^avanessalaloan28@gmail.com, ^bsteeva_rondonuwu@unsrat.ac.id, ^clegransroski@unsrat.ac.id

Abstrak

PT. Pertamina Geothermal Energy adalah wilayah prioritas pengembangan energi terbarukan salah satunya di Cluster X yang memiliki potensi uap besar. Kegiatan eksplorasi geothermal ini rentan memicu longsor. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan daerah yang berpotensi terjadi longsor yang disajikan dalam peta potensi longsor berdasarkan faktor pengontrol seperti curah hujan, kemiringan lereng, jenis batuan, jenis tanah, dan tutupan lahan. Metode penelitian yang digunakan adalah analisis bobot setiap faktor pengontrol dan kelas faktor menggunakan model pendugaan mengacu pada penelitian Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat tahun 2004 kemudian setiap faktor pengontrol diolah dengan teknik *overlay* menggunakan *software ArcGis v10.8* yaitu peta setiap parameter di tumpang susun sehingga menghasilkan peta kerawanan longsor. Hasil penelitian menunjukkan kejadian gerakan tanah yaitu erosi permukaan secara lateral dengan tingkat erosi sedang dan potensi longsor tipe luncuran (*slide*), material longsor umumnya berupa campuran tanah dan sedikit fragmen batuan. Parameter yang dominan menyebabkan longsor adalah curah hujan dengan intensitas sedang hingga tinggi pada rentang 3000-3100 mm. Kemiringan lereng 0-40 derajat, tutupan lahan yaitu fasilitas infrastruktur diantara wilayah pemukiman, jenis batuan merupakan batuan vulkanik atau batuan gunung api muda seperti breksi vulkanik, jenis tanah yaitu andosol yang peka terhadap longsor. Cluster X termasuk pada zona kerawanan longsor tinggi.

Kata kunci: potensi longsor, faktor pengontrol, pembobotan, overlay

1. Pendahuluan

Longsor menjadi bencana paling sering di Indonesia, dengan frekuensi tinggi di Sulawesi Utara yaitu sebanyak 247 kejadian pada tahun 2018 sampai tahun 2022. Indonesia memiliki potensi energi panas bumi besar sebagai bagian dari Cincin Api Pasifik. Cluster X, yang dikelola oleh PT. Pertamina Geothermal Energy, adalah wilayah prioritas pengembangan energi terbarukan karena memiliki potensi uap terbesar yang digunakan untuk proses pembangkitan listrik di Sulawesi Utara. Eksplorasi geothermal ini rentan memicu longsor terutama di daerah geologis aktif seperti Cluster X. Pemetaan potensi longsor pada area proyek panas bumi ini penting dilakukan untuk mengetahui daerah-daerah yang rentan terhadap potensi gerakan massa tanah untuk menghindari terjadinya longsor dan melindungi pekerja maupun infrastruktur perusahaan yang penting serta meminimalkan kerugian material.

Bencana longsor tidak terjadi dengan sendirinya, melainkan terdapat beberapa faktor yang menjadi penyebab terjadinya longsor. Faktor-faktor penyebab terjadinya tanah longsor yaitu curah hujan yang tinggi, kemiringan lereng yang curam, jenis tanah, geologi dan penggunaan lahan. Daerah kajian ini berpotensi longsor karena terletak di dataran tinggi perbukitan hasil pemotongan lereng. Selain itu, hal ini juga diperburuk dengan kondisi batuan yang tidak kompak yang mudah mengalami degradasi, jenis tanah yang peka terhadap gerakan tanah, penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan kondisi wilayah tersebut serta aktivitas manusia di atas lahan yang membebani lereng dan curah hujan yang tinggi pada saat musim penghujan (Riyas, 2021) dalam penelitian (Taufik, Kurniawan, & Putri, 2016).

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan diatas, maka pokok permasalahan yang menjadi kajian penelitian ini adalah bagaimana kejadian gerakan tanah di cluster X PT. Pertamina Geothermal Energy Area Lahendong, bagaimana kondisi lapangan dari hasil data sesuai dengan parameter yang ditentukan dan dimana saja daerah yang berpotensi terjadi longsor. Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui mekanisme gerakan tanah di Cluster X PT. Pertamina Geothermal Energy Area Lahendong, mengidentifikasi kondisi lapangan untuk parameter yang ditentukan seperti curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, jenis batuan dan tutupan lahan serta memetakan daerah yang berpotensi terjadi longsor yang disajikan dalam peta potensi longsor. Lokasi Penelitian dilaksanakan di PT. Pertamina Geothermal Energy yang terletak di Tondangow, Kota Tomohon, Sulawesi Utara.

