

## Analisis Geoteknik untuk Mengurangi Potensi Bencana Longsor di Area Tambang Nikel, Kecamatan Langgikima

### *Geotechnical Analysis to Reduce the Potential for Landslide Disasters in the Nickel Ore Mining Area in Langgikima District*

Muhammad Ilham Kadar<sup>1</sup>, La Ode Andimbara<sup>2</sup>, Al Rubaiyn<sup>2</sup>, La Ode Dzakhir<sup>3</sup>, Muh Karnoha Amir<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertambangan; Universitas Halu Oleo, Jl. H. E. A. Mokodompit, Kendari; Tlp 3194163

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Geofisika; Universitas Halu Oleo, Jl. H. E. A. Mokodompit, Kendari; Tlp 3194163

<sup>3</sup>Teknik Pertambangan; Univesitas Sembilanbelas November, Jl. Pemuda, Kolaka; Tlp + 62 (405) 2321132

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Pertambangan; Univesitas Sulawesi Tenggara, Jl. Kapten Piere Tendea, Kendari; 3128447

#### Article history:

Received: 12 April 2025

Accepted: 30 July 2025

#### Keywords:

Faktor Keamanan;

Geometri Lereng;

Rekomendasi

#### Correspondent author:

[kadarmuham](mailto:kadarmuham)

[madilham@gmail.com](mailto:madilham@gmail.com)

**Abstrak** Longsor yang umumnya terjadi pada penambangan nikel disebabkan oleh belum adanya kajian geoteknik yang dilakukan oleh perusahaan. Atas dasar pentingnya hal tersebut, penelitian ini dilaksanakan untuk menghindari potensi longsor pada area penambangan lereng. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik material fisik dan mekanik tanah laterit, rekomendasi desain kemiringan lereng yang stabil dan tingkat faktor keamanan yang optimal yang baik untuk diterapkan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa material tanah pada zona limonit memiliki densitas 12,65 kN/m<sup>3</sup>, kohesi 22,55 kN/m<sup>2</sup> dan sudut geser dalam 30,58° sedangkan material tanah pada zona saprolit memiliki densitas 12,55 kN/m<sup>3</sup>, kohesi 12,75 kN/m<sup>2</sup> dengan sudut geser dalam 28,34° serta rekomendasi desain lereng keseluruhan yang aman untuk menjaga kestabilan lereng agar tidak mengalami longsor adalah tinggi lereng  $\leq 45$  m, lebar lereng  $\geq 60$  m dan kemiringan lereng keseluruhan  $\leq 37^\circ$  sedangkan Nilai faktor keamanan yang disarankan bagi stabilitas lereng secara keseluruhan adalah  $\geq 1,1$  dengan nilai probabilitas longsor sebesar 7,80%.

**Abstract.** Landslides that commonly occur in nickel mining are caused by the absence of geotechnical studies conducted by the company. Based on the importance of this issue, this study was carried out to mitigate potential landslides in the mining slope area. The objective of this research is to determine the physical and mechanical characteristics of laterite soil, recommend a stable slope design, and establish an optimal factor of safety for practical implementation. The results of this study indicate that the soil material in the limonite zone has a density of 12.65 kN/m<sup>3</sup>, cohesion of 22.55 kN/m<sup>2</sup>, and an internal shear angle of 30.58°, while the soil material in the saprolite zone has a density of 12.55 kN/m<sup>3</sup>, cohesion of 12.75 kN/m<sup>2</sup>, and an internal shear angle of 28.34°. The recommended overall slope design to ensure slope

*stability and prevent landslides includes a slope height of  $\leq 45$  m, a bench width of  $\geq 60$  m, and an overall slope angle of  $\leq 37^\circ$ . Additionally, the recommended factor of safety for overall slope stability is  $\geq 1.1$ , with a landslide probability of 7.80%.*

© 2025 JRGI (Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia)

## 1. PENDAHULUAN (INTRODUCTION)

Pada tahun 2018, Indonesia termasuk dalam 15 negara penghasil nikel terbesar di dunia (Noor dan Ibadi, 2021). Dimana pada tahun 2018 Produksi nikel di Indonesia mencapai angka 560.000 metrik ton atau lebih tinggi dibandingkan dengan produksi nikel pada tahun 2017 yang hanya mencapai angka 345.000 metrik ton (U.S Geological Survey, 2019). berasal dari kegiatan penambangan tanah laterit berupa Limonit dan Saprolit (Prasetyo, 2016).

