

ANALISIS PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP ANCAMAN BENCANA LONGSOR MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (STUDI KASUS: TAPANULI UTARA)

Oleh:

Andre Marcelino Simamora¹

Angelina Dasmauli Pasaribu²

Ave Marianta Sitanggang³

Badostar Joel Situmorang⁴

Damai Yanti Gultom⁵

Universitas Negeri Medan

Alamat: JL. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten
Deli Serdang, Sumatera Utara (20221).

Korespondensi Penulis: andremarcel760@gmail.com,
angelinadasmaulipasaribu@gmail.com, avetasitanggang@gmail.com,
badostarsitumorang@gmail.com. damaiyantigultom31@gmail.com.

Abstract. *This study analyzes the impact of land cover changes on the threat of landslides in North Tapanuli Regency using Geographic Information Systems (GIS) for the period 2020-2025. Significant changes occurred, such as an increase in built-up area from 21,939 ha to 124,748 ha and cultivated land from 54,248 ha to 95,682 ha, which increased slope vulnerability due to reduced soil-retaining vegetation and surface air runoff. The purpose of this study was to determine the impact of land cover changes that occurred in North Tapanuli Regency on the threat of landslides. This study applies a quantitative descriptive method using spatial analysis based on Geographic Information Systems (GIS). The quantitative method was chosen because the data analyzed are numerical and measurable, such as the area of land use change, land slope, rainfall amount, and landslide risk level. The results show the dominance of vulnerable zones occurring in most sub-districts such as Siborongborong and Tarutung, with very*

ANALISIS PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP ANCAMAN BENCANA LONGSOR MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (STUDI KASUS: TAPANULI UTARA)

vulnerable points on the steep northwest and south slopes, triggered by physical factors such as slopes $>25^\circ$, high rainfall, and land degradation.

Keywords: *Land Cover Change, Landslide Disaster, Geographic Information System (GIS), Slope Gradient, Rainfall, North Tapanuli.*

Abstrak. Penelitian ini menganalisis dampak perubahan tutupan lahan terhadap ancaman bencana longsor di Kabupaten Tapanuli Utara menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) pada periode 2020-2025. Perubahan signifikan terjadi, seperti peningkatan luas terbangun dari 21.939 ha menjadi 124.748 ha dan lahan budidaya dari 54.248 ha menjadi 95.682 ha, yang meningkatkan kerentanan lereng akibat berkurangnya vegetasi penahan tanah dan limpasan udara permukaan. Tujuan dari penelitian ini ialah Untuk mengetahui dampak dari perubahan tutupan lahan yang terjadi di Kabupaten Tapanuli Utara terhadap ancaman bencana longsor. Penelitian ini menerapkan metode deskriptif kuantitatif dengan menggunakan analisis spasial yang didasarkan pada Sistem Informasi Geografis (SIG). Metode kuantitatif dipilih karena data yang dianalisis berupa angka dan dapat diukur, seperti luas perubahan penggunaan lahan, kemiringan tanah, jumlah curah hujan, dan tingkat risiko longsor. Hasil menunjukkan dominasi zona rawan terjadi di sebagian besar kecamatan seperti Siborongborong dan Tarutung, dengan titik sangat rawan di lereng curam barat laut dan selatan, dipicu oleh faktor fisik seperti kemiringan $>25^\circ$, curah hujan tinggi, dan degradasi lahan.

Kata Kunci: Perubahan Tutupan Lahan, Bencana Longsor, Sistem Informasi Geografis (SIG), Kemiringan Lereng, Curah Hujan, Tapanuli Utara.