1.1. Penelitian Terdahulu

Hardianto dkk. (2020) memetakan tingkat kerawanan longsor di Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat, menggunakan metode *overlay* dan *skoring* terhadap lima parameter, yaitu curah hujan, jenis batuan, jenis tanah, penggunaan lahan, dan kemiringan lereng, dengan mengacu pada model pendugaan Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat (2004). Taufik, Kurniawan, dan Putri (2016) mengidentifikasi daerah rawan tanah longsor di Kabupaten Kediri dengan memanfaatkan citra TanDEM-X untuk ekstraksi kemiringan lereng dan citra Landsat 8 untuk klasifikasi tutupan lahan, yang ditumpang susun dengan peta geologi, curah hujan, dan jenis tanah berdasarkan model pendugaan DVMBG (2004). Ramadhan dan Ruchlihadiana (2025) memetakan kerawanan bencana longsor di Kabupaten Lebak, Provinsi Banten, menggunakan metode *skoring* dan pembobotan terhadap empat parameter, yaitu kemiringan lereng, jenis tanah, curah hujan, dan penggunaan lahan. Haribulan, Gosal, dan Karongkong (2019) mengkaji kerawanan fisik bencana longsor di Kecamatan Tomohon Utara menggunakan metode *skoring* dan *overlay* terhadap lima parameter, yaitu kemiringan lereng, curah hujan, jenis tanah, penggunaan lahan, dan geologi, yang kemudian ditumpang susun kembali dengan peta penggunaan lahan untuk menilai kerawanan pada kawasan terbangun dan tidak terbangun.

Keterkaitan antara teori dan penelitian ini sangat kuat memastikan validitas metodologi untuk menjawab rumusan masalah, yaitu mengidentifikasi dan memetakan zona potensi longsor di Area Geothermal Cluster X Lahendong berdasarkan faktor geologi, hidrologi, dan aktivitas geothermal. Penelitian ini menawarkan kebaruan lewat kajian di daerah penghasil panas bumi aktif yang belum dilakukan sebelumnya. Penelitian ini juga mengisi celah dengan menganalisis potensi longsor dengan skala besar yang lebih detail terfokus pada pemetaan suatu kawasan lokal khusus.

2. Metode

Pengumpulan data menggunakan metode *Purposive Sampling*, yaitu pemilihan sampel berdasarkan kriteria tertentu yang ditentukan peneliti. Penelitian ini menggunakan metode observasi data sekunder, yang mencakup parameter dalam pembuatan peta *Weighted Overlay* yaitu kemiringan lereng, curah hujan, jenis tanah, jenis batuan, dan tutupan lahan. Pembuatan peta berdasarkan standar RSNI3 8291:2024 penyusunan peta zona kerentanan gerakan tanah yang dianalisis menggunakan metode *Overlay* dengan menentukan bobot pada setiap faktor pengontrol longsor. Pembobotan setiap faktor ditentukan berdasarkan skala prioritas, yaitu berdasarkan urutan faktor yang memiliki pengaruh paling besar dalam kejadian longsor. Pembobotan yang digunakan pada penelitian ini menurut Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat 2004, yaitu:

Tabel 1. Bobot parameter pengontrol longsor

Parameter	Bobot
Curah Hujan	30%
Kemiringan Lereng	20%
Penggunaan Lahan	20%
Jenis Batuan	20%
Jenis Tanah	10%

Tabel ini menunjukkan pembagian bobot untuk masing-masing parameter yang digunakan dalam analisis kerawanan longsor, yaitu curah hujan, kemiringan lereng, penggunaan lahan, jenis batuan, dan jenis tanah. Bobot diberikan berdasarkan tingkat pengaruh setiap parameter terhadap terjadinya longsor, di mana curah hujan memiliki bobot paling besar sebesar 30 karena dianggap sebagai faktor pemicu utama, sedangkan jenis tanah memiliki bobot paling kecil yaitu 10.

Pembagian bobot ini menunjukkan bahwa tidak semua parameter memiliki pengaruh yang sama terhadap potensi longsor. Parameter dengan bobot lebih besar akan memberi kontribusi lebih besar terhadap nilai akhir kerawanan longsor, sehingga curah hujan menjadi faktor yang paling dominan dalam penilaian

Analisa daerah potensi rawan longsor didasarkan pada nilai total skor pada masing-masing kelas pada parameter tersebut. Untuk mendapatkan total skor tersebut maka masing-masing kelas yang telah diberikan per kategori dari parameter-parameter tersebut kemudian dikalikan dengan bobot dari parameter itu sendiri Model pendugaan untuk menganalisis kerawanan tanah longsor mengacu pada penelitian Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat tahun 2004 dengan formula:

$$ST_{\text{Total}} = 0.3FCH + 0.2FBD + 0.2FKL + 0.2FPL + 0.1FJT \quad (1)$$

Dimana:

FCH = Faktor Curah Hujan

FBD = Faktor Jenis Batuan

FKL = Faktor Kemiringan Lereng

FPL = Faktor Penggunaan Lahan

FJT = Faktor Jenis Tanah

Klasifikasi tingkat kerawanan longsor ditentukan berdasarkan nilai bobot totalnya. Klasifikasi tingkat kerawanan longsor yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan pembagian dari instansi terkait.