Kegiatan produksi nikel tersebut dalam hal ini kegiatan penggalian akan menghasilkan lereng dengan kemiringan dan geometri tertentu (Syafar dkk, 2016). Lereng yang terbentuk akibat proses produksi nikel akan beresiko mengalami bencana tanah longsor, hal ini disebabkan oleh adanya perubahan gaya yang terjadi akibat proses penggalian nikel tersebut. Apabila gaya penahan kurang dari gaya penggerak, kestabilan lereng dapat terganggu, sehingga beresiko mengalami longsor (Arif, 2016; Pane dan Anaperta (2019). Selain gaya, kestabilan lereng juga dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya geometri lereng, kondisi geologi, tingkat kejenuhan air, serta sifat fisik dan mekanik tanah (Munir, 2021 & Ganang, 2018).

Mengingat besarnya dampak yang diakibatkan oleh bencana alam tanah longsor

terhadap pekerja tambang, peralatan dan produksi (Kusuma & Wiyono, 2018), maka dibutuhkan sebuah pendekatan dan/atau kajian geoteknik untuk menjaga kondisi kestabilan dari lereng-lereng pada area penambangan, dengan demikian, pekerja di area penambangan dapat bekerja dengan aman dan nyaman (Munir, 2018).

Kajian Geoteknik dalam dunia pertambangan, khususnya pada lereng-lereng tambang adalah hal yang sangat penting (Nata dan Zulfira, 2017). Penelitian geoteknik melibatkan penyelidikan lapangan, uji laboratorium, pengolahan data geoteknik, implementasi rekomendasi desain geometri dan dimensi tambang, serta pemantauan kondisi stabilitas bukaan tambang (Kepmen ESDM 1827, 2018). Dalam penelitian ini, kajian geoteknik digunakan untuk mengoptimisasi geometri lereng yang akan digunakan dalam kegiatan penambangan agar kondisi lereng aman/stabil (Setiadi, 2020).

Penelitian ini sangat penting untuk dilakukan mengingat kegiatan penambangan bijih nikel yang dilakukan oleh sebagian besar perusahaan tambang nikel di kecamatan langgikima tidak didasari pada kajian geoteknik yang sesuai dengan kaidah pertambangan yang baik, sehingga berpotensi mengalami bencana tanah longsor yang akan berdampak pada keselamatan karyawan

dan/atau pekerja, peralatan dan produksi penambangan. Hasil penelitian ini juga dapat dijadikan pedoman dalam strategi mitigasi untuk mengurangi risiko bencana geologi di lokasi penambangan bijih nikel, dengan memanfaatkan teknologi dan manajemen bencana geologi yang telah diterapkan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Nikel adalah mineral logam yang terbentuk dari hasil proses pelapukan kimia yang terjadi pada batuan ultramafic yang menyebabkan terjadinya pengkayaan pada unsur Ni, Fe, Mn dan Co secara residual dan sekunder (Syafrizal dkk, 2011; Burger 1996; Linjewas dkk, 2019). Salah satu faktor yang mempengaruhi genesa/proses pembentukan dari endapan nikel laterit adalah morfologi, batuan asal dan tingkat pelapukan yang terjadi pada batuan (Kurniadi dkk, 2017).

Proses pembentukan nikel laterit diawali dengan proses pelapukan yang terjadi pada batuan peridotit (Sundari, 2012). Selanjutnya terjadi infiltrasi air hujan dan masuk kedalam zona retakan batuan, kemudian melarutkan mineral yang mudah larut pada batuan dasar pembentuk nikel laterit (Linjewas dkk, 2019). Secara umum kegiatan eksploitasi/kegiatan penambangan nikel diawali dengan pembersihan lahan, pengupasan dan penumpukan *top soil*, Pengupasan dan penumpukan lapisan tanah penutup, penggalian ore nikel, pemuatan dan pengangkutan ore Nikel, pencampuran/blending (jika dibutuhkan), penjualan (Sahrul dkk, 2017).

