

Analisis Kerawanan Longsor Berdasarkan Parameter Geologi dan Geospasial di Biluhu Timur, Kecamatan Batudaa Pantai, Gorontalo

Najib Modeong^{*1}, Muh. Kasim¹, Ronal Hutagalung¹

¹ Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Gorontalo

*e-mail: Najibmodeong00@gmail.com

Abstract

Biluhu Timur Village and its surroundings, located in Batudaa Pantai District, Gorontalo Regency, have a topography ranging from hills to coastal plains and relatively high rainfall, which makes them prone to landslides. This study aims to analyze the geological and geomorphological conditions and to map landslide susceptibility zones in Biluhu Timur Village and its surroundings at a scale of 1:25,000. The method used is Multi Criteria Evaluation based on a Geographic Information System (GIS), applying scoring, weighting, and overlay of six parameters: slope, rainfall, lithology, land use, soil type, and lineament density. The study area consists of four geomorphological units and four rock units, namely basalt, diorite, reef limestone, and coastal deposits, with joints as the secondary structure. The analysis of an area of 2,899.48 ha shows that high susceptibility covers 1,455.51 ha (49.16%), moderate susceptibility 1,351.29 ha (47.64%), and low susceptibility 92.68 ha (3.20%). Biluhu Timur Village falls within the high susceptibility class.

Keywords: Landslide Susceptibility; Geographic Information System; Scoring and Overlay; Geology; Biluhu Timur

Abstrak

Desa Biluhu Timur dan Sekitarnya yang berada di Kecamatan Batudaa Pantai, Kabupaten Gorontalo, memiliki topografi perbukitan hingga pesisir dengan curah hujan cukup tinggi sehingga berpotensi mengalami longsor. Penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi geologi dan geomorfologi serta memetakan zonasi kerawanan longsor di Desa Biluhu Timur dan sekitarnya pada skala 1:25.000. Metode yang digunakan adalah Multi Criteria Evaluation berbasis Sistem Informasi Geografis dengan skoring, pembobotan, dan overlay enam parameter, yaitu kemiringan lereng, curah hujan, litologi, penggunaan lahan, jenis tanah, dan densitas kelurusan. Daerah penelitian terdiri atas empat satuan geomorfologi dan empat satuan batuan, yaitu basalt, diorit, batugamping terumbu, dan endapan pantai, dengan struktur kekar sebagai struktur sekunder. Hasil analisis pada area seluas 2.899,48 ha menunjukkan kerawanan tinggi seluas 1.455,51 ha (49,16%), sedang 1.351,29 ha (47,64%), dan rendah 92,68 ha (3,20%). Desa Biluhu Timur termasuk kelas kerawanan tinggi.

Kata kunci: Kerawanan Longsor; Sistem Informasi Geografis; Skoring dan Overlay; Geologi; Biluhu Timur

1. PENDAHULUAN

Indonesia termasuk negara dengan tingkat kerawanan bencana alam yang sangat tinggi. Secara global, Indonesia berada pada peringkat kedua dunia dalam frekuensi kejadian bencana alam, dengan sekitar 71 peristiwa atau kurang lebih 9% dari total kejadian bencana di dunia. Kondisi ini dipengaruhi oleh letak geografis Indonesia di zona pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Eurasia yang bergerak ke arah tenggara, Lempeng Indo-Australia yang bergerak dari selatan melalui Samudra Hindia, dan Lempeng Pasifik yang aktif di kawasan timur Indonesia (Naryanto 2019).

Bencana geologi, seperti gempa bumi, erupsi gunung api, tsunami, dan tanah longsor, dapat menimbulkan kerugian besar bagi lingkungan, aktivitas masyarakat, dan kehidupan penduduk di daerah terdampak. Kejadian bencana di Indonesia terlihat semakin meningkat, baik dari segi tingkat keparahan maupun frekuensinya. Karena itu, mitigasi perlu dipikirkan pada tahap sebelum, saat, dan sesudah bencana. Upaya ini menuntut pemahaman tentang proses geologi yang dapat memicu bencana, dan bentuk mitigasi untuk setiap wilayah pun berbeda sesuai karakteristik ancamannya (Amri dkk. 2022).

Tanah longsor merupakan bencana alam yang relatif dapat diprediksi karena berkaitan erat dengan tingginya curah hujan. Potensi kejadiannya juga dipengaruhi oleh litologi, struktur geologi, jenis tanah,

tingkat kemiringan lereng, dan penggunaan lahan (Asiki dkk. 2019). Gerakan tanah terjadi karena perpindahan material pembentuk lereng, yaitu batuan, tanah, bahan rombakan, atau campurannya, ke bawah atau ke luar lereng. Fenomena alam ini menjadi bencana ketika menimbulkan korban jiwa serta kerugian harta benda dan hasil budaya manusia. Sebagian wilayah Indonesia berupa perbukitan dan pegunungan, dan curah hujan yang sangat tinggi menjadi pemicu utama gerakan tanah yang dilaporkan (Prastowo dkk. 2018).

Dari sisi kestabilan batuan, analisis perlu mencakup sifat fisik dan mekanis batuan utuh serta sifat bidang diskontinu, seperti kekar, patahan, bidang perlapisan, zona geser, belahan, dan foliasi. Semakin banyak bidang diskontinu yang memotong massa batuan, semakin kecil kekuatan gesernya, sehingga risiko longsor di area tersebut meningkat (Dwikasih dan Koesnaryo 2020).

Wilayah dengan lereng curam, curah hujan tinggi, kondisi litologi tertentu, dan penggunaan lahan tertentu memiliki tingkat kerentanan longsor yang lebih tinggi. Pemetaan kerawanan longsor dapat menjadi dasar penyusunan strategi mitigasi dan perencanaan tata ruang berbasis kebencanaan (Saputra dkk. 2019). Besarnya kerugian akibat gerakan tanah telah menjadi isu nasional maupun internasional. Oleh karena itu, diperlukan kajian mendalam dan sistem informasi kebencanaan yang bersifat keruangan, cepat, dan mudah dikelola agar dampak kerugian dapat diminimalkan. Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan metode skoring dan overlay banyak dimanfaatkan untuk tujuan tersebut karena mampu mengintegrasikan berbagai parameter pengontrol longsor dalam satu analisis spasial.