Tabel 2. Bobot Parameter Pengontrol Longsor

Tingkat Kerawanan	Bobot Total
Kerawanan Rendah	1,00 – 1,69
Kerawanan Sedang	1,70 – 2,39
Kerawanan Tinggi	2,40 – 3,00

Tabel ini menjelaskan pembagian kelas kerawanan longsor berdasarkan nilai bobot total hasil perhitungan seluruh parameter. Klasifikasi ini digunakan untuk mengelompokkan wilayah kajian ke dalam zona dengan tingkat bahaya yang berbeda. Dengan adanya klasifikasi ini, hasil analisis tidak hanya berupa angka, tetapi juga dapat diinterpretasikan secara spasial menjadi zona rawan longsor yang mudah dibaca. Semakin tinggi nilai bobot total, semakin besar pula tingkat kerawanan longsor pada wilayah tersebut

Setelah parameter selesai dilakukan pembobotan selanjutnya parameter-parameter tersebut diolah dengan teknik *overlay* menggunakan *software ArcGis v10.8* yaitu peta setiap parameter di tumpang susun sehingga menghasilkan peta kerawanan longsor.

3. Kajian Literatur

3.1. Kemiringan Lereng

Pembobotan untuk kemiringan lereng berdasarkan kajian oleh instansi terkait. Pembobotan ini diberikan karena semakin besar kemiringan lereng, maka semakin besar gaya pendorong pada material penyusun lereng.

Tabel 3. Bobot Parameter Kemiringan Lereng

Kategori	Potensi Longsor	Skor
Landai (0°-20°)	Rendah	1
Sedang (20°-40°)	Menengah	2
Curam (>40°)	Tinggi	3

Penjelasan dalam tabel ini menunjukkan bahwa semakin curam suatu lereng, maka gaya pendorong material penyusun lereng semakin besar. Karena itu, kemiringan lereng menjadi salah satu parameter yang sangat penting dalam menentukan kerawanan longsor.

3.2. Jenis Litologi

Jenis litologi dalam analisis kerawanan longsor disederhanakan dari peta geologi regional oleh instansi terkait dan dikelompokkan menjadi:

Tabel 4. Bobot Parameter Jenis Litologi

Jenis Litologi	Skor	Potensi Longsor
Tuff - Lapili Tuff	1	Rendah
Lava Andesit	2	Sedang
Breksi Vulkanik	3	Tinggi

Perbedaan skor pada tabel ini menunjukkan bahwa jenis batuan sangat mempengaruhi kestabilan lereng. Batuan vulkanik muda seperti breksi vulkanik umumnya lebih mudah mengalami pelapukan dan alterasi, sehingga lebih rentan terhadap longsor dibandingkan batuan yang lebih kompak.

3.3. Jenis Tanah

Pembagian jenis tanah yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan penelitian (Ramadhan & T, 2024).

Tabel 5. Bobot Parameter Jenis Tanah

Jenis Tanah	Skor	Potensi Longsor
Alluvial	1	Tidak Peka
Latosol		
Grumasol		
Rensina		
Regosol	2	Peka
Mediteran		
Andosol	3	Sangat Peka
Podsolik		

Tabel ini menjelaskan hubungan antara jenis tanah dan tingkat kepekaannya terhadap longsor. Klasifikasi ini penting karena jenis tanah sangat memengaruhi daya ikat, porositas, dan kemampuan tanah menyerap air. Tanah andosol, misalnya, cenderung berkembang di daerah vulkanik dan memiliki karakteristik yang lebih rentan terhadap kejenuhan air serta pergerakan tanah.

3.4. Tata Guna Lahan

Tutupan lahan dalam analisis kerawanan longsor disederhanakan dari 7 kelas yang diklasifikasikan oleh instansi terkait dan dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu:

Tabel 6. Bobot Parameter Tutupan Lahan

Tutupan Lahan	Skor	Potensi Longsor
Hutan	1	Rendah
Perkebunan		
Sawah	2	Sedang
Ladang		
Fasilitas	3	Tinggi
Pemukiman		

Tabel ini menunjukkan bahwa tutupan lahan tidak hanya memengaruhi kestabilan permukaan melalui vegetasi, tetapi juga melalui aktivitas manusia dan beban bangunan. Area dengan fasilitas dan pemukiman cenderung lebih rentan karena infiltrasi air lebih kecil dan beban permukaan lebih besar dibandingkan lahan hutan.

3.5. Curah Hujan

Klasifikasi curah hujan berdasarkan skor yang ditentukan PT. Pertamina Geothermal Energy area Lahendong.