Aktivitas penambangan mineral dan batubara diruang terbuka yang berupa

kegiatan penggalian dan penimbunan akan selalu menghadapi permasalahan kestabilan lereng (Arif, 2016). Lereng yang dimaksud adalah lereng tambang aktif, lereng timbunan bijih/batubara (*stockpile*), lereng timbunan tanah penutup dan lereng bangunan infrastruktur seperti lereng jalan, lereng disekitar bangunan, serta bendungan (Arif, 2016).

Lereng-lereng tersebut perlu dianalisis kestabilannya baik pada tahapan perancangan, tahapan penambangan, maupun tahap pasca tambang untuk mencegah bahaya bencana tanah longsor diwaktu yang akan datang karena hal ini menyangkut keselamatan kerja, keamanan peralatan, dan benda lainnya, serta kelangsungan produksi (Arif, 2016; Kusuma & Wiyono, 2018).

Longsor atau gerakan tanah adalah perpindahan massa tanah dan batuan pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukannya semula (Hadiwidjono, 1992). Secara umum, di daerah tropis seperti di Indonesia, longsor pada lereng disebabkan oleh air, baik tekanan air dalam rekahan, alterasi mineral, maupun erosi dari lapisan lunak (Hantz, 1988).

Rekayasa geoteknik merupakan aplikasi rekayasa teknologi yang diterapkan pada bumi (Holtz, 1981). Geoteknik akan selalu berhubungan dengan material di permukaan bumi maupun material di bawah permukaan bumi, dalam bentuk tanah dan batuan (Arif, 2016). Untuk keperluan rekayasa, tanah dapat dijelaskan sebagai lepasan aglomerasi mineral, material organik dan sedimen dengan cairan dan gas yang mengisi rongga (Das, 2002). Perilaku dari material tanah dan batuan

dikontrol oleh kehadiran kekar, sesar, bidang diskontinu lainnya serta pengaruh air, getaran dan panas (Arif, 2016).

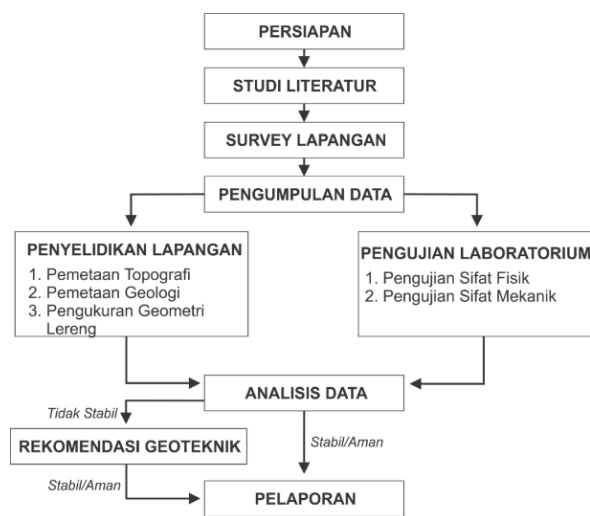
Untuk dapat menyelesaikan permasalahan geoteknik dilapangan perlu dilakukan kegiatan penyelidikan lapangan yang meliputi; Pemetaan Topografi, Pemetaan Geologi, Pengeboran/ pengambilan sampel geoteknik, Pengukuran bidang discontinu menggunakan metode *scanline* (Batuan), Pengujian mekanik tanah atau batuan secara Insitu (Arif, 2016). Selanjutnya dilakukan pengujian laboratorium menggunakan data yang diperoleh dari lapangan berupa sampel geoteknik. Pengujian laboratorium bertujuan untuk mendapatkan nilai sifat fisik (bobot isi, *Spesific gravity*, porositas, absorpsi, dan void ratio) dan sifat mekanik (kuat tekan, kuat geser, modulus young, nisbah poisson, kohesi dan sudut gesek dalam) dari tanah atau batuan yang diuji (Arif, 2016; Rai dkk, 2014).