Provinsi Gorontalo memiliki topografi yang beragam, mulai dari pesisir hingga pegunungan, dengan curah hujan cukup tinggi sepanjang tahun. Kondisi ini menjadikan beberapa wilayahnya rentan terhadap bencana alam, termasuk tanah longsor dan gerakan tanah. Kabupaten Gorontalo memiliki karakteristik geologi yang kompleks, dengan formasi batuan beragam dan struktur geologi aktif. Keberadaan zona lemah pada batuan, intensitas hujan yang tinggi, dan lereng yang curam di beberapa wilayah menjadikan kabupaten ini perlu mendapat perhatian khusus dalam manajemen bencana gerakan tanah (Ekawati, Maryati, dan Kasim 2024).

Daerah penelitian berada di Desa Biluhu Timur dan sekitarnya, Kecamatan Batudaa Pantai, Kabupaten Gorontalo. Wilayah ini terletak di kawasan pesisir selatan Provinsi Gorontalo dan berbatasan langsung dengan Teluk Tomini di sisi selatan. Morfologinya berupa perbukitan hingga dataran yang diselingi aliran sungai kecil, dengan ketinggian 0 hingga 500 mdpl dan kelerengan yang bervariasi dari landai hingga curam. Iklimnya tropis dengan suhu udara 26–32 °C dan curah hujan tahunan 1.500–2.500 mm, dengan musim kemarau 2–3 bulan dalam setahun (BPS Kabupaten Gorontalo 2023). Kondisi geologi lokal berupa batuan sedimen dan batuan gunung api yang telah mengalami pelapukan, curah hujan yang relatif tinggi, dan penggunaan lahan yang berkembang pesat membuat wilayah ini berpotensi mengalami longsor, terutama pada musim penghujan.

Meskipun potensi bahaya tersebut cukup besar dan longsor telah menimbulkan dampak dalam beberapa tahun terakhir, kajian pemetaan kerawanan longsor secara komprehensif di Desa Biluhu Timur dan sekitarnya belum pernah dilakukan. Padahal, informasi tingkat kerawanan sangat dibutuhkan sebagai dasar perencanaan tata ruang, pembangunan infrastruktur, dan penyusunan strategi mitigasi bencana di wilayah ini. Kesenjangan inilah yang melatarbelakangi penelitian ini.

Penelitian ini memanfaatkan SIG sebagai alat analisis spasial dengan metode skoring dan overlay terhadap parameter yang berpengaruh pada kejadian longsor, yaitu kemiringan lereng, litologi, curah hujan, penggunaan lahan, dan jenis tanah. Kemiringan lereng diturunkan dari Digital Elevation Model (DEM) dan diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas. Litologi diperoleh dari Peta Geologi Lembar Tilamuta skala 1:250.000 terbitan Pusat Survei Geologi. Curah hujan bersumber dari BMKG atau instansi terkait dan diklasifikasikan berdasarkan kelas intensitas. Penggunaan lahan diperoleh melalui interpretasi citra satelit dan/atau peta penggunaan lahan terbaru, sedangkan jenis tanah menggunakan peta dari instansi terkait. Setiap parameter diklasifikasikan menurut tingkat pengaruhnya terhadap potensi longsor, kemudian diberi bobot dan skor. Hasil akhirnya berupa peta zonasi kerawanan longsor skala 1:25.000 yang membagi wilayah penelitian ke dalam kelas kerawanan sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi.

Penelitian ini memiliki beberapa batasan. Kajian hanya mencakup Biluhu Timur dan sekitarnya dengan ketelitian yang mengikuti skala 1:25.000. Penelitian tidak menghitung faktor keamanan lereng

(Factor of Safety), tidak melakukan pemodelan geoteknik, dan tidak menguji sifat fisik maupun mekanik tanah dan batuan di laboratorium. Peta yang dihasilkan bersifat spasial dan tidak dimaksudkan untuk menilai kestabilan lereng secara rinci pada setiap lokasi.

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah penelitian ini mencakup bagaimana kondisi geologi dan geomorfologi daerah penelitian, bagaimana pengaruh curah hujan, kemiringan lereng, penggunaan lahan, dan litologi terhadap kerawanan longsor, serta bagaimana sebaran zona kerawanan longsor di daerah penelitian. Sejalan dengan itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi geologi dan geomorfologi daerah penelitian sebagai dasar pemetaan kerawanan longsor, menganalisis aspek pengontrol longsor berdasarkan data curah hujan, kemiringan lereng, penggunaan lahan, dan kondisi litologi, serta membuat peta zonasi kerawanan longsor daerah penelitian pada skala 1:25.000. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi sumber informasi bagi pemerintah daerah dan masyarakat dalam upaya pengurangan risiko bencana.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode Multi Criteria Evaluation (MCE) sebagai alat bantu analisis SIG untuk memetakan tingkat kerawanan longsor. Metode ini mengintegrasikan pemberian skor dan bobot pada enam kriteria, yaitu litologi, densitas kelurusan, kemiringan lereng, jenis tanah, curah hujan, dan penggunaan lahan. Data diolah dengan teknik overlay yang mengadopsi Nsengiyumva dkk. (2018) hingga menghasilkan klasifikasi zonasi kerawanan rendah, sedang, dan tinggi, dan hasil akhirnya berupa peta zonasi kerawanan longsor daerah penelitian. Pelaksanaannya dibagi ke dalam empat tahap, yaitu persiapan, penelitian lapangan, analisis dan pengolahan data, serta penulisan skripsi.

Tahap persiapan diawali dengan studi literatur untuk mempelajari geologi regional daerah penelitian dari laporan, jurnal, prosiding, makalah geologi, dan karya ilmiah lainnya. Selain itu, dilakukan pengurusan administrasi berupa perizinan penelitian dan berkas untuk ujian skripsi hingga sidang. Pada tahap ini juga disiapkan peralatan lapangan, yaitu GPS untuk menentukan koordinat dan elevasi lokasi pengamatan, palu geologi untuk mengambil sampel dan menguji kekuatan batuan, kompas geologi untuk mengukur kedudukan struktur, kamera untuk dokumentasi, komparator mineral dan ukuran butir, loupe, larutan HCl 0,1 M untuk menguji kandungan karbonat, kantung sampel, alat tulis dan buku catatan lapangan, serta tas lapangan. Pengolahan dan analisis peta dilakukan menggunakan komputer dengan perangkat lunak ArcGIS 10.8.5. Bahan penelitian meliputi data curah hujan Kecamatan Batudaa Pantai dari CHIRPS (2026), data jenis tanah Provinsi Gorontalo dari BIG (2026), citra Landsat daerah penelitian dari USGS (2018), dan data DEM yang diturunkan dari peta kontur skala 1:25.000 (BIG 2026).