LATAR BELAKANG

Bencana longsor adalah bencana yang sering terjadi di Indonesia dan telah menjadi masalah yang kerap kali dialami, terlebih bagi penduduk di daerah dengan curah hujan tinggi, berlereng terjal dan minim tutupan pohon. Hal ini sering kali disebabkan karena curah hujan yang tinggi serta akibat dari perubahan tutupan lahan. Di Indonesia sendiri, daerah lereng di perbukitan maupun di pegunungan kerap kali mengalami alih fungsi lahan. Lereng yang pada awalnya berupa hutan, beralih fungsi menjadi lahan pertanian, perkebunan, sawah bahkan pemukiman. Alih fungsi lahan ini, menyebabkan

berkurangnya tutupan pohon yang sangat berperan untuk mengikat dan mencengkeram tanah serta menahan dan menyerap air.

Perubahan tutupan lahan ini menyebabkan tanah di daerah lereng sangat rentan untuk longsor dikarenakan minimnya tutupan pohon. Bencana longsor akan berdampak negatif bagi kehidupan manusia bila tidak segera diatasi diantaranya berupa kerusakan infrastruktur, kerusakan lingkungan, kerugian ekonomi, gangguan sosial seperti trauma maupun pengungsian dan adanya korban jiwa. Menurut informasi dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), peristiwa tanah longsor di Indonesia menunjukkan tren peningkatan setiap tahunnya, khususnya di wilayah yang mengalami perubahan signifikan dalam penggunaan lahan. Di berbagai lokasi, termasuk kawasan pegunungan di Sumatera Utara, peralihan hutan menjadi lahan pertanian dan permukiman meningkatkan risiko longsor.

Penelitian (Siswanto, 2015) tentang potensi gerakan tanah di Sumatera Utara mengungkapkan bahwa lokasi dengan penurunan vegetasi menunjukkan risiko bahaya yang lebih besar dibandingkan dengan area yang masih memiliki hutan. Penelitian yang dilakukan oleh (Hanifudin dkk., 2024) menggarisbawahi bahwa hubungan antara perubahan tutupan lahan dan tingkat risiko longsor dapat dianalisis secara efisien dengan memanfaatkan Sistem Informasi Geografis (SIG).

Dengan SIG, berbagai elemen seperti kemiringan lereng, curah hujan, jenis tanah, dan perubahan tutupan lahan dapat disatukan untuk membuat peta zonasi kerawanan. Penelitian mengenai perubahan penutupan lahan serta hubungannya dengan ancaman bencana longsor di kabupaten Tapanuli Utara, sangat penting dilakukan dikarenakan wilayah ini memiliki curah hujan yang cukup tinggi sepanjang tahun, memiliki topografi yang cenderung bergelombang hingga curam serta perubahan tutupan lahan yang signifikan setiap tahunnya. Kondisi ini berpotensi besar mengalami bencana longsor bila tidak dikendalikan dan diatasi dengan baik. Penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi dalam memperkaya kajian dalam bidang Geomorfologi dan Sistem Informasi Geospasial (SIG) Melalui penggabungan analisis ruang dan waktu terkait perubahan penggunaan lahan.

Secara praktis, temuan dari penelitian ini diharapkan mampu menjadi landasan ilmiah bagi pemerintah daerah dalam menyusun kebijakan perencanaan ruang dan mitigasi bencana yang berfokus pada lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini

ANALISIS PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP ANCAMAN BENCANA LONGSOR MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (STUDI KASUS: TAPANULI UTARA)

diharapkan dapat memberikan pemahaman yang menyeluruh tentang dampak perubahan penggunaan lahan terhadap tingkat ancaman bencana longsor di Kabupaten Tapanuli Utara.

Melalui metode Sistem Informasi Geografis, penelitian ini tidak hanya memetakan tingkat risiko secara spasial tetapi juga mengidentifikasi pola perubahan lahan yang merupakan faktor utama dalam peningkatan risiko longsor. Temuan dari kajian ini diharapkan dapat menjadi pedoman dalam merencanakan pembangunan yang berkelanjutan serta memberikan kontribusi ilmiah dalam usaha mengurangi risiko bencana di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode deskriptif kuantitatif dengan menggunakan analisis spasial yang didasarkan pada Sistem Informasi Geografis (SIG). Metode kuantitatif dipilih karena data yang dianalisis berupa angka dan dapat diukur, seperti luas perubahan penggunaan lahan, kemiringan tanah, jumlah curah hujan, dan tingkat risiko longsor. Analisis deskriptif dilakukan untuk menjelaskan keterkaitan antara perubahan penggunaan lahan dan tingkat risiko bencana longsor di Kabupaten Tapanuli Utara.