Setelah data-data tersebut dikumpulkan, selanjutnya dilakukan pemodelan menggunakan metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method* (LEM)) dan pemodelan Numerik dengan metode elemen hingga (*Finite Element Method* (FEM)) (Arif, 2016). Setelah kegiatan pemodelan, selanjutnya dilakukan pemberian rekomendasi terhadap lereng agar terhindar dari potensi bencana longsor di area penambangan bijih nikel.

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan dilaksanakan di lokasi penambangan bijih nikel di kecamatan Langgikima, Kabupaten Konawe Utara,

Provinsi Sulawesi Tenggara. Adapun alur dari penelitian ini adalah sebagai berikut;



**Gambar 1.** Diagram prosedur penelitian

Rangkaian proses penelitian ini terdiri dari langkah-langkah berikut:

1. Tahap persiapan adalah tahap dimana peneliti mencari dan menentukan lokasi/area penambangan nikel yang terdapat di kecamatan Langgikima, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara.
2. Tahap Studi Literatur adalah tahap untuk mengumpulkan referensi dan daftar bacaan yang
3. terkait dengan judul/tema yang diangkat dalam penelitian ini, Tahap survey lapangan adalah tahapan untuk menentukan titik-titik lereng tambang yang akan diteliti,
4. Tahap Pengumpulan data adalah tahapan dimana semua data yang dikumpulkan dari hasil penyelidikan lapangan (pemetaan topografi, pemetaan geologi, dan pengukuran geometri lereng dan pengambilan sampel geoteknik untuk kebutuhan pengujian laboratorium) dan

pengujian laboratorium (sifat fisik dan mekanik dari material nikel yang diuji),

5. Tahap Analisis data adalah tahap analisis data hasil penyelidikan lapangan dan pengujian laboratorium menggunakan bantuan teknologi software dua dimensi *Limit Equilibrium Method* (LEM)

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN (*RESULTS AND DISCUSSION*)

Data berikut diperoleh dari hasil analisis pengujian sifat fisik material tanah laterit Lokasi penambangan nikel di Kecamatan Langgikima yang diperoleh dari hasil pengujian Laboratorium seperti yang ditunjukkan pada [Tabel 1](#).

**Tabel 1 .** Data hasil uji karakteristik fisik tanah laterit

No	Zona	Jenis Pengujian	Nilai	Satuan
1	Limonit	1. <i>Moisture content</i>	46,51	%
		2. <i>Spesific Grafity</i>	2,66	
		3. <i>Density</i>		
		- <i>Density Jenuh</i>	12,65	kN/m <sup>3</sup>
		- <i>Density Kering</i>	8,63	kN/m <sup>3</sup>
2	Saprolit	1. <i>Moisture content</i>	65,65	%
		2. <i>Spesific Grafity</i>	2,65	
		3. <i>Density</i>		
		- <i>Density Jenuh</i>	12,55	kN/m <sup>3</sup>
		- <i>Density Kering</i>	7,55	kN/m <sup>3</sup>

**Tabel 2** Data uji karakteristik fisik tanah laterit

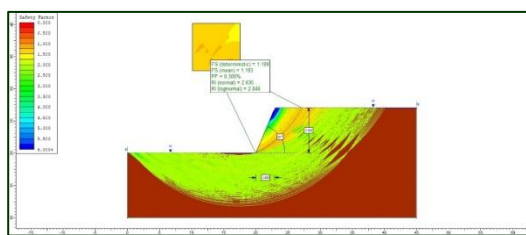
No.	Zona	Tipe Pengujian	Nilai	Satuan
1	Limonit	1. Kohesi	22,55	kN/m <sup>2</sup>
		2. Sudut Gesek Dalam	30,58	°
		3. Kuat Tekan	1,96	kN/m <sup>2</sup>
2	Saprolit	1. Kohesi	12,75	kN/m <sup>2</sup>
		2. Sudut Gesek Dalam	28,34	°
		3. Kuat Tekan	1,96	kN/m <sup>2</sup>