Pengumpulan data dilakukan dengan mengombinasikan data sekunder dan primer. Data kemiringan lereng, jenis tanah, penggunaan lahan, dan curah hujan merupakan data sekunder yang diperoleh melalui interpretasi citra satelit, sedangkan data litologi merupakan data primer yang diperoleh dari pengamatan lapangan dan dipadukan dengan peta geologi. Penelitian lapangan dilaksanakan di wilayah Kecamatan Batudaa Pantai dengan lokasi spesifik di Desa Biluhu Timur. Kegiatan diawali dengan pemetaan wilayah berdasarkan titik koordinat yang telah ditentukan dan kondisi geografis sekitarnya. Setelah posisi pengamatan teridentifikasi pada peta, dilakukan observasi geologi berupa deskripsi umum singkapan dan pengambilan sampel untuk deskripsi litologi, serta pengukuran strike dan dip untuk menentukan arah dan keberadaan struktur geologi.

Data lapangan kemudian diolah untuk menentukan sebaran jenis batuan penyusun daerah penelitian dalam bentuk peta geologi. Data spasial berupa curah hujan, jenis tanah, penggunaan lahan, dan DEM diolah pula, dengan DEM digunakan untuk membuat peta kemiringan lereng dan peta densitas kelurusan. Seluruh peta tematik disusun pada skala 1:25.000 sebagai dasar analisis lanjutan. Setiap parameter selanjutnya diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas menurut tingkat pengaruhnya terhadap longsor, lalu diberi skor dan bobot yang mengacu pada Sholikhah, Prasetyo, dan Hartomo (2019). Semakin besar pengaruh suatu parameter terhadap longsor, semakin tinggi skor yang diberikan. Lereng yang curam dan litologi yang mudah lapuk, misalnya, memperoleh skor lebih tinggi daripada lereng landai dan batuan yang kompak.

Bobot setiap parameter ditetapkan berdasarkan studi literatur, hasil penelitian terdahulu, dan pertimbangan ahli, dengan curah hujan sebesar 25%, litologi dan kemiringan lereng masing-masing 20%, penggunaan lahan 15%, serta jenis tanah dan densitas kelurusan masing-masing 10. Seluruh parameter yang telah diklasifikasikan kemudian ditumpang-susunkan (overlay) menggunakan ArcGIS untuk menghasilkan peta kerawanan.

Tahap akhir adalah penulisan laporan skripsi yang dilengkapi peta geologi, densitas kelurusan, jenis tanah, curah hujan, kemiringan lereng, penggunaan lahan, dan zonasi kerawanan longsor, sehingga memberikan informasi tentang tingkat kerawanan longsor di daerah penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Geomorfologi Daerah Penelitian

Klasifikasi geomorfologi disusun berdasarkan prinsip pembentukan morfologi yang mengacu pada proses geologi, baik endogen maupun eksogen (Brahmantyo dan Salim 2006). Unsur geomorfologi yang diamati pada daerah penelitian meliputi morfografi, morfogenesis, dan morfometri. Berdasarkan peta topografi dan pengamatan lapangan, daerah penelitian berupa dataran hingga perbukitan dengan ketinggian 25–600 mdpl. Menurut klasifikasi Van Zuidam (1983), daerah ini dibagi menjadi empat satuan geomorfologi, yaitu Satuan Punggungan Lava, Satuan Perbukitan Intrusi, Satuan Dataran Teras Terumbu, dan Satuan Dataran Pantai.

Tabel 1. Satuan Geomorfologi Daerah Penelitian

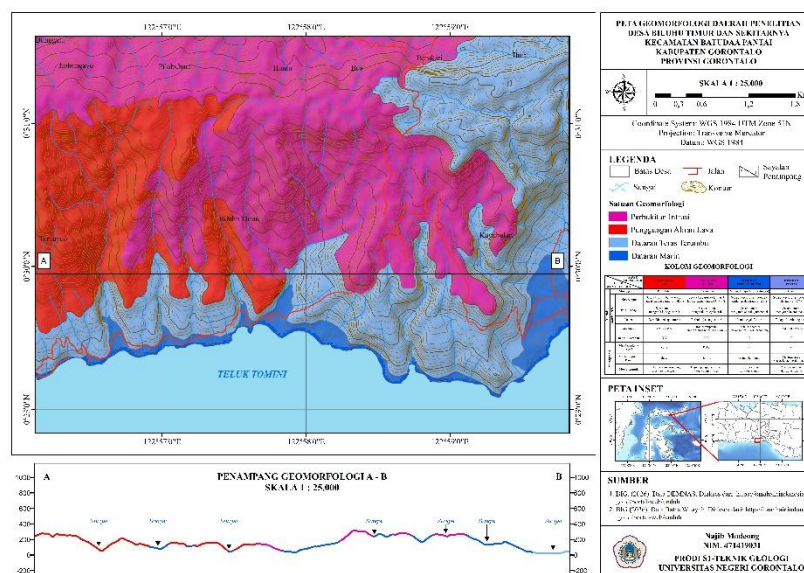
ASPEK MORFOLOGI ASPEK GEOMORFOLOGI		PUNGGUNGAN LAVA	PERBUKITAN INTRUSI	DATARAN TERAS TERUMBU	DATARAN PANTAI
Morfologi	Morfografi	Perbukitan	Perbukitan	Dataran Tinggi (teras bertingkat)	Dataran
	Kelerengan	Secara keseluruhan termasuk landai–sangat curam (3–>45%)	Secara keseluruhan termasuk landai–sangat curam (3–>45%)	Secara keseluruhan termasuk landai–agak curam (3–15%)	Secara keseluruhan termasuk dataran (0–15%)
	Pola Lereng	Secara umum mengarah ke segala arah	Secara umum mengarah ke segala arah	Secara umum mengarah ke arah garis pantai	Secara umum mengarah ke arah pantai
	Relief	Berbukit (sedang–curam)	Berbukit (sedang–curam)	Landai Agak Curam	Topografi berlereng datar
	Pola Aliran	15% - >45%	Radial subparalel (terkonsentrasi dari perbukitan)	Radial subparalel (terkonsentrasi dari perbukitan)	Tidak berkembang
	Bentuk Lembah	U-V	U-V	U	U
Morfogenesis	Morfostruktur Aktif	Kekar	Kekar	-	-
	Morfostruktur Pasif	Basal	Diorit	Batuan karbonat	Material lepas (pasir, lanau, kerikil pantai)
	Morfodinamik	Tingkat pelapukan sedang, erosi cukup intensif	Tingkat pelapukan sedang, erosi cukup intensif	Proses denudasi dan erosi ringan	Proses akumulasi dan abrasi pantai