Tabel 7. Bobot Parameter Curah Hujan

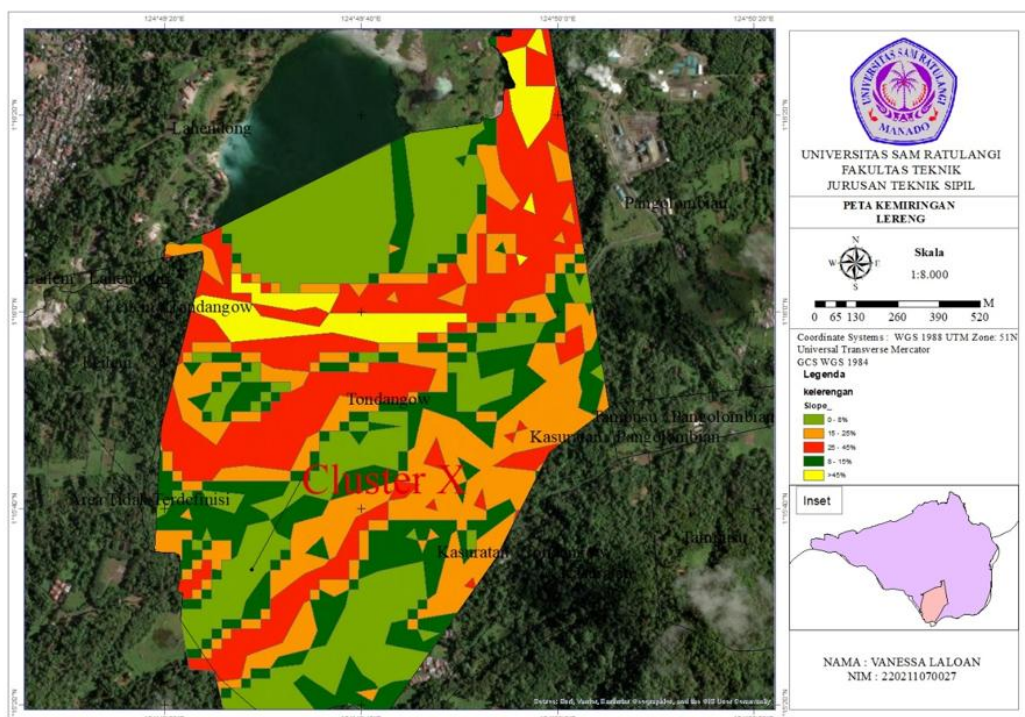
Intensitas	Potensi Longsor	Skor
< 1000 mm/tahun	Rendah	1
> 1000 mm/tahun	Tinggi	2

Tabel ini menjelaskan klasifikasi curah hujan berdasarkan intensitasnya. engelompokan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi curah hujan, semakin besar peluang terjadinya kejenuhan tanah yang dapat memicu longsor. Curah hujan menjadi parameter yang sangat penting karena air hujan dapat meningkatkan kadar air tanah, menurunkan kekuatan geser material, dan memicu gerakan massa tanah terutama pada lereng yang tidak stabil.

4. Hasil dan Pembahasan

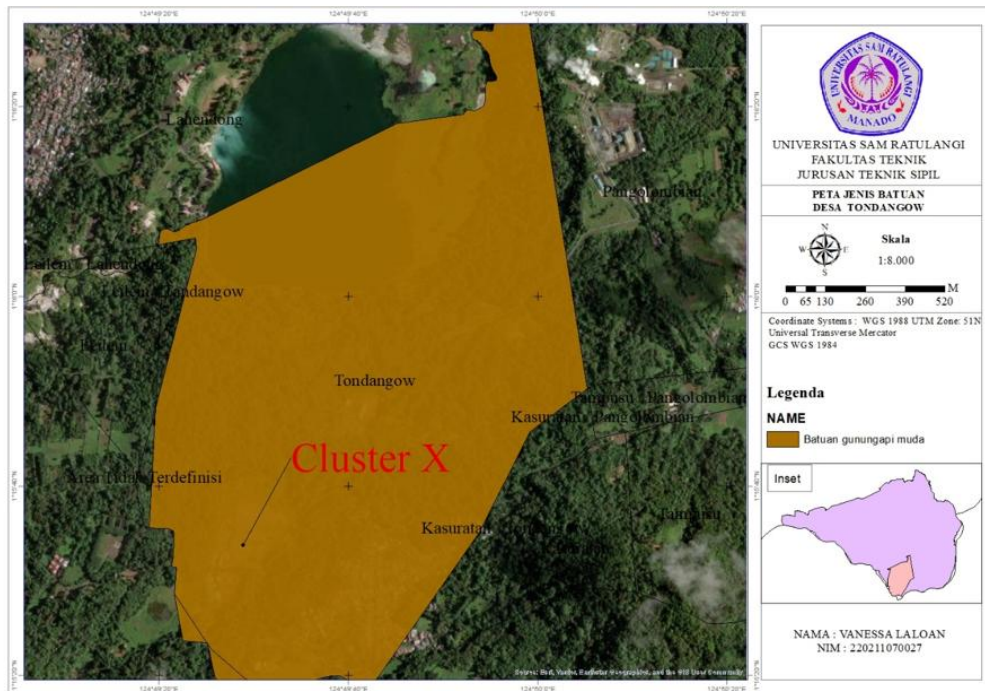
4.1. Kemiringan Lereng

Analisis kemiringan lereng menggunakan data *Digital Elevation Model* (DEM) dari Badan Informasi Geospasial (DEMNAS) dengan resolusi grid $8,23 \times 8,23$ meter untuk mengidentifikasi derajat kemiringan lereng di daerah kajian. Berdasarkan hasil analisis tersebut, Cluster X termasuk dalam kategori kemiringan lereng landai hingga sedang (0° – 40°). Kemiringan lereng sedang–curam ditemukan pada perbukitan di bagian tenggara Cluster X. Berdasarkan peta kemiringan lereng, Cluster X memiliki bobot nilai 2 karena termasuk dalam kelas kemiringan sedang.