**Tabel 3** Hasil Evaluasi Kestabilan Lereng

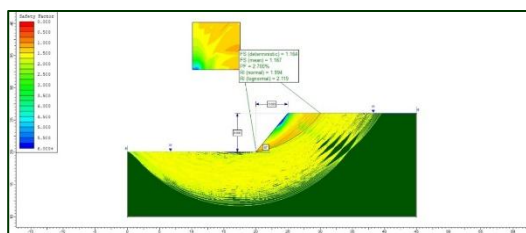
No	Lereng	Kemiringan Lereng (°)	Tinggi Lereng (m)	Lebar Lereng (m)	Faktor Keamanan	Probabilitas Kelongsoran (%)
1	Tunggal Limonit	67	7	3	1.189	0,30
2	Tunggal Saprolit	50	6	5	1.164	2,70
3	<i>Overall Slope</i>	37	46	61	1,137	7,80

## 4.1. Pengolahan Data Hasil Pengujian Sifat Mekanik Tanah

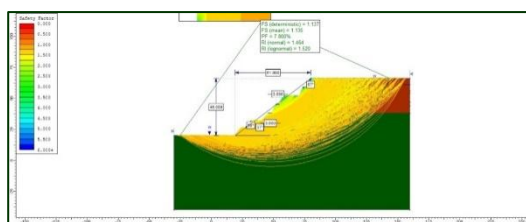
Setelah data-data hasil pengujian diolah maka diperoleh data baru berupa data sifat mekanik dari material tanah laterit. Data berikut ([Tabel 2](#)) diperoleh dari hasil analisis pengujian sifat mekanik material tanah laterit pada Lokasi Penambangan Nikel di Kecamatan Langgikima yang diperoleh dari hasil pengujian Laboratorium.



**Gambar 2.** Hasil Analisis Kestabilan Lereng Tunggal Limonit



**Gambar 4.** Hasil Analisis Kestabilan Lereng Tunggal Saprolit

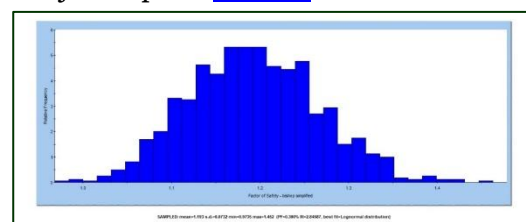


**Gambar 6.** Hasil Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan (*Overall*)

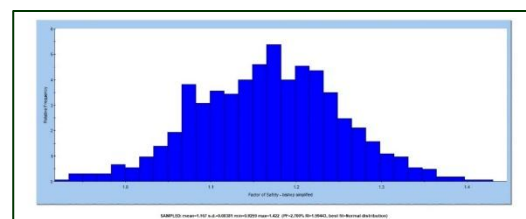
## 4.2. 2 Rekomendasi Geometri dan Dimensi Lereng

Berdasarkan hasil Analisis Kemantapan Lereng pada area penambangan nikel di kecamatan Langgikima diperoleh rekomendasi

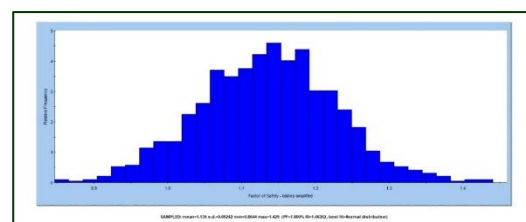
Selanjutnya data-data hasil pengujian diolah menggunakan perangkat lunak dua dimensi Limit Equilibrium Method (LEM) Slide. Analisis menggunakan perangkat lunak Slide 2D menghasilkan informasi esensial mengenai konfigurasi geometri dan faktor keamanan lereng yang dievaluasi. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak tersebut diperoleh data hasil analisis seperti yang ditunjukkan pada [Tabel 3](#).



**Gambar 3.** Hasil Analisis Probabilitas Lereng Tunggal Limonit



**Gambar 5.** Hasil Evaluasi Probabilitas Kegagalan Lereng Tunggal Saprolit



**Gambar 7.** Hasil Analisis Probabilitas Lereng Keseluruhan (*Overall*)

geometri lereng yang diuraikan sebagai berikut:

### 4.2.1. Geometri Lereng Tunggal

Dari analisis stabilitas lereng, diperoleh rekomendasi geometri lereng Tunggal ([Tabel 4](#)) yang optimal untuk keamanan untuk menjaga

kestabilan lereng agar tidak mengalami longsor adalah tinggi lereng  $\leq 6$  m, lebar lereng  $\geq 3$  m dan kemiringan lereng  $\leq 67^\circ$

