

SKRIPSI
PEMODELAN GEOMEKANIKA UNTUK PENENTUAN ZONA
LEMAH MENGGUNAKAN *GEOLOGICAL STRENGTH INDEX*
DAN *UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH* DI PT. BUKIT
ASAM, MUARA ENIM, SUMATERA SELATAN

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Geologi



Deni Tawaf Suharta
03071381924061

PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
JURUSAN PERTAMBANGAN DAN GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRWIJAYA
2023

HALAMAN PENGESAHAN

**PEMODELAN GEOMEKANIKA UNTUK PENENTUAN ZONA
LEMAH MENGGUNAKAN *GEOLOGICAL STRENGTH INDEX*
DAN *UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH* DI PT. BUKIT
ASAM, MUARA ENIM, SUMATERA SELATAN**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Geologi**

Palembang, 24 November 2023

Mengetahui,
Koordinator Program Studi Teknik Geologi,

Menyetujui,
Pembimbing



Dr. Idarwati, S.T., M.T.
NIP. 198306262014042001



Budhi Setiawan, S.T., M.T. Ph.D.
NIP. 197211121999031002

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir ini dengan judul "Pemodelan Geomekanika Untuk Penentuan Zona Lemah Menggunakan *Geological Strength Index* Dan *Unconfined Compressive Strength* Di PT. Bukit Asam, Muara Enim, Sumatera Selatan" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada 23 November 2023.

Palembang, 23 November 2023


Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Tugas Akhir
Ketua : Prof. Ir. Edy Sutriyono, M.Sc., Ph.D.

NIP. 195812261988111001


()
23 November 2023

Anggota : Mochammad Malik Ibrahim, S.Si., M.Eng.


NIP. 198807222019031007

()
23 November 2023

Mengetahui,
Koordinator Program Studi Teknik Geologi


Dr. Idarwati, S.T., M.T.
NIP. 198306262014042001

Palembang, 23 November 2023
Menyetujui,
Pembimbing


Budhi Setiawan, S.T., M.T. Ph.D.
NIP. 197211121999031002

HALAMAN PENYATAAN INTEGRITAS SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Deni Tawaf Suharta

NIM : 03071381924061

Judul : Pemodelan Geomekanika Untuk Penentuan Zona Lemah Menggunakan *Geological Strength Index* Dan *Unconfined Compressive Strength* Di PT. Bukit Asam, Muara Enim, Sumatera Selatan

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarisme, saya bersedia skripsi ini di gugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S1) dibatalkan, serta di proses sesuai dengan peraturan yang berlaku pada (UU No. 20 Tahun 2003 Pasal 25 Ayat 2 dan Pasal 70).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapa pun.



Palembang, 17 November 2023

Yang Membuat Pernyataan,



Deni Tawaf Suharta
NIM. 03071381924061

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah diberikan kepada penulis, karena berkat rahmat dan hidayahnya sehingga dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir “Pemodelan Geomekanika Untuk Penentuan Zona Lemah Menggunakan *Geological Strength Index* Dan *Unconfined Compressive Strength* Di PT. Bukit Asam, Muara Enim, Sumatera Selatan” sebagai persyaratan dalam penelitian tugas akhir di Program Studi Teknik Geologi Universitas Sriwijaya. Salawat serta salam tak lupa sampaikan kepada junjungan kita, nabi Muhammad SAW.

Dalam pengerjaan proposal ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Budhi Setiawan, S.T., M.T, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberi motivasi, arahan dalam membimbing hingga terselesaikannya proposal ini. Penulis sadari bahwa masih banyak kekurangan pada proposal ini sehingga sangat membutuhkan adanya saran serta kritik yang membangun agar dapat dilakukannya perbaikan. Namun penulis berharap proposal ini dapat menjadi bahan literasi atau acuan dalam penelitian geologi. Mohon maaf apabila ada kata-kata yang tidak sesuai dan kepada Allāh penulis mohon ampun. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Palembang, 17 November 2023
Penulis,