Satuan Punggungan Lava merupakan bentang alam vulkanik yang terbentuk akibat pembekuan dan penumpukan aliran lava di permukaan. Satuan ini berupa perbukitan memanjang dengan relief bergelombang hingga curam yang mengikuti arah penyebaran aliran lava. Kemiringan lerengnya berkisar antara landai hingga sangat curam (3–45%), dengan variasi topografi yang dipengaruhi ketebalan dan penyebaran lava. Pola lereng mengarah ke segala arah mengikuti bentuk tubuh lava dan topografi setempat. Jaringan drainase berkembang mengikuti morfologi punggungan dan rekahan batuan, dengan lembah berbentuk U–V yang menunjukkan kombinasi erosi vertikal dan lateral. Morfostruktur aktifnya dikontrol oleh kekar pada batuan vulkanik yang berperan dalam pelapukan dan pembentukan pola aliran, sedangkan morfostruktur pasifnya disusun oleh batuan beku hasil aliran lava berupa basal yang relatif tahan terhadap erosi sehingga mampu mempertahankan bentuk punggungan. Satuan ini mencerminkan bentang alam hasil aktivitas vulkanik yang telah dimodifikasi oleh pelapukan dan erosi, namun tetap mempertahankan karakter punggungan memanjang berlereng terjal.

Satuan Perbukitan Intrusi terbentuk akibat tubuh batuan beku intrusif yang menerobos batuan yang lebih tua, kemudian tersingkap di permukaan melalui pengangkatan dan erosi. Satuan ini berupa perbukitan dengan relief sedang hingga tinggi dan kemiringan lereng 15–45%, sehingga tergolong agak curam hingga curam. Pola lerengnya menyebar ke segala arah mengikuti bentuk kubah atau massa intrusi yang tidak beraturan. Aliran sungai mengikuti topografi setempat dan menyebar dari bagian puncak menuju daerah yang lebih rendah, dengan lembah berbentuk U–V. Morfostruktur aktifnya dikontrol oleh kekar pada batuan intrusi yang memengaruhi pelapukan dan perkembangan drainase. Morfostruktur pasifnya tersusun oleh diorit yang kompak dan relatif resisten sehingga membentuk perbukitan yang menonjol. Proses geomorfik yang dominan berupa pelapukan sedang hingga tinggi disertai erosi intensif, terutama pada lereng yang lebih curam. Ketahanan batuan terhadap erosi menyebabkan satuan ini tetap menonjol sebagai tanggian.

Satuan Dataran Teras Terumbu terbentuk dari pengangkatan terumbu karang purba yang kemudian mengalami pelapukan dan erosi, sehingga menghasilkan permukaan datar hingga bergelombang lemah. Satuan ini berkembang di wilayah pesisir sebagai zona peralihan antara perbukitan dan dataran pantai. Kemiringan lerengnya 5–15% dengan kategori landai hingga agak miring, dan pola lereng cenderung mengikuti topografi lokal serta mengarah ke pantai. Relief rendah hingga sedang, dengan pola aliran radial agak curam yang dipengaruhi morfologi teras dan sistem rekahan pada batuan karbonat. Lembahnya berbentuk U, yang mencerminkan erosi lateral pada topografi landai. Morfostruktur aktifnya dikontrol oleh kekar pada batuan karbonat yang memengaruhi pelarutan dan pembentukan drainase, sedangkan morfostruktur pasifnya disusun oleh batugamping terumbu. Proses dominannya berupa denudasi dan erosi ringan disertai pelapukan kimia maupun fisik, sehingga permukaan teras relatif stabil.

Satuan Dataran Pantai terbentuk dari interaksi proses marin dan sedimentasi di wilayah pesisir yang berbatasan langsung dengan Teluk Tomini. Topografinya relatif datar pada elevasi rendah dengan kemiringan lereng 0–5%, yaitu datar hingga sangat landai. Pola lereng mengarah ke laut mengikuti gradien alami dari daratan ke pesisir, dan relief hampir datar dengan perbedaan elevasi sangat kecil. Aliran sungai didominasi pola sejajar yang mengikuti kemiringan permukaan menuju pantai. Lembah tidak berkembang signifikan karena sedimentasi lebih dominan daripada erosi. Morfostruktur aktifnya tidak menunjukkan pengaruh struktur geologi yang dominan, sedangkan morfostruktur pasifnya tersusun oleh material lepas berupa kerikil, pasir, lanau, lempung, dan endapan pantai hasil sedimentasi marin maupun fluvial. Proses yang dominan adalah sedimentasi pantai oleh gelombang, arus laut, dan suplai sedimen sungai, sehingga membentuk dataran pesisir yang relatif stabil. Satuan ini merupakan bentang alam deposisional di sepanjang pesisir Teluk Tomini.



Gambar 1. Peta Geomorfologi Daerah Penelitian

Analisis pola aliran sungai berdasarkan klasifikasi Howard (1967) menunjukkan bahwa daerah penelitian didominasi pola paralel, sedangkan pola radial berkembang lebih terbatas. Pola paralel ditandai alur sungai yang cenderung sejajar dan berkembang pada wilayah dengan kemiringan lereng relatif seragam serta kontrol topografi yang kuat, sehingga arah aliran sangat dipengaruhi gradien lereng utama. Pola radial ditemukan pada bentuk lahan berupa tinggian atau puncak perbukitan, tempat aliran menyebar ke segala arah dari pusat elevasi. Kedua pola ini menunjukkan bahwa perkembangan sistem drainase daerah penelitian terutama dikontrol oleh kondisi morfologi dan variasi topografi setempat.

B. Stratigrafi Daerah Penelitian

Berdasarkan pemetaan geologi dan pengamatan petrologi, daerah penelitian tersusun atas empat satuan batuan, yaitu Satuan Basalt, Satuan Diorit, Satuan Batugamping Terumbu, dan Satuan Endapan Pantai. Penamaan satuan didasarkan pada karakteristik litologi, tekstur, dan komposisi batuan. Dari yang tertua hingga termuda, urutannya adalah Basalt, Diorit, Batugamping Terumbu, dan Endapan Pantai.