#### 4.2.2. Geometri Lereng Keseluruhan (overall slope)

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng diperoleh Rekomendasi geometri lereng Keseluruhan (Tabel 5) yang aman untuk menjaga kestabilan lereng agar tidak mengalami longsor adalah tinggi lereng  $\leq 45$  m, lebar lereng  $\geq 60$  m dan kemiringan lereng keseluruhan  $\leq 37^\circ$

**Tabel 4.** Rekomendasi Geometri Lereng Tunggal

No	Lereng	Geometri
1	Tinggi Lereng	$\leq 6$ m
2	Lebar Lereng	$\geq 3$ m
3	Kemiringan Lereng	$\leq 67^\circ$

**Tabel 5.** Rekomendasi Geometri Lereng Overall

No	Lereng	Geometri
1	Tinggi Lereng	$\leq 6$ m
2	Lebar Lereng	$\geq 3$ m
3	Kemiringan Lereng	$\leq 67^\circ$

**Tabel 6.** Rekomendasi Faktor Keamanan Lereng

No	Lereng	FK Statis	Probabilitas Kelongsoran (FK $\leq 1$ )
1	Lereng Tunggal Limonit	$\geq 1.189$	0,30 %
2	Lereng Tunggal Saprolit	$\geq 1.164$	2,70 %
3	Lereng Keseluruhan	$\geq 1,137$	7,80 %

#### 4.3. Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor

Rekomendasi faktor keamanan yang diberikan untuk kegiatan disalah satu Perusahaan penambangan nikel di kecamatan langgikima ditampilkan pada Tabel 6. Berdasarkan Tabel 6, diperoleh nilai rekomendasi faktor keamanan untuk lereng tunggal pada zona limonit adalah  $\geq 1,1$  dengan nilai probabilitas kelongsoran 0,30 %, lereng Tunggal pada zona saprolite 1.1 dengan nilai probabilitas kelongsoran 2,70 % Serta faktor keamanan keseluruhan lereng mencapai  $\geq 1,1$  dengan probabilitas kelongsoran 7,80%.

## 5. KESIMPULAN (CONCLUSION)

Berdasarkan hasil penelitian di area penambangan nikel di Kecamatan Langgikima menunjukkan bahwa:

1. Tanah pada zona limonit memiliki densitas 12,65 kN/m<sup>3</sup>, kohesi 22,55 kN/m<sup>2</sup>, dan sudut geser dalam 30,58°, sedangkan tanah pada zona saprolit memiliki densitas 12,55 kN/m<sup>3</sup>, kohesi 12,75 kN/m<sup>2</sup>, serta sudut geser dalam 28,34°.

2. Geometri lereng yang direkomendasikan untuk menjaga stabilitas dan mencegah longsor adalah tinggi lereng  $\leq 45$  m, lebar lereng  $\geq 60$  m, serta kemiringan keseluruhan  $\leq 37^\circ$ . Sementara itu, faktor keamanan yang disarankan untuk lereng secara keseluruhan adalah  $\geq 1,1$  dengan probabilitas kelongsoran sebesar 7,80%..