Populasi yang diteliti dalam studi ini mencakup seluruh area administratif Kabupaten Tapanuli Utara, yang terletak di Provinsi Sumatera Utara, dengan berbagai karakteristik topografi dan seringkali menghadapi insiden longsor. Pemilihan sampel dilakukan melalui *purposive sampling*, mengacu pada kriteria daerah dengan kemiringan lereng yang tinggi, perubahan signifikan dalam tutupan lahan. Oleh karena itu, fokus wilayah penelitian tertuju pada kawasan perbukitan dan lereng yang memiliki risiko tinggi terhadap bencana longsor. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui:

1. Pengumpulan data spasial berupa citra satelit multiwaktu (dari tahun 2020 sampai 2025) yang diperoleh dari situs resmi *United States Geological Survey* (USGS).
2. Pengumpulan data topografi dan curah hujan, diperoleh dari instansi terkait seperti BMKG dan BIG.

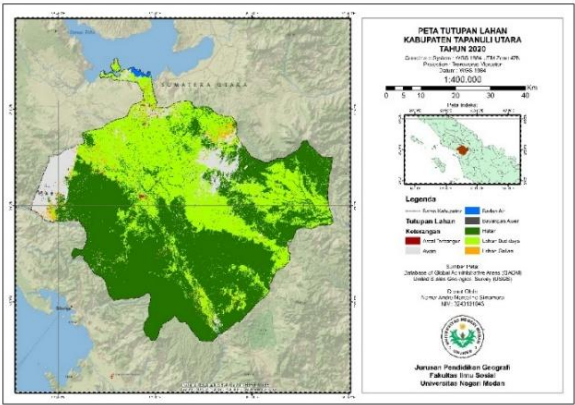
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2019–2025 di Kabupaten Tapanuli Utara. Analisis perubahan penggunaan lahan yang didasarkan pada hasil klasifikasi terbimbing dari citra satelit Landsat 8 mengindikasikan adanya pergeseran penggunaan ruang yang sangat mencolok di Kabupaten Tapanuli Utara dalam rentang waktu 2020–2025. Di bawah ini adalah perbandingan secara kuantitatif antara kategori tutupan lahan:

<i>Kelas Tutupan Lahan</i>	<i>Tahun 2020 (ha)</i>	<i>Tahun 2025 (ha)</i>	<i>Perubahan (ha)</i>	<i>Tren</i>
Area Terbangun	21.939	124.748	+102.809	Meningkat tajam
Lahan Budidaya	54.248	95.682	+41.434	Meningkat signifikan
Hutan	30.521	31.642	+1.121	Cenderung stabil
Lahan Galian	39.651	57.411	+17.760	Meningkat
Badan Air	2.459	127	−2.332	Menurun drastis
Awan	48.419	15.431	−32.988	(Pengaruh kondisi citra)
Bayangan Awan	3.455	19.971	+16.516	(Pengaruh kondisi citra)

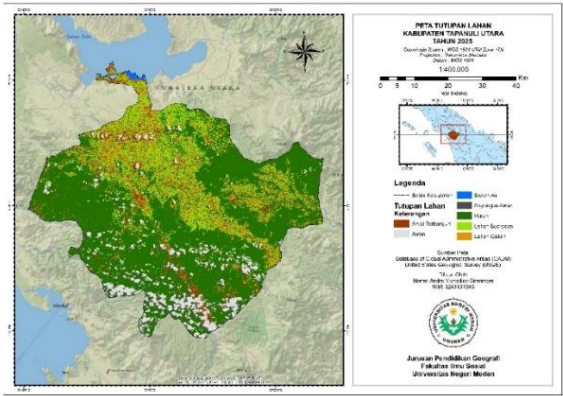
Catatan:

Peralihan antara kelas “Awan” dan “Bayangan Awan” tidak menggambarkan perubahan penggunaan lahan yang sesungguhnya, tetapi dipengaruhi oleh keadaan atmosfer saat pengambilan gambar. Kelas-kelas lainnya mencerminkan perubahan yang sesungguhnya Berikut merupakan Peta Tutupan Lahan Tapanuli Utara tahun 2020–2025



Gambar 1:
Tutupan Lahan 2020

Gambar 2:
Tutupan Lahan 2025



ANALISIS PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP ANCAMAN BENCANA LONGSOR MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (STUDI KASUS: TAPANULI UTARA)

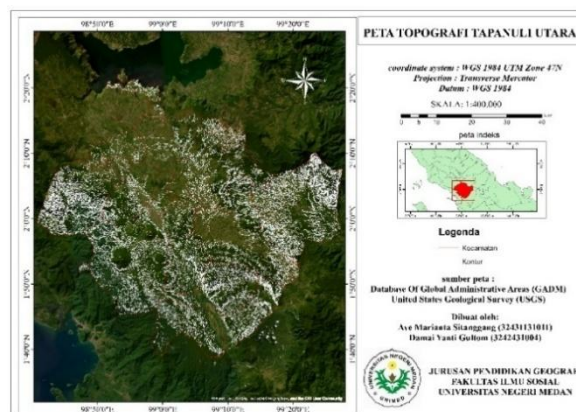
Faktor-Faktor Fisik yang Mempengaruhi Kerentanan Longsor

1. Faktor Fisik Kerentanan Longsor

Faktor fisik yang mempengaruhi kerentanan longsor meliputi kemiringan lereng, curah hujan, kondisi geologi, jenis tanah, struktur geologi, serta keadaan air tanah dan erosi. Faktor-faktor ini bekerja secara sinergis, di mana gaya pendorong gravitasi melebihi gaya geser penahan lereng, menyebabkan pergerakan massa tanah atau batuan ke bawah.

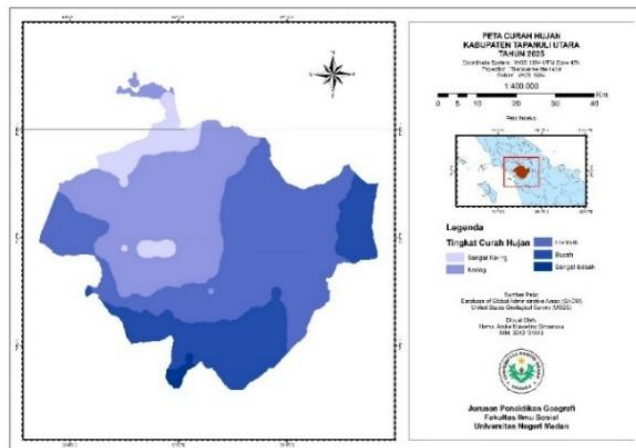
2. Kemiringan Lereng dan Morfologi

Kemiringan lereng curam, biasanya >25 - 40 derajat, meningkatkan komponen gravitasi paralel lereng yang mendorong material longgar ke bawah. Lereng semakin tidak stabil akibat erosi lateral oleh sungai atau hujan, yang mengurangi tinggi dasar lereng dan menciptakan sudut kritis sekitar 18 - 45 derajat. Elevasi tinggi (>800 mdpl) dan arah lereng menghadap angin sering memperparah runoff air, seperti terlihat di daerah perbukitan Jawa Tengah dan Sumatra.