Deni Tawaf Suharta
NIM. 03071381924061

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur saya haturkan kepada Allah SWT atas segala rahmat serta karunia-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir sebagai salah satu syarat kelulusan mahasiswa Program Studi Teknik Geologi Universitas Sriwijaya dengan judul penelitian “Pemodelan Geomekanika Untuk Penentuan Zona Lemah Menggunakan *Geological Strength Index* Dan *Unconfined Compressive Strength* Di PT. Bukit Asam, Muara Enim, Sumatera Selatan”. Selain itu, dalam penyusunan dan penulisan laporan, saya mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini saya ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Dr. Idarwati, S.T., M.T sebagai Ketua Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
2. Budhi Setiawan, S.T.,M.T, Ph.D. sebagai Dosen Pembimbing Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
3. Pembimbing Akademik Budhi Setiawan, S.T.,M.T, Ph.D. dan Seluruh Dosen Program Studi Teknik Geologi yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dan saran saat menyusun Proposal Pemetaan geologi.
4. Kedua Orangtua dan keluarga saya, yang selalu memberikan doa, motivasi, dan dukungan baik secara moril dan materi sehingga laporan ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Teknik Geologi (HMTG) “Sriwijaya” yang telah membantu memberikan semangat dalam menyusun Proposal Pemetaan geologi.
6. Seluruh teman–teman Teknik Geologi Universitas Sriwijaya angkatan 2019 Program Studi Teknik Geologi.

Semoga laporan ini dapat bermanfaat untuk saya ataupun orang yang membacanya dalam melakukan kegiatan pemetaan geologi lapangan khususnya. Penulis sangat membutuhkan dukungan dan sumbangsih gagasan yang berupa kritik dan arahan yang bersifat mengembangkan. Saya ucapkan terima kasih.

Palembang, 17 November 2023
Penulis,



Deni Tawaf Suharta
NIM. 03071381924061

RINGKASAN

PEMODELAN GEOMEKANIKA UNTUK PENENTUAN ZONA LEMAH MENGGUNAKAN *GEOLOGICAL STRENGTH INDEX* DAN *UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH* DI PT. BUKIT ASAM, MUARA ENIM, SUMATERA SELATAN

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir, 23 November 2023

RINGKASAN

Proses penambangan di Banko Tengah memasuki penahapan awal dari pengolahan produksi. Namun, pada *low wall* dari galiannya masih terdapat batubara yang belum diproduksi pengaruh adanya material longsor di atasnya dan keterbatasan lahan untuk ekskavasi. Akibatnya, dibutuhkan kajian terkait Geomekanika model guna mengakuisisi area *low wall weak layer*. *Material properties* yang menjadi fokus dalam pengambilan data adalah karakteristik material lempung dari longsoran yang menutupi sebagian reposisi dari *low wall*. Analisis stabilitas lereng dikerjakan terhadap desain lereng tambang Rancangan Kerja dan Anggaran Perusahaan (RKAP) 2022 pada model pit dengan menggunakan metode *limit equilibrium* dengan Bishop disederhanakan dan probabilitas Monte Carlo *trials* dengan 200 kali simulasi. Analisis guna optimasi ini didukung dengan studi *Geological Strength Index* (GSI). Berdasarkan pemetaan geologi ditemukan Pit D berada pada Formasi Muara Enim (Tmpm) dengan litologi batubara, batupasir, batulempung dan batulanau yang memiliki. Observasi geoteknik menyingkap kondisi GSI bernilai 55 (*fair*). Uji laboratorium dengan geostatistik probabilistik menghadirkan nilai parameter uji pada material *weak layer* berupa kadar air (ω) 24,33 kohesi (C) 37,11, *unit weight* (γ) 2,68 sudut geser dalam (ϕ) 15,73, Permeabilitas (K) $2,72 \times 10^{-7}$, *void ratio* (e) 1,19 dan porositas (n) 54,27. Berpatokan pada analisis stabilitas lereng dengan 5 penampang ditemukan nilai optimal pada rekayasa geometri lereng adalah yang dikerjakan pada salah satu 5 penampang pada desain optimasi geometri lereng dilakukan dengan pembentukan 7-8 *bench* dan lebar berm 10-20 meter serta perbandingan *slope* 1:4. Desain menunjukkan variasi Faktor Keamanan (FK) dari 1,356 hingga 2,189 (stabil) dengan nilai *probability of failure* (PoF) 9,6% sampai 16,3%. Hasil analisis aktivitas tanah lempung dengan parameter indeks plastisitas terhadap perbandingan kadar air normal dinyatakan dengan persebaran jenis angka aktivitas batulempung terdapat dua jenis *Normal clays* (illite) dan *aktive clays* (montmorilonite).