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arif, I., 2016. Geoteknik Tambang. Gramedia Pustaka Utama. ISBN: 978-602-03-2735-8.
- Burger, P.A., 1996. Origins and Characteristic of Lateritic Deposits. Proceeding Nickel' 96 PP 179-183 the Australasian Institute of Mining and Metallurgy. Meulbourne.
- Das, B.M., 2002. *Principles of Geotechnical Engineering*. Edisi ke-5. Penerbit: Bill Stenquist. Halaman: 1-11.
- Ganang, N.M.A., Sulistianto, B., dan Karian, T., 2018. Evaluasi Longsoran Bidang di Lereng Pit Bakam PT KBK, Kabupaten Katingan, Kalimantan Tengah. *Jurnal Geomine*, Volume 6, Nomor 3, Halaman 101-108.
- Hadiwidjono, M.M.P., 1992. Falsafah Kemantapan Lereng.
- Hantz, D., 1988. *Boulonnage et Renforcement des Terrains - Konsep Dasar Perhitungan Stabilitas Lereng*. Laboratorium Mekanika Tanah, École des Mines de Nancy, Prancis
- Holtz, R., & Kovacs, J., 1981. *Dasar-Dasar Teknik Geoteknik*. Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series. ISBN: 0-13-484394-0, Hal: 1-9.
- Kurniadi, A., Rosana, F.M., Yuningsih, T.E., & Pambudi, L., 2017. Karakteristik Batuan Induk dalam Pembentukan Endapan Nikel Laterit di Wilayah Madang dan Serakaman Tengah. *Padjajaran Geoscience Journal*, 1(2).
- Kusuma, A.C., & Wiyono, B., 2015. Evaluasi Kestabilan Lereng di Pit Pajajaran PT. Tambang Tondano Nusajaya, Sulawesi Utara. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 1(1), 5-11.
- Lintjewas, L., Setiawan, I., & Kausar, A.A., 2019. Karakterisasi Endapan Nikel Laterit di Wilayah Palangga, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, 29(1), 91-104.
- Nata, R.A., & Zulfira, Z.P., 2017. Analisis Geoteknik Stabilitas Lereng di PT. Indoasia Cemerlang, Site Kintap, Kecamatan Sungai Cuka, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 17(2).
- Munir, A.S., 2018. Analisis Stabilitas Lereng dengan Program Slope/W di Pit GN-10, Pulau GAG, Kabupaten Raja Ampat, Papua Barat. *Jurnal Geomine*, 6(3), 157-162.
- Munir, A.S., Jafar, N., Anwar, H., Ajwad, M., Yusuf, F.Y., Asmiani, N., & Martireni, A.P., 2021. Evaluasi Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop di Jalan Poros Maros - Bone Kilometer 84,1, Tompo Ladang, Kabupaten Maros. *Jurnal Geomine*, 9(2), 150-167.
- Noor, R.I.R., & Ibadi, M.R., 2021. Pengaruh Percepatan Larangan Ekspor Nikel terhadap Penerimaan PNBPN dan Ekonomi Nasional. *Jurnal Anggaran dan Keuangan Negara Indonesia (AKURASI)*, 3(1), 91-115.
- Pane, R.A., & Anaperta, Y.M., 2019. Identifikasi Massa Batuan dan Analisis Stabilitas Lereng untuk Meninjau Geometri Lereng di Pit Barat Tambang Terbuka PT. AICJ, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. *Bina Tambang*, 4(3), 218-232.
- Prasetyo, P., 2016. Potensi Sumber Daya Mineral di Indonesia dengan Fokus pada Bijih Nikel Laterit serta Tantangan Pengolahannya dalam Konteks UU MINERBA 2009. *Prosiding SEMNASTEK*, 1-10.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., Wattimena, R. K., 2014. Mekanika batuan. Bandung: Penerbit ITB, 19-20.

- Republik Indonesia., 2018. Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Sahrul, Musnajam, & Asnun, 2017. Perencanaan Tahapan (Pushback) Penambangan Bijih Nikel di PT. Hengjaya Mineralindo, Kecamatan Bungku Pesisir, Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah.
- Setiadi, E., 2020. Analisis Geoteknik untuk Optimalisasi Lereng Disposal di PT. BOSS (Borneo Olah Sarana Sukses), Desa Dasaq, Kutai Barat, Kalimantan Timur. *Jurnal Ulul Albab*, 24(1): 34-40.
- Sundari, W., 2012. Evaluasi Eksplorasi Bijih Nikel Laterit untuk Estimasi Cadangan dan Perancangan Pit di PT. Timah Eksplomin, Desa Baliara, Kecamatan Kabaena Barat, Kabupaten Bombana, Sulawesi Tenggara.
- Syafar, Z., Djamaluddin, & Anshariah, 2016. Evaluasi Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop pada Aktivitas Penambangan Nikel. *Jurnal Geomine*, 4(3): 90-93.
- Syafrizal, 2011. Identifikasi Mineralogi Endapan Nikel Laterit di Wilayah Tinanggea, Kabupaten Palangga, Provinsi Sulawesi Tenggara. *JTM*, 18(4).
- U.S. Geological Survey. 2018-2019. Laporan Ringkasan Komoditas Mineral. U.S. Department of the Interior.