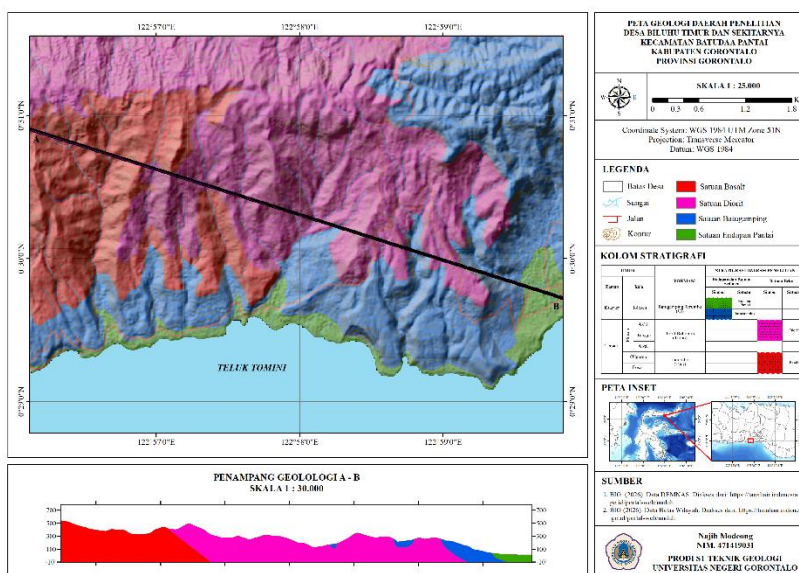
Satuan Basalt (Teot) merupakan batuan beku vulkanik ekstrusif hasil pembekuan magma mafik di permukaan. Satuan ini termasuk Formasi Tinombo yang berumur Oligosen Akhir, sehingga menjadi salah satu satuan tertua yang tersingkap. Secara megaskopis, basalt berwarna abu-abu gelap hingga hitam, bertekstur afanitik sampai porfiritik, dengan mineral penyusun berupa plagioklas, piroksen, dan mineral mafik lainnya. Strukturnya bervariasi dari masif, vesikular, hingga kekar kolom akibat pendinginan lava. Satuan ini membentuk perbukitan dan punggung aliran lava berlereng relatif curam dengan relief lebih tinggi dibandingkan satuan sedimen di sekitarnya karena ketahanannya terhadap pelapukan. Kekar pada basalt berperan mengontrol pola aliran sungai dan proses pelapukan. Pada sampel MN 1.3, hasil pengamatan handspecimen menunjukkan warna abu-abu gelap hingga hitam dengan tekstur afanitik, mineral epidot berwarna hijau terang, dan tingkat alterasi sedang. Secara petrografi, plagioklas hadir sebagai kristal euhedral hingga subhedral berbentuk mikrokristalin dengan tekstur trakitik (76%), sebagian berubah menjadi epidot (12%), disertai mineral opak (10%).

Satuan Diorit (Tmbo) merupakan batuan beku intrusif hasil pembekuan magma intermediet di bawah permukaan, dan termasuk Diorit Boliohuto yang berumur Miosen Tengah. Satuan ini terbentuk setelah vulkanisme yang menghasilkan basalt, dengan menerobos Satuan Basalt. Diorit berwarna abu-abu terang hingga gelap, bertekstur faneritik berbutir sedang hingga kasar, dengan mineral utama plagioklas, hornblende, biotit, dan sedikit kuarsa. Strukturnya masif dan dijumpai sistem kekar akibat pendinginan dan deformasi. Satuan ini tersingkap cukup luas dan membentuk perbukitan intrusi ber relief sedang hingga tinggi yang menonjol karena resistensinya terhadap pelapukan. Kekar pada diorit mengontrol pelapukan, erosi, dan perkembangan jaringan sungai. Sampel NM 2.3 pada handspecimen berwarna putih keabu-abuan, bertekstur faneritik equigranular, dengan plagioklas putih krem dan epidot hijau terang, teroksidasi rendah, serta alterasi sedang. Secara petrografi, plagioklas berbentuk subhedral hingga anhedral sebagai fenokris dan mikrokristalin (71%), sebagian berubah menjadi epidot berbentuk anhedral (19%), dengan mineral opak (9%).

Satuan Batugamping Terumbu (Ql) merupakan batuan sedimen karbonat yang terbentuk dari aktivitas organisme pembentuk terumbu, seperti koral, alga berkapur, dan moluska, di lingkungan laut dangkal. Satuan ini berumur Holosen dan berkembang terutama di wilayah pesisir dengan menindih secara tidak selaras Satuan Diorit dan Satuan Basalt. Batugamping berwarna putih hingga putih kekuningan, bertekstur masif hingga berongga, dengan komponen utama fragmen koral dan material karbonat biogenik yang telah tersementasi. Struktur asli terumbu masih terawetkan baik di beberapa lokasi. Setelah terbentuk di laut dangkal yang jernih dan hangat, satuan ini terangkat secara tektonik sehingga kini tersingkap sebagai daratan dan membentuk morfologi dataran teras terumbu. Sampel NM 2.7 pada handspecimen berwarna krem keputihan dengan ukuran butir kalkarenit dan fosil foraminifera besar, serta tidak teralterasi. Pada sayatan tipis, batuan menunjukkan tekstur bioklastik dengan matriks mikrit (47%), fosil foraminifera berstruktur kamar yang jelas (43%), silika (5%), dan bryozoa (2%).

Satuan Endapan Pantai (Qa) merupakan satuan sedimen termuda hasil sedimentasi pantai akibat aktivitas gelombang, arus laut, dan pasang surut. Satuan ini berumur Holosen dan menutupi secara tidak selaras satuan yang lebih tua, yaitu Batugamping Terumbu dan Diorit. Endapan didominasi pasir pantai berwarna putih kecokelatan hingga abu-abu terang berukuran halus hingga sedang, disertai fragmen karang, pecahan cangkang moluska, dan kerikil halus yang tersebar setempat. Sedimennya bersifat lepas, bersortasi sedang hingga baik, dengan butir membundar hingga membundar tanggung akibat transportasi gelombang. Satuan ini membentuk dataran pantai berelief datar hingga sangat landai di sepanjang Teluk Tomini. Pada stasiun NM 4.2, endapan ini belum terlitifikasi dan proses sedimentasinya masih berlangsung hingga kini.

Secara keseluruhan, urutan stratigrafi daerah penelitian menunjukkan perkembangan geologi yang diawali aktivitas vulkanisme penghasil basalt pada Oligosen Akhir, dilanjutkan intrusi magma intermediet pembentuk diorit pada Miosen Tengah, kemudian pengendapan karbonat terumbu dan sedimentasi pantai pada Holosen. Batuan beku yang keras dan resisten membentuk perbukitan dan punggung, sedangkan satuan sedimen muda menempati wilayah pesisir.



Gambar 2. Peta Geologi Daerah Penelitian

C. Struktur Geologi Daerah Penelitian

Struktur sekunder adalah struktur yang terbentuk setelah batuan terbentuk akibat deformasi oleh gaya tektonik lempeng. Struktur sekunder yang dijumpai di daerah penelitian berupa kekar. Kekar berperan meningkatkan infiltrasi air, memperlemah massa batuan, dan berasosiasi dengan zona kelurusan serta lereng curam, sehingga keberadaannya penting dalam kajian kerawanan longsor.