Gambar 1. Peta Kemiringan Lereng

4.2. Jenis Litologi



Gambar 2. Peta Sebaran Litologi

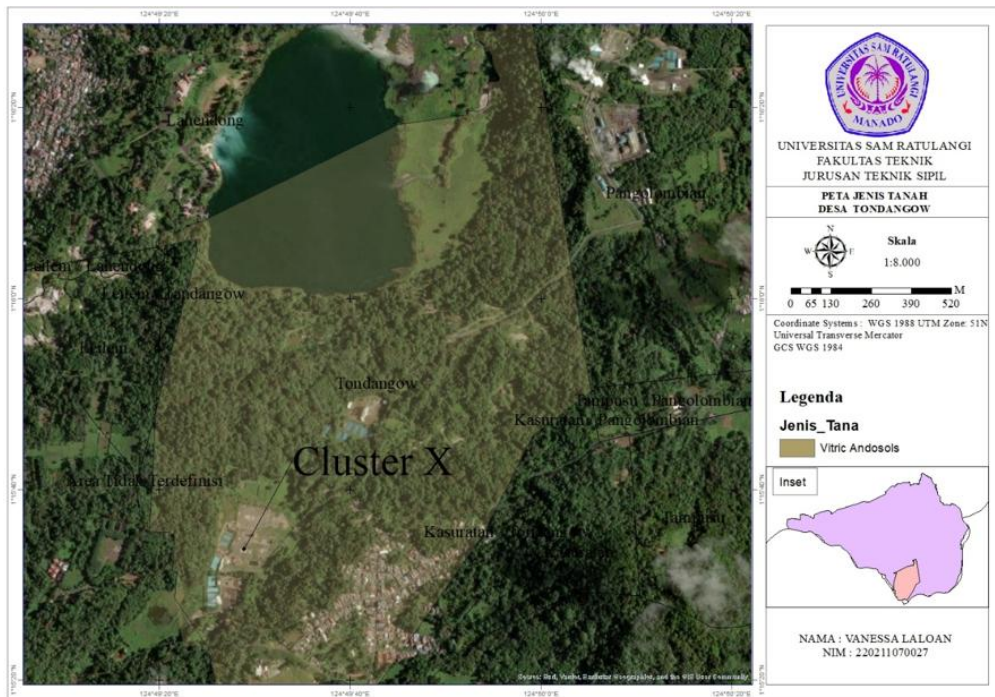
Pembuatan peta jenis litologi dianalisis berdasarkan sumber data jenis batuan dari Indonesia Geospasial dan Peta Geologi Regional PT. Pertamina Geothermal Energy Area Lahendong. Berdasarkan peta sebaran litologi tersebut, litologi penyusun area Cluster X adalah breksi vulkanik yang tergolong batuan gunung api muda yang berpotensi longsor tinggi. Lokasi sebagian besar cluster ini termasuk ke dalam satuan Breksi Panglombian (breksi pumice dan breksi andesit) dan sebagian sisi timur ke dalam satuan Lava Andesit Kasuratan (lava andesit dengan struktur vesicles terisi glass shard). Ini menunjukkan bahwa cluster X termasuk pada bobot nilai paling tinggi dengan nilai tiga.

4.3. Jenis Tanah

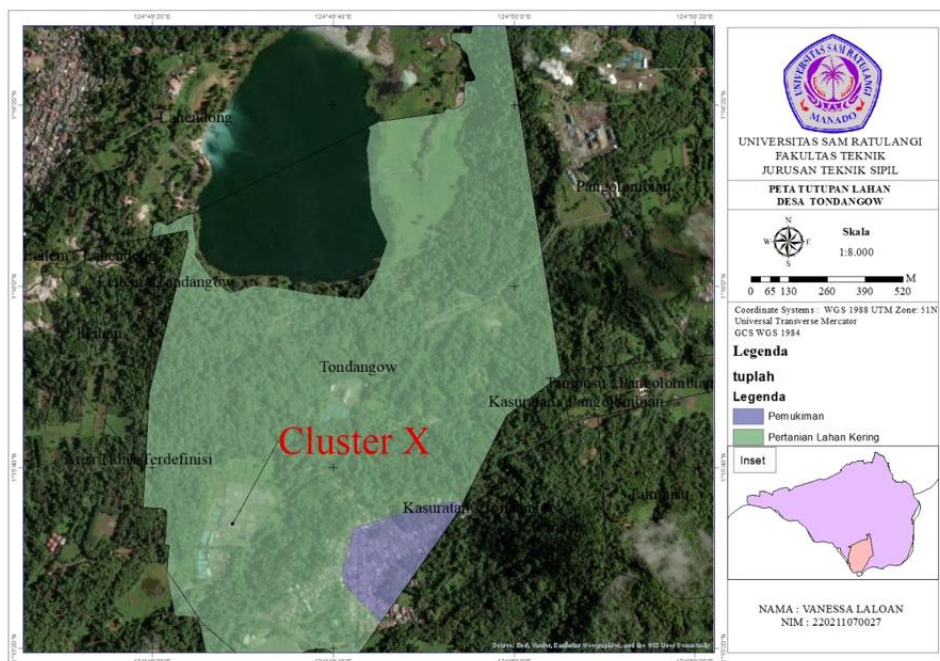
Peta jenis tanah dianalisis berdasarkan data *Digital Soil Map of the World* dari Indonesia Geospasial. Jenis tanah yang ditemukan pada daerah kajian dikategorikan sebagai Vitric Andosols yang sangat peka terhadap kejadian longsor dengan skor 3. Tanah Vitric Andosols umumnya terbentuk dari material vulkanik muda dan memiliki karakteristik yang rentan terhadap pelapukan dan alterasi.