3. Curah Hujan dan Hidrologi

Curah hujan intens (>2000 mm/tahun) atau berkepanjangan menyebabkan saturasi tanah, menaikkan tekanan pori air dan mengurangi kekuatan geser efektif antarpartikel. Air meresap membentuk bidang luncur licin di lapisan kedap seperti lempung, memicu longsor rotasi atau translasi saat drainase buruk. Di musim hujan tropis Indonesia, hujan lebat awal musim menjadi pemicu utama, dengan durasi >3 hari meningkatkan risiko hingga 80% pada lereng rentan.

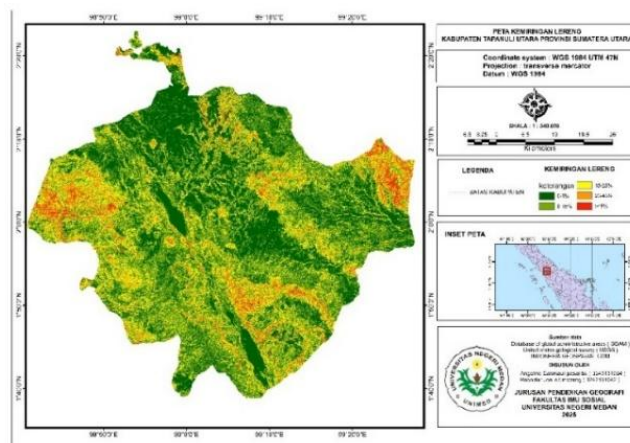


4. Kondisi Geologi dan Struktur

Struktur geologi lemah seperti sesar, patahan (kekar), atau lapisan batuan lapuk vulkanik mengurangi kohesi dan menciptakan bidang lemah alami. Zona patahan aktif seperti Baribis di Jawa mempercepat longsor saat digabung gempa, di mana getaran dinamis mengguncang material longgar. Batuan sedimen gembur atau metamorf lemah rentan pelapukan kimiawi oleh air asam hujan, melemahkan ikatan mineral seiring waktu.

5. Jenis Tanah dan Keadaan Air Tanah

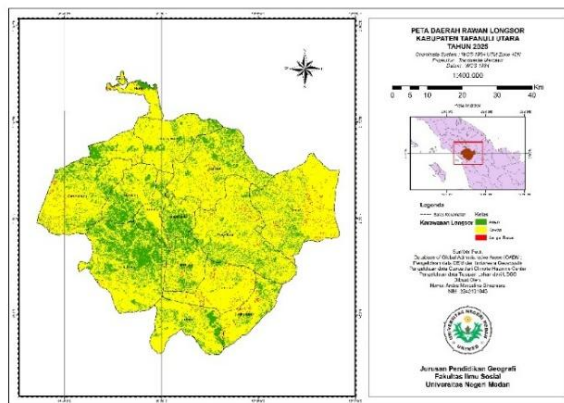
Tanah regosol, litosol, atau lempung dengan permeabilitas rendah ($<10^{-5}$ cm/s) menyimpan air berlebih, menjadi lembek saat jenuh dan rentan longsor. Tingkat kepadatan rendah (porositas tinggi) memungkinkan infiltrasi cepat, sementara kedalaman tanah tipis (30-100 cm) gagal menahan beban atas. Air tanah tinggi di atas lapisan kedap memperburuk tekanan hidrostatik, terutama pada tanah gembur vulkanik yang dominan di Indonesia.



ANALISIS PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP ANCAMAN BENCANA LONGSOR MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (STUDI KASUS: TAPANULI UTARA)

6. Zonasi Kerentanan Longsor

Peta Daerah Rawan Longsor Kabupaten Tapanuli Utara Tahun 2025 memberikan gambaran mengenai sebaran tingkat kerawanan longsor di setiap bagian wilayah kabupaten. Dari hasil pemetaan, terlihat bahwa sebagian besar kawasan berada pada kategori rawan. Warna kuning yang mendominasi peta menunjukkan bahwa banyak wilayah memiliki potensi longsor sedang, yang umumnya ditemukan pada daerah dengan kemiringan lereng menengah dan penggunaan lahan yang sudah berubah, seperti permukiman, perkebunan, dan lahan pertanian.