Struktur kekar dijumpai di Desa Biluhu Timur pada stasiun pengamatan NM 1.2. Data pengukuran struktur diolah menggunakan aplikasi Dips 6.0 dan menunjukkan kekar dengan orientasi umum N241°E/70°. Data ini menjadi bukti langsung bahwa massa batuan di daerah penelitian mengalami rekahan akibat aktivitas tektonik.

Pengamatan struktur di lapangan hanya dilakukan pada titik-titik singkapan yang terbatas, sehingga belum dapat menggambarkan pengaruh struktur geologi pada seluruh wilayah penelitian. Karena itu, analisis kerawanan longsor secara spasial menggunakan parameter densitas kelurusan yang diperoleh melalui interpretasi data DEM dalam Sistem Informasi Geografis. Densitas kelurusan merepresentasikan sebaran zona rekahan dan struktur geologi secara regional, sehingga mampu menggambarkan pengaruh struktur terhadap potensi longsor di seluruh daerah penelitian. Dengan demikian, data kekar hasil pengamatan lapangan berfungsi sebagai kontrol geologi, sedangkan densitas kelurusan digunakan sebagai parameter spasial dalam pembobotan dan overlay zonasi kerawanan longsor.

D. Parameter dan Zonasi Kerawanan Longsor Daerah Penelitian

Hasil analisis berupa peta kemiringan lereng, litologi, curah hujan, tata guna lahan, jenis tanah, dan densitas kelurusan. Keenam parameter ini merupakan faktor utama yang mengontrol terjadinya longsor di daerah penelitian.

Kemiringan lereng menjadi salah satu faktor alam yang berpengaruh, karena lereng yang curam dan terganggunya kestabilan tanah akibat pergerakan tanah, batuan, atau campurannya menuruni lereng dapat memicu longsor (Fatiatun dkk. 2019). Daerah penelitian didominasi oleh kemiringan sangat curam ($>45\%$) seluas 1.331,12 ha (45,91%), diikuti kelas curam (30–45%) seluas 723,62 ha (24,95%) dan agak curam (15–30%) seluas 595,89 ha (20,55%). Kelas landai (8–15%) hanya seluas 169,66 ha (5,85%) dan kelas datar ($>0-8\%$) seluas 79,06 ha (2,73%). Kelas landai umumnya dimanfaatkan sebagai ladang dan perkebunan, kelas agak curam sebagian menjadi perkebunan dan sebagian hutan kering, sedangkan kelas curam meliputi hutan kering hingga basah. Secara keseluruhan, kelas curam dan sangat curam mendominasi wilayah penelitian.

Tabel 3. Data Tanah Longsor Kecamatan Batudaa Pantai

No	Kerawanan	Luas (Ha)	Presentase (%)
1	Rendah	92.68	3,20
2	Sedang	1351.29	47,64
3	Tinggi	1455.51	49,16
Total		2899.48	100

Tata guna lahan mencerminkan interaksi manusia dalam mengelola sumber daya alam sehingga bersifat dinamis (Dwikasih dan Koesnaryo 2020). Daerah penelitian didominasi pertanian lahan kering campur seluas 1.760,32 ha (60,71%), diikuti semak belukar 673,78 ha (23,24%), pertanian lahan kering 404,07 ha (13,94%), hutan lahan kering sekunder 53,39 ha (1,84%), dan permukiman 7,92 ha (0,27%). Permukiman umumnya jarang mengalami longsor karena permukaannya kedap air sehingga limpasan lebih dominan daripada resapan. Namun, permukiman di perbukitan berlereng terjal dapat terganggu kestabilannya akibat beban tambahan, sehingga tetap diberi skor 2. Hutan lahan kering sekunder diberi skor 3, semak belukar skor 4, dan kedua kelas pertanian skor 5.

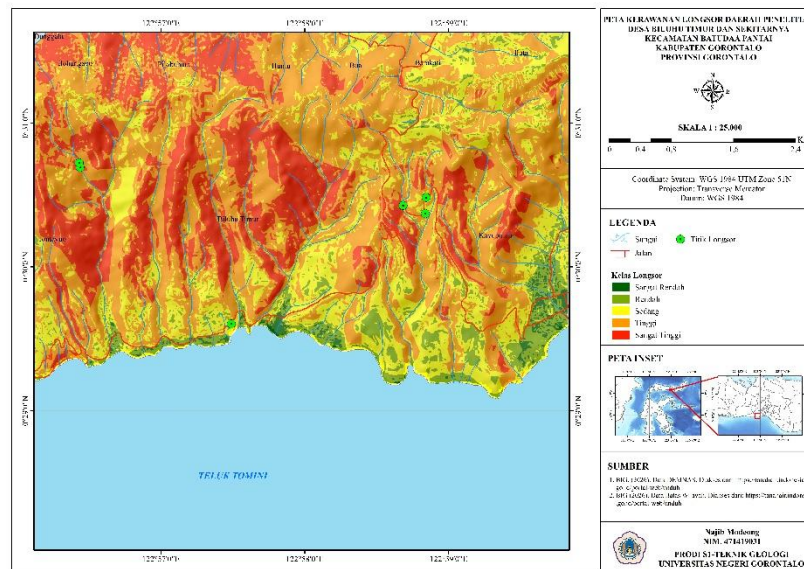
Tanah berasal dari material induk yang mengalami perubahan alami akibat pengaruh air, udara, dan organisme, yang tampak pada komposisi, struktur, dan warna hasil pelapukan. Data jenis tanah bersumber dari Badan Informasi Geospasial (2026) dan menunjukkan dua jenis, yaitu asosiasi Rendzina–Mediterranean Merah Kuning seluas 2.006,47 ha (69,20%) dan Mediterranean Merah Kuning seluas 893,00 ha (30,80%), keduanya diberi skor 3. Menurut Fiantis (2015), mediteran merah kuning berkembang dari bahan induk batu kapur dengan bahan organik rendah, tekstur berat, struktur gumpal, dan reaksi tanah agak masam hingga sedikit alkalis (pH 6,0–7,5).

Pengaruh curah hujan terhadap longsor jelas namun sulit dijelaskan secara tepat, karena hujan hanya memengaruhi stabilitas lereng secara tidak langsung melalui kondisi air pori pada material lereng (Blong dan Dunkerley 1976). Caine (1980) menyebutnya sebagai pengaruh pemicu. Berdasarkan data CHIRPS dan klasifikasi Puslittanak Bogor (2004, dalam Yassar dkk. 2020), dari lima kelas yang ada hanya dua yang muncul di daerah penelitian: curah hujan sedang (1.500–2.000 mm/tahun) seluas 2.496,12 ha (86,09%) dengan skor 2, dan kering (<1.500 mm/tahun) seluas 403,35 ha (13,91%) dengan skor 1.