4.4. Tata Guna Lahan

Peta tutupan lahan dibuat berdasarkan data yang diperoleh dari peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 (Badan Geospasial Indonesia, 2016) dan citra *Google Earth*. Tata guna lahan di cluster X termasuk pada kategori fasilitas PGE yang dikelilingi oleh pemukiman dengan potensi tinggi dan skor 3. Berdasarkan tata guna lahan, fasilitas/infrastruktur di Area Lahendong memiliki bobot prioritas lebih tinggi dibandingkan lahan perkebunan, sawah, ladang, dan hutan. Fasilitas berupa kantor dan area sumur produksi memiliki potensi kerawanan lebih tinggi dibandingkan pipa, karena apabila terdampak maka kerugian yang ditimbulkan lebih besar, baik secara ekonomi maupun operasional. Keberadaan pemukiman di sekitar Cluster X menambah kompleksitas risiko, karena longsor tidak hanya dapat merusak infrastruktur PGE, tetapi juga dapat mengancam keselamatan warga.

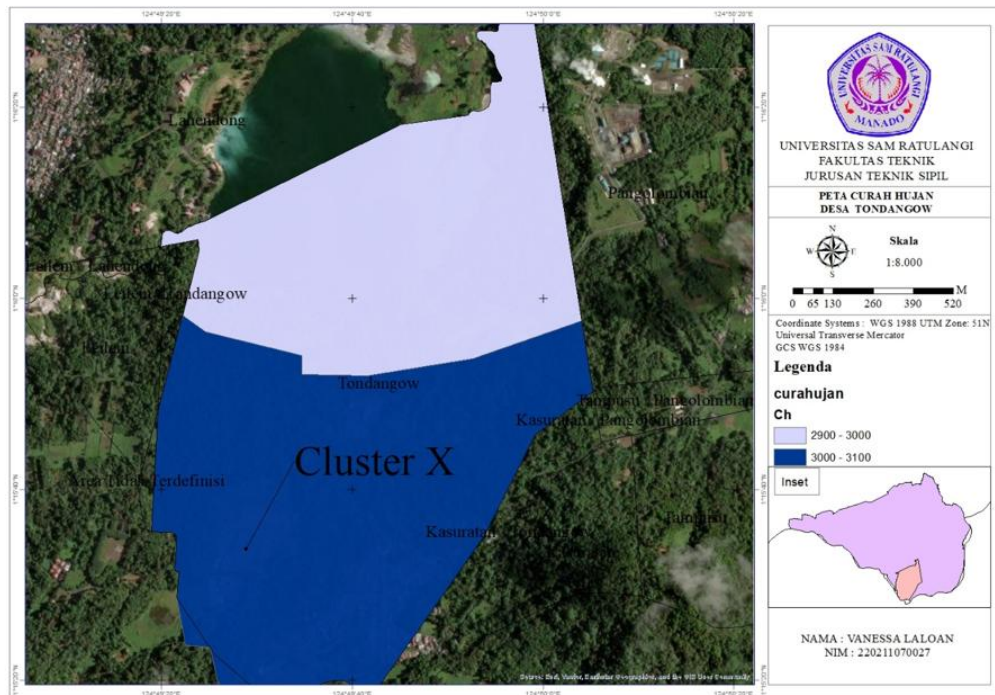


Gambar 3. Peta Jenis Tanah



Gambar 4. Peta Tutupan Lahan

4.5. Curah Hujan



Gambar 5. Peta Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan dalam kajian ini diperoleh dari hasil analisis data *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data* yang diperoleh dari *Climate Hazards Center* satu tahun kebelakang yaitu mencakup periode Juni 2025 hingga Juni 2026. Pada curah hujan untuk intensitas kurun waktu satu tahun sudah termasuk cukup besar. Maka dari itu curah hujan menjadi faktor besar penyebab terjadi longsor. Daerah kajian dibagi menjadi dua wilayah intensitas hujan yaitu daerah dengan curah hujan 2900-3000 mm/tahun dan 3000-3100 mm. Berdasarkan hasil pengolahan data curah hujan, cluster X termasuk pada intensitas curah hujan tinggi. Ini menjadikan cluster X memiliki potensi yang tinggi dengan skor 3.