Daerah yang termasuk kategori aman ditunjukkan dengan warna hijau. Area ini tidak terlalu luas, tetapi tersebar di beberapa kecamatan terutama yang memiliki kondisi topografi lebih datar serta tutupan vegetasi yang relatif baik. Vegetasi yang rapat membantu menahan tanah sehingga risiko longsor lebih rendah. Sementara itu, kategori sangat rawan ditandai dengan warna merah dan jumlahnya tidak banyak, tetapi pola sebarannya cenderung terkonsentrasi pada daerah yang memiliki lereng curam. Bagian barat laut tampak lebih rentan, kemungkinan karena struktur geologi atau bentuk lahannya yang lebih ekstrem.

Pembahasan

1. Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Peningkatan Risiko Longsor

Antara tahun 2020 hingga 2025, terlihat adanya perubahan yang sangat berarti dalam penggunaan lahan di Kabupaten Tapanuli Utara, khususnya di kategori area terbangun, lahan pertanian, dan lahan galian. Ketiga kategori ini mengalami

penambahan area yang signifikan, terutama di daerah berbukit yang secara geomorfologi memang rentan terhadap longsor.

a. Perluasan Wilayah Terbangun dan Pertambahan Limpasan Permukaan

Luas area terbangun mengalami lonjakan signifikan dari 21.939 ha di tahun 2020 menjadi 124.748 ha pada tahun 2025. Kenaikan seluas +102.809 ha ini mencerminkan peningkatan aktivitas pembangunan, baik untuk kawasan hunian, infrastruktur publik, maupun fasilitas ekonomi.

b. Transformasi Hutan menjadi Lahan Pertanian

Meski terlihat adanya sedikit peningkatan dalam luas hutan secara angka (+1.121 ha), perubahan paling signifikan justru terjadi pada lahan pertanian yang melonjak dari 54.248 ha menjadi 95.682 ha (+41.434 ha). Peningkatan ini menunjukkan adanya konversi lahan dari vegetasi lebat menuju lahan pertanian atau kebun.

c. Ekspansi Area Galian sebagai Faktor Ketidakstabilan Lereng

Area galian telah meningkat dari 39.651 ha menjadi 57.411 ha (+17.760 ha), yang mencerminkan tumbuhnya aktivitas pengambilan material tanah dan batu.

d. Penurunan Luas Badan Air dan Perubahan Kondisi Hidrologi Lokal

Luas badan air mengalami penurunan drastis dari 2.459 ha menjadi 127 ha (-2.332 ha). Meskipun sebagian perubahan dapat dipengaruhi oleh kondisi citra.

2. Keterkaitan Faktor Fisik dengan Risiko Longsor

a. Pengertian Dasar Keterkaitan Faktor Fisik dengan Risiko Longsor

Keterkaitan faktor fisik dengan risiko longsor didasarkan pada prinsip mekanika tanah di mana longsor terjadi ketika gaya pendorong (seperti gravitasi pada lereng curam) melebihi gaya penahan (kekuatan geser tanah atau batuan), sehingga massa material bergerak ke bawah lereng. Faktor fisik alam mencakup elemen statis seperti kemiringan lereng, jenis litologi, dan struktur geologi, serta faktor dinamis seperti curah hujan, getaran gempa, dan kondisi hidrologi yang saling berinteraksi untuk meningkatkan ketidakstabilan lereng.

b. Kemiringan Lereng dan Morfologi Topografi

Kemiringan lereng merupakan faktor fisik utama karena semakin curam sudut lereng (misalnya $>30-50^\circ$), semakin besar komponen gaya gravitasi paralel terhadap lereng yang mendorong material tanah atau batuan untuk bergeser. Kemiringan lereng adalah faktor geomorfologi paling kritis. Semakin curam

ANALISIS PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP ANCAMAN BENCANA LONGSOR MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (STUDI KASUS: TAPANULI UTARA)

lereng, semakin besar komponen gaya gravitasi yang bekerja sejajar dengan permukaan lereng untuk mendorong massa tanah ke bawah.