Batuan pada umumnya bersifat heterogen, anisotrop, dan diskontinu. Diskontinuitas yang besar dan persisten dapat memengaruhi deformabilitas, kekuatan, permeabilitas, dan kestabilan lereng (Finanti dkk. 2020). Berdasarkan Peta Geologi Lembar Tilamuta (Bachri dkk. 1993) yang dipadukan dengan hasil pemetaan permukaan, daerah penelitian tersusun atas basalt, diorit, batugamping, dan endapan pantai. Batuan beku dengan skor 3 mendominasi seluas 1.775,94 ha (61,25%), terdiri atas basalt 526,14 ha dan diorit 1.237,46 ha. Batuan sedimen dengan skor 2 seluas 1.123,55 ha (38,75%), terdiri atas batugamping 966,97 ha dan endapan pantai 148,75 ha.

Densitas kelurusan merepresentasikan sebaran struktur geologi secara spasial. Kelurusan diperoleh dari interpretasi DEM dengan mengidentifikasi fitur linier seperti lembah lurus, punggung memanjang, dan gawir yang diduga mencerminkan sesar atau kekar, lalu dianalisis dengan metode Line Density di SIG dalam satuan km/km^2 . Densitas diklasifikasikan menjadi rendah ($<3,36$), sedang ($>3,36-6,66$), dan tinggi ($>6,66 \text{ km}/\text{km}^2$) dengan skor 1 sampai 3. Semakin tinggi densitas, semakin banyak bidang diskontinu yang meningkatkan permeabilitas dan infiltrasi, sehingga kadar air dan tekanan pori bertambah dan kekuatan geser menurun. Karena itu, lereng berdensitas tinggi cenderung lebih rawan longsor, terutama bila didukung lereng curam, litologi mudah lapuk, dan curah hujan tinggi. Kekar hasil pengamatan lapangan pada titik NM 1.2 ($\text{N}241^\circ\text{E}/70^\circ$) berfungsi sebagai bukti keberadaan struktur, sedangkan densitas kelurusan menggambarkan pengaruhnya secara regional.

Longsor dipengaruhi oleh geologi, topografi, klimatologi, aktivitas manusia, dan tektonik. Batuan lunak atau tanah yang mudah lapuk lebih rentan bergeser, lereng curam dan erosi memperburuk risiko, curah hujan tinggi menambah kelembaban dan mengurangi stabilitas, serta konstruksi dan penggalian dapat mengubah struktur tanah. Faktor-faktor ini sering saling berinteraksi. Hasil skoring dan pembobotan menghasilkan tiga kelas kerawanan. Daerah penelitian didominasi kelas tinggi seluas 1.455,51 ha (49,16%), diikuti kelas sedang 1.351,29 ha (47,64%) dan kelas rendah 92,68 ha (3,20%). Hasil overlay menunjukkan Desa Biluhu Timur termasuk kelas kerawanan tinggi, yang mendukung penjelasan mengapa desa ini mengalami peristiwa longsor.



Gambar 3. Peta Zonasi Rawan Longsor Daerah Penelitian

Tingkat kerawanan tersebut menuntut strategi mitigasi sejak dini yang disosialisasikan kepada masyarakat di daerah berpotensi longsor. Mitigasi terbagi menjadi mitigasi struktural, yaitu pembangunan fisik seperti tanggul, bronjong, jembatan gantung, dan talud, serta mitigasi nonstruktural, yaitu peningkatan kemampuan melalui sosialisasi dan pelatihan mitigasi bencana.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian di Daerah Biluhu Timur dan sekitarnya, Kecamatan Batudaa Pantai, Kabupaten Gorontalo, dapat disimpulkan bahwa kondisi geologi dan geomorfologi daerah penelitian dipengaruhi oleh kombinasi proses vulkanisme, intrusi, tektonik, dan sedimentasi pesisir. Geomorfologinya terbagi menjadi empat satuan, yaitu Punggungan Lava (lereng 3–45%), Perbukitan Intrusi (lereng 15–45%), Dataran Teras Terumbu (lereng 5–15%), dan Dataran Pantai (lereng 0–5%), dengan pola aliran paralel dan radial. Stratigrafinya tersusun dari yang tertua hingga termuda, yaitu Satuan Basalt (Oligosen Akhir), Satuan Diorit (Miosen Tengah), Satuan Batugamping Terumbu (Holosen), dan Satuan Endapan Pantai (Holosen). Struktur geologi sekunder yang dijumpai berupa kekar tarikan (tension joint) dengan orientasi $N241^{\circ}E/70^{\circ}$ akibat gaya tektonik barat daya–timur laut.

Kejadian longsor di daerah penelitian dikontrol oleh kombinasi enam parameter utama. Ketidakstabilan lereng didorong oleh dominasi topografi curam hingga sangat curam ($>30\%$) seluas 70,86%, penggunaan lahan yang didominasi pertanian lahan kering campur dan semak belukar (83,95%), jenis tanah Rendzina dan Mediteran Merah Kuning (69,20%), serta litologi batuan beku basalt dan diorit (61,25%). Densitas kelurusan yang tinggi turut memperlemah kekuatan geser batuan melalui zona rekahan, sedangkan curah hujan sedang (1.500–2.000 mm/tahun, seluas 86,09%) bertindak sebagai faktor pemicu melalui peningkatan tekanan air pori yang memicu gerakan massa tanah dan batuan.

Berdasarkan pembobotan dan overlay parameter geospasial berbasis SIG pada wilayah analisis seluas 2.899,48 ha, zonasi kerawanan longsor terbagi menjadi tiga kelas. Kerawanan tinggi mendominasi dengan luas 1.455,51 ha (49,16%), dipengaruhi oleh lereng curam hingga sangat curam dan tutupan lahan pertanian kering campur, serta mencakup kawasan permukiman Desa Biluhu Timur. Kerawanan sedang seluas 1.351,29 ha (47,64%), sedangkan kerawanan rendah merupakan yang terkecil, yaitu 92,68 ha (3,20%), dan tersebar di dataran pantai serta teras terumbu yang berlereng landai.