Kata kunci: Geomekanika Model; Lempung; *Low wall*; Probabilitas; *Weak layer*

Mengetahui,
Koordinator Prodi Teknik Geologi,



Dr. Idarwati, S.T., M.T.
NIP. 198306262014042001

Palembang, 23 November 2023
Menyetujui,
Pembimbing



Budhi Setiawan, S.T., M.T. Ph.D.
NIP. 197211121999031002

SUMMARY

GEOMECHANICAL MODELING FOR DETERMINING WEAK ZONES USING GEOLOGICAL STRENGTH INDEX AND UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH AT PT. BUKIT ASAM, MUARA ENIM, SOUTH SUMATRA

Scientific paper in the form of a Final Project, November 14, 2023

SUMMARY

The mining process in Bangko Tengah entered the initial staging of production processing. However, on the low wall of the excavation, there is still coal that has yet to be produced due to the influence of landslide material on it and limited land for excavation. Therefore, studies on geomechanical models are required to find low-wall weak-layer areas. Material properties that are the focus of data collection are the characteristics of clay material from avalanches that partially cover the repositioning of the low wall. Slope stability analysis was carried out on the mine slope design of the 2022 Company Working Plan and Budget (RKAP) on the pit model using the limit equilibrium method with simplified Bishop and the probability of Monte Carlo trials with 200 simulations. The Geological Strength Index (GSI) study supports the optimisation analysis and indicates that Pit D in the Muara Enim Formation (Tm_{pm}) has coal, sandstone, clay, and siltstone lithology. Geotechnical observations revealed GSI conditions worth 55 (fair). Laboratory tests with probabilistic geostatistics present test parameter values in weak layer materials in the form of moisture content (ω) 24.33, cohesion (C) 37.11, unit weight (γ) ω 2.68, deep shear angle (ϕ) 15.73, permeability (K) 2.72×10^{-7} , void ratio (e) 1.19 and porosity (n) 54.27. The results of the analysis of slope stability on one cross-section of the five cross-sections carried out by optimising slope geometry engineering obtained the optimal design value of the slope geometry by forming 7-8 benches, a berm width of 10-20 meters and a slope ratio of 1:4 with a probability of failure (PoF) ranging from 9.6% to 16.3%. The results of the analysis of clay activity with the parameter of plasticity index to the ratio of normal water content show the distribution of claystone activity numbers, and there are two types of normal clays (illite) and active clays (montmorillonite).

Keywords: Clay; Geomechanical Model; Low wall; Probabilistic; Weak layer

Mengetahui,
Koordinator Prodi Teknik Geologi,



Dr. Idarwati, S.T., M.T.
NIP. 198306262014042001

Palembang, 23 November 2023
Menyetujui,
Pembimbing



Budhi Setiawan, S.T., M.T. Ph.D.
NIP. 197211121999031002

DAFTAR ISI

SKRIPSI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENYATAAN INTEGRITAS SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
UCAPAN TERIMAKASIH	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GRAFIK.....	xv
LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Maksud dan Tujuan.....	3
1.3. Rumusan Masalah.....	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Lokasi dan Ketersampaian	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	6
2.1. Geologi Regional	6
2.1.1. Tatanan Tektonik	7
2.1.2. Stratigrafi Regional	8
2.1.3. Struktur Geologi.....	11
2.1.4. Seismotektonik.....	13
2.2. Weak Layer Area	14
2.3. Longsor	14
2.4. Kelerengan	19
2.4.1. Kestabilan Lereng.....	20
2.4.2. Lereng Jenjang (<i>Bench</i>).....	23