c. Peran Curah Hujan dan Kondisi Hidrologi

Curah hujan tinggi bertindak sebagai pemicu dinamis utama dengan menyaturasi tanah, Meningkatkan berat jenis material hingga 20-30% dan menghasilkan tekanan hidrostatik yang mengurangi kekuatan geser efektif tanah Hujan intens (>50 mm/jam) atau berkepanjangan menyebabkan aliran bawah tanah (subsurface flow) yang melemahkan lapisan kedap air di dasar lereng, sementara drainase buruk memperparah akumulasi air dan erosi internal.

d. Sifat Geologi, Litologi dan Struktur Tanah

Kondisi geologi seperti batuan lunak (lempung, tuff) atau tanah dengan tingkat pelapukan tinggi memiliki kohesi rendah dan rentan retak, sehingga struktur seperti sesar, rekahan, atau lapisan kurang padat mengurangi daya dukung terhadap beban atas. Tanah tebal tapi kurang padat menjadi lembek saat basah dan pecah saat kering, sementara batuan rapuh gagal melalui runtuh bebas pada lereng vertical

e. Getaran Eksternal dan Interaksi Faktor Fisik Keseluruhan

Getaran dari gempa bumi, ledakan, atau aktivitas berat mempercepat longsor pada lereng labil dengan menyebabkan geseran sementara (temporary liquefaction) atau memperlebar retakan existing, terutama jika dikombinasikan dengan hujan.

3. Peran SIG dalam Mengidentifikasi Pola Risiko Longsor

SIG bekerja dengan cara mengumpulkan berbagai data yang berpengaruh terhadap risiko longsor, seperti kemiringan lereng, jenis tanah, curah hujan, tutupan lahan, dan penggunaan lahan. Semua data ini kemudian digabungkan di dalam satu sistem sehingga hubungan antar faktor dapat terlihat dengan jelas. Melalui proses seperti overlay dan klasifikasi lereng, SIG mampu menunjukkan bagaimana kondisi fisik wilayah saling berinteraksi dan memengaruhi tingkat kerawannya. Setelah seluruh data dipadukan, SIG menghasilkan peta risiko yang menampilkan tiga kategori wilayah, yaitu zona hijau yang menunjukkan kondisi aman karena topografinya stabil, zona kuning yang menggambarkan tingkat kerawanan sedang sehingga memerlukan pengaturan pemanfaatan lahan yang lebih hati-hati, serta zona

merah yang menandai wilayah dengan kondisi sangat rawan akibat lereng curam dan kondisi tanah yang sensitif.

4. Implikasi Terhadap Mitigasi Bencana dan Tata Ruang

a. Identifikasi zona rawan

SIG sangat membantu dalam menentukan wilayah dengan tingkat ancaman tinggi, sedang, hingga rendah. Melalui analisis data seperti kemiringan lereng, jenis tanah, curah hujan, penggunaan lahan, dan riwayat bencana, SIG dapat menunjukkan area mana yang termasuk zona merah, kuning, atau hijau. Zona merah biasanya menunjukkan wilayah yang sangat berbahaya untuk ditempati atau dibangun, misalnya daerah rawan banjir besar atau longsong berat. Zona kuning menggambarkan wilayah yang masih dapat dimanfaatkan tetapi membutuhkan pengawasan lebih ketat. Sementara itu, zona hijau dianggap aman untuk pengembangan permukiman maupun infrastruktur. Informasi ini menjadi dasar penting dalam menentukan lokasi pembangunan agar tidak menempatkan masyarakat di wilayah berisiko tinggi.

b. Pembuatan peta kerentanan

SIG juga berperan besar dalam menyusun peta kerentanan yang memperlihatkan seberapa rentan suatu wilayah jika bencana terjadi. Peta ini tidak hanya mempertimbangkan bahaya fisik, tetapi juga kondisi sosial, ekonomi, kepadatan penduduk, kualitas bangunan, hingga akses masyarakat terhadap fasilitas umum. Dengan menggabungkan berbagai lapisan data tersebut, SIG memberikan gambaran lengkap mengenai daerah yang paling mudah terdampak.