Berdasarkan hasil tersebut, disarankan agar penelitian selanjutnya melakukan validasi lapangan (ground check) pada lokasi yang teridentifikasi berkerawanan tinggi untuk memastikan kesesuaian hasil analisis spasial dengan kondisi aktual, seperti retakan lereng, bekas longsoran, dan kondisi drainase alami. Pemetaan sebaiknya dilakukan pada skala yang lebih rinci, yaitu 1:10.000 atau lebih detail, khususnya di kawasan permukiman, koridor jalan, dan wilayah pengembangan infrastruktur, agar batas zona lebih akurat untuk perencanaan tata ruang. Analisis geoteknik lereng juga perlu dilakukan pada zona kerawanan tinggi, meliputi pengujian sifat fisik dan mekanik tanah dan batuan, analisis faktor keamanan lereng (Factor of Safety), serta kajian pengaruh muka air tanah, sebagai dasar penentuan metode penanganan lereng.

Pada zona kerawanan tinggi, mitigasi struktural berupa drainase lereng, seperti saluran pencegat (interceptor drain), drainase permukaan, dan sistem pembuangan air yang memadai, disarankan untuk mengurangi infiltrasi hujan dan mencegah kenaikan tekanan air pori. Upaya ini perlu didukung rehabilitasi vegetasi pada lereng rawan dengan tanaman berakar kuat yang mampu meningkatkan kohesi tanah, disertai pengendalian perubahan penggunaan lahan pada lereng curam. Terakhir, pemerintah daerah dan instansi terkait diharapkan memanfaatkan hasil penelitian ini dalam penyusunan kebijakan mitigasi bencana dan rencana tata ruang wilayah, serta dalam edukasi dan sosialisasi kepada masyarakat mengenai potensi gerakan tanah agar risiko bencana dapat diminimalkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua tercinta atas doa, kasih sayang, dan dukungan yang tidak pernah putus sejak awal hingga penelitian ini selesai. Segala pengorbanan dan semangat yang diberikan menjadi kekuatan bagi penulis dalam melewati setiap proses dan tantangan selama penelitian berlangsung. Semoga hasil penelitian ini dapat menjadi persembahan kecil yang membanggakan bagi keduanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, M. A., Rahmawan, S., Nuryana, S. D., Assegaf, A., Adhitama, R., Setyorini, D. A., & Herdiansyah, F. (2022). Sosialisasi mitigasi bencana geologi kepada masyarakat Sekolah Dasar Islam Ay-Yusufiah, Banten. *Jurnal Akal: Abdimas dan Kearifan Lokal*, 3(2), 182–192.
- Asiki, M. I., Maryati, S., & Akase, N. (2019). Analisis tingkat kerentanan longsor daerah Muara Sungai Bone Kota Gorontalo. *Jambura Geoscience Review*, 1(2), 87–101. <https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v1i2.2474>
- Bachri, S., Sukido, & Ratman, N. (1993). *Peta geologi lembar Tilamuta, Sulawesi, skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Badan Informasi Geospasial. (2026). *Peta Rupabumi Indonesia skala 1:25.000 dan data jenis tanah Provinsi Gorontalo*.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Gorontalo. (2023). *Kabupaten Gorontalo dalam angka 2023*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Gorontalo.
- Blong, R. J., & Dunkerley, D. L. (1976). Landslides in the Razorback Area, New South Wales, Australia. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 58(3), 139–147. <https://doi.org/10.1080/04353676.1976.11879932>
- Caine, N. (1980). The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 62(1–2), 23–27.
- Climate Hazards Group. (2026). *CHIRPS rainfall estimates from rain and satellite observations*.
- Dudal, R., & Soeprattohardjo, M. (1957). *Soil classification in Indonesia* (Contribution No. 148, pp. 3–16). Bogor.
- Dwikasih, F. P., & Koesnaryo, S. (2020). Pengaruh struktur ketidakmenerusan pada kestabilan lereng penggalian batuan. *Prosiding Seminar Teknologi Kebumian dan Kelautan (SEMITAN)*, 2(1), 443–450. <https://doi.org/10.31284/j.semitan.2020.1049>
- Ekawati, D., Maryati, S., & Kasim, M. (2024). Identifikasi tingkat kerentanan gerakan tanah dengan menggunakan pendekatan geospasial di Kecamatan Bilato, Kabupaten Gorontalo, Provinsi Gorontalo. *Geosfera: Jurnal Penelitian Geografi*, 3(2), 104–110. <https://doi.org/10.37905/geojpg.v3i2.28510>
- Fatiatun, Firdaus, S., Jumini, & Adi, N. P. (2019). Analisis bencana tanah longsor serta mitigasinya. *Spektra: Jurnal Kajian Pendidikan Sains*, 5(2), 134–139.
- Fiantis, D. (2015). *Morfologi dan klasifikasi tanah*. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK), Universitas Andalas.
- Howard, A. D. (1967). Drainage analysis in geologic interpretation: A summation. *AAPG Bulletin*, 51(11), 2246–2259. <https://doi.org/10.1306/5D25C26D-16C1-11D7-8645000102C1865D>
- Naryanto, H. S. (2019). Analisis bahaya, kerentanan dan risiko bencana tsunami di Provinsi Papua Barat. *Jurnal Alami: Jurnal Teknologi Reduksi Risiko Bencana*, 3(1), 10–20. <https://doi.org/10.29122/alami.v3i1.3399>
- Nsengiyumva, J. B., Luo, G., Nahayo, L., Huang, X., & Cai, P. (2018). Landslide susceptibility assessment using spatial multi-criteria evaluation model in Rwanda. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2), Article 243. <https://doi.org/10.3390/ijerph15020243>
- Prastowo, R., Trianda, O., & Novitasari, S. (2018). Identifikasi kerentanan gerakan tanah berdasarkan data geologi daerah Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulonprogo, Yogyakarta. *KURVATEK*, 3(2), 31–40.1353–1359. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2019.006.2.16>
- Saputra, M. A., Rayes, M. L., & Nita, I. (2019). Pemetaan prediksi sebaran kerentanan longsor di Kecamatan Tawangmangu, Kabupaten Karanganyar menggunakan pendekatan fuzzy logic. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 6(2), 1353–1359. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2019.006.2.16>
- Sholikhhan, M., Prasetyo, S. Y. J., & Hartomo, K. D. (2019). Pemanfaatan WebGIS untuk pemetaan wilayah rawan longsor Kabupaten Boyolali dengan metode skoring dan pembobotan. *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, 5(1). <https://doi.org/10.28932/jutisi.v5i1.1588>

Van Zuidam, R. A. (1985). *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. Smits Publishers

Yassar, M. F., Nurul, M., Nadhifah, N., Sekarsari, N. F., Dewi, R., Buana, R., Fernandez, S. N., & Rahmadhita, K. A. (2020). Penerapan weighted overlay pada pemetaan tingkat probabilitas zona rawan longsor di Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2020.v1i1.13>