4.6. Kerawanan Longsor

Peta kerawanan longsor dihasilkan melalui tumpang susun (*overlay*) masing-masing peta faktor pengontrol longsor setelah masing-masing bobot faktor dikalikan dengan bobot faktor kelasnya. Berikut hasil klasifikasi daerah rawan longsor berdasarkan hasil kalkulasi dari *overlay* setiap peta faktor.

Tabel 8. Pembobotan Parameter dan Sub-Parameter

Parameter	Klasifikasi	Skor	Kelas	Bobot Parameter	Bobot Hasil
Curah Hujan	3000-3100 mm	3	Tinggi	0,3	0,9
Kemiringan Lereng	Datar (0-8)	1	Rendah	0,2	0,2
Tutupan Lahan	Fasilitas	3	Sedang	0,2	0,6
Jenis Batuan	Breksi Vulkanik	3	Tinggi	0,2	0,6
Jenis Tanah	Vitric Andosols	3	Peka	0,1	0,3
Skor Total					2,6
Tingkat Kerawanan					Tinggi

Tabel ini adalah hasil akhir dari penggabungan seluruh parameter dalam analisis kerawanan longsor. Di dalam tabel ini, setiap parameter diberi skor sesuai kondisi lapangan, lalu dikalikan

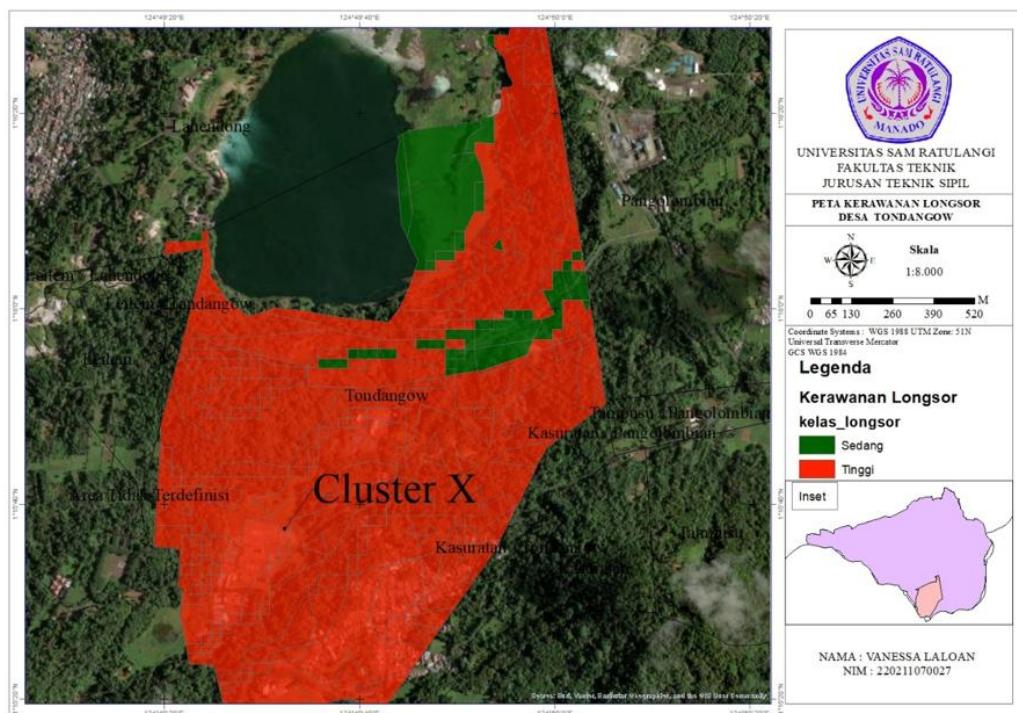
dengan bobot parameter sehingga menghasilkan nilai akhir. Berdasarkan tabel tersebut, total skor Cluster X adalah 2,6 yang termasuk dalam kategori kerawanan longsor tinggi.

Tabel ini menunjukkan kontribusi masing-masing parameter terhadap hasil akhir. Dari tabel tersebut terlihat bahwa curah hujan memberikan kontribusi terbesar, disusul jenis batuan, tutupan lahan, jenis tanah, dan kemiringan lereng. Hasil ini menegaskan bahwa Cluster X memiliki kondisi yang cukup rentan terhadap longsor dan memerlukan perhatian khusus dalam pengelolaan kawasan.

Potensi longsor pada zona ini tergolong tinggi, terutama pada jalan akses yang memiliki kemiringan lereng curam. Zona kerawanan tinggi ditemukan pada Cluster X, pada sisi dinding cluster yang terdiri dari lereng yang terjal akibat dari pembukaan lahan. Zona ini berada pada jalan akses dari Cluster X ke Cluster 25, jalan akses dari Cluster 24 ke Cluster X dan pada lereng sekitar Cluster X seperti pada lereng barat dan Tenggara Cluster X.