c. Perencanaan tata ruang yang lebih tepat

Dalam penataan ruang wilayah, SIG berfungsi sebagai dasar pengaturan pola ruang yang lebih aman dan rasional. Dengan mengetahui zona aman dan zona berbahaya, pemerintah dapat membatasi pembangunan di daerah yang termasuk zona merah dan mengatur kegiatan yang masih diperbolehkan di zona kuning.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian mengenai perubahan tutupan lahan dan kaitannya dengan ancaman longsor di Kabupaten Tapanuli Utara menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan memiliki pengaruh langsung terhadap meningkatnya risiko bencana. Perubahan ini

ANALISIS PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP ANCAMAN BENCANA LONGSOR MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (STUDI KASUS: TAPANULI UTARA)

terlihat dari semakin meluasnya kawasan terbangun dan berkembangnya lahan budidaya yang menggeser area berhutan, sehingga fungsi alami vegetasi sebagai pengikat tanah semakin berkurang.

Analisis spasial menggunakan SIG berhasil memperlihatkan bahwa perubahan tutupan lahan tidak terjadi secara merata, tetapi terkonsentrasi pada wilayah dengan kemiringan lereng dan elevasi tertentu yang secara alami memang memiliki potensi longsor lebih tinggi. Ketika lapisan data kemiringan, curah hujan, jenis tanah, dan tutupan lahan digabungkan, terlihat dengan jelas bahwa wilayah yang kehilangan hutan adalah wilayah yang kemudian menunjukkan tingkat kerawanan yang lebih besar.

DAFTAR REFERENSI

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). (2023). *Data dan Statistik Kejadian Bencana Indonesia Tahun 2023*.
- Chen, L., Guo, Z., Yin, K., Pikha Shrestha, D., & Jin, S. (2019). The influence of land use and land cover change on landslide susceptibility: A case study in Zhushan Town, Xuan'en County (Hubei, China). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(10), 2207–2228. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-2207-2019>
- Hanifudin, F., Nugraha, A. L., & Firdaus, H. S. (2024). Analisis Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Ancaman Bencana Longsor Dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kabupaten Kebumen). *Jurnal Geosains Dan Teknologi*, 7(1), 36–46. <https://doi.org/10.14710/jgt.7.1.2024.36-46>
- Hanifudin, F., Nugraha, AL, & Firdaus, HS (2024). Analisis pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap ancaman bencana longsor dengan menggunakan sistem informasi geografis: Studi kasus Kabupaten Kebumen. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 7 (1), 36-46.
- Hasibuan, R. (2022). *Analisis Potensi Gerakan Tanah di Provinsi Sumatera Utara. Jurnal Geografi dan Lingkungan*.
- Kurniawan Pusat Teknologi Sumberdaya Lahan, L., & dan Mitigasi bencana BPPT, W. (2008). *KAJIAN PENILAIAN BAHAYA TANAH LONGSOR PROVINSI SUMATERA UTARA*.

- Liu, H. (2021). Hydrological and mechanical effects of vegetation on slope stability. *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 9(5), 186–192. <https://doi.org/10.3208/jgssp.v09.cpeg122>
- Lubis, MRA (2022). *Analisis daerah rawan longsor berbasis sistem informasi geografis (SIG): Studi kasus Kabupaten Tapanuli Selatan . Universitas Sumatera Utara.*
- Lubis, N. (2021). *Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan terhadap Stabilitas Lereng di Daerah Dataran Tinggi Sumatera Utara. Jurnal Sains dan Geomatika.*
- Meneses, B. M., Pereira, S., & Reis, E. (2019). Effects of different land use and land cover data on the landslide susceptibility zonation of road networks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(3), 471–487. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-471-2019>.