Keberadaan Cluster X sebagai area dengan potensi uap terbesar membuat dampak longsor di area ini menjadi lebih kritis. Kerusakan pada sumur produksi, pipa, bangunan fasilitas, atau jalan akses dapat mengakibatkan penutupan sementara atau permanen Cluster X, yang berdampak pada penurunan produksi energi geotermal secara keseluruhan. Oleh karena itu, perlindungan dan mitigasi longsor di Cluster X merupakan prioritas untuk memastikan keberlanjutan operasional dan keamanan area ini.

PT. Pertamina Geothermal Energy Area Lahendong telah melakukan berbagai mitigasi guna mencegah dan memperkecil kemungkinan terjadinya longsor salah satunya adalah sistem drainase permanen dengan material kedap air yang sudah bersih, sehingga dapat mengalirkan air dari permukaan dengan baik, serta telah dibuat benching, bronjong, dan retaining wall.



Gambar 6. Peta Kerawanan Longsor

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa

1. Kejadian gerakan tanah di daerah kajian yaitu erosi permukaan secara lateral dengan tingkat erosi sedang dan potensi longsor tipe luncuran (*slide*), material longsor umumnya berupa campuran tanah dan sedikit fragmen batuan.
2. Parameter yang dominan menyebabkan longsor adalah curah hujan dengan intensitas sedang hingga tinggi pada rentang 3000-3100 mm. Sebagian besar wilayah memiliki kemiringan lereng 0-40 derajat karena lokasi penelitian terletak di daerah perbukitan. Tutupan lahan di daerah kajian yaitu fasilitas infrastruktur diantara wilayah pemukiman. Jenis batuan

- merupakan batuan vulkanik atau batuan gunung api muda seperti breksi vulkanik. Kemudian jenis tanah yang mendominasi yaitu andosol yang peka terhadap longsor karena pada umumnya jenis tanah ini tersebar di daerah yang berdekatan dengan gunung api.
3. Kerawanan longsor pada Cluster X termasuk pada zona tingkat tinggi yang ditemukan terutama pada jalan akses dari Cluster X menuju cluster 4 dan 25 serta pada lereng sekitar cluster X tepatnya di Barat dan Tenggara cluster tersebut.

Referensi

- Amri, M. R., Yulianti, G., Yunus, R., Wiguna, S., Adi, A. W., Ichwana, A. N., . . . Septian, R. T. (2016). *Risiko Bencana Indonesia*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Faizana, F., Nugraha, A. L., & Yuwono, B. D. (2015). Pemetaan Risiko Bencana Tanah Longsor Kota Semarang. *Jurnal Geodesi Undip Volume 4 Nomor 1*, 223-234.
- Hardianto, A., Winardi, D., & Rusdiana, D. D. (2020). Pemanfaatan Informasi Spasial Berbasis SIG untuk Pemetaan Tingkat Kerawanan Longsor di Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing Vol 1 No 1*, 24-31.
- Haribulan, R., Gosal, P. H., & Karongkong, H. H. (2019). Kajian Kerawanan Fisik Bencana Longsor di Kecamatan Tomohon Utara. *Jurnal Spasial Vol 6. No. 3*, 714-724.
- Kinanti, A., & Awaluddin, M. (2022). Analisis Pemetaan Risiko Bencana Tanah Longsor Berbasis Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kecamatan Candisari, Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip Vol. 11, No. 3*, 1-10.
- L, M. S., Nurfajriana, D., Wahyuni, A., & Kusmiran, A. (2022). Pemetaan Risiko Bencana Tanah Longsor di Kabupaten Barru menggunakan Metode Pembobotan Parameter dan Inarisk BNPB. *Jurnal Geosaintek, Vol. 8 No. 3*, 250-259.
- Nuha, A. P., & Priyana, Y. (2026). Evaluasi Kesesuaian Spasial Peta Bahaya Tanah Longsor Weighted Overlay dan Peta InaRISK BNPB di Kabupaten Wonogiri. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi dan Geofisika (GeoScienceEd) Vol. 7*, 981-991.
- Penyusunan Peta Zona Kerawanan Tanah. (2024). In *Rancangan Standar Nasional Indonesia 3*.
- PT. Pertamina Geothermal Energy Area Lahendong. (2022). *Laporan Kajian Geologi-Geoteknik dan Pembaruan Peta Risiko Longsor PT Pertamina Geothermal Energy Area Lahendong dan Tompaso*. Tomohon.
- Ramadhan, R., & T, A. R. (2024). Pemetaan Rawan Bencana Longsor Menggunakan Metode Skoring dan Pembobotan di Kabupaten Lebak Banten.
- Sewang, S., L, M. S., Abidin, K., & Kusmiran, A. (2025). Identifikasi Bencana Tanah Longsor menggunakan Data Citra dan InaRISK: Studi Kasus Kecamatan Walenrang Barat, Luwu. *Teknosains: Media Informasi dan Teknologi*, 327-341.
- Taufik, D. M., Kurniawan, A., & Putri, A. R. (2016). Identifikasi Derah Rawan Tanah Longsor Menggunakan SIG (Sistem Informasi Geografis). *Jurnal Teknik ITS Vol. 5, No. 2*, 78-82.