2.5.	Indikator Tingkat Massa Batuan	24
2.5.1.	Pengukuran bidang diskontinuitas (metode scanline).....	24
2.5.2.	Geological Strength Index (GSI).....	25
2.5.3.	Pemerconto.....	30
2.6.	Metode Analisis Kestabilan Lereng.....	30
2.6.1.	Faktor Keamanan Lereng (FK)	30
2.6.2.	Probability of Failure (PoF)	32
2.6.3.	Metode Keseimbangan Batas (<i>Limit Equilibrium</i>).....	33
2.6.3.1.	Metode Bishop disederhanakan	35
2.6.3.2.	Keseimbangan lereng.....	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		37
3.1.	Langkah Awal Akuisisi data.....	39
3.1.1.	Data Primer	39
3.1.2.	Data Sekunder	40
3.2.	Analisis dan Pengolahan data	40
3.2.1.	Analisis Laboratorium.....	40
a.	<i>Sifat fisik</i>	41
b.	<i>Sifat mekanik</i>	44
c.	<i>Analisis Angka Aktivitas Batu lempung</i>	53
3.2.2.	Analisis Studio	54
a.	<i>Faktor Keamanan Lereng (FK)</i>	54
b.	<i>Analisis Probabilitas Kelongsoran (PK)</i>	55
3.2.3.	Pemodelan Lereng.....	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		60
5.1.	Pemetaan Geologi dan Geoteknik.....	60
5.1.1.	Kondisi Geologi Lokal	60
5.1.2.	Pengamatan Geoteknik.....	62
5.2.	Akuisisi Data <i>Mould</i> dan Bongkah	66
5.3.	Parameter Uji Fisik dan Mekanik.....	67
5.3.1.	Analisis Angka Aktivitas Batu lempung.....	69
5.4.	Analisis Kestabilan Lereng	70

5.4.1	Identifikasi Kondisi Aktual dan Desain Lereng.....	71
5.4.2.	Model Geometri Lereng	72
5.4.2.1	Penampang A-A'	72
5.4.2.2	Penampang B-B'	72
5.4.2.3	Penampang C-C'	72
5.4.2.4	Penampang D-D'	73
5.4.2.5	Penampang E-E'	73
BAB V KESIMPULAN		75
DAFTAR PUSTAKA.....		xviii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Peta ketercapaian daerah penelitian (Peta dasar Indonesia).....	5
Gambar 2.1. Geologi Regional Pulau Sumatera	6
Gambar 2.2. Peta tektonik dan sebaran struktur Cekungan Sumatera Selatan (Bishop, 2001)	7
Gambar 2.3. Fase Tektonik Cekungan Sumatera Selatan (Pulunggono, 1992).....	8
Gambar 2.4. (a) Stratigrafi regional Cekungan Sumatera Selatan, (b) Batubara Formasi Muara Enim terdiri dari M1 hingga M4, (c) Karakterisasi dari M2 bagian yang terendapkannya seam A1, A2, B1, B2 dan C (Modifikasi Jati dkk., 2020)..	10
Gambar 2.5. Struktur Cekungan Sumatera Selatan (A), tatanan struktur Cekungan.....	13
Gambar 2.6. Peta <i>load</i> seismik berdasarkan zonasi gempa yang pada lokasi penelitian menunjukkan nilai 0,02 (Kementerian Pekerjaan unun, 2010).....	13
Gambar 2.7. Weak layer area (A) dengan kontak area antara batu lempung dan batubara (B) serta lokasi pengambilan sampel mould dan bongkah (C)	14
Gambar 2.8. Klasifikasi pergerakan longsor (Varnes, 1978).....	16
Gambar 2.9. Terbentuknya longsor busur (Hoek & Bray, 1981). Longsor bidang (Plane Failure).....	17
Gambar 2.10. Situasi terbentuknya longsor bidang pada lereng yang dibatasi oleh tensional joint (modifikasi dari Hoek & Bray, 1981).....	17
Gambar 2.11. Skema terjadinya longsor guling pada lereng dengan gaya-gaya yang mempengaruhinya (Hoek, 2004)	18
Gambar 2.12. Mekanisme terbentuknya longsor baji (Hoek & Bray, 1981)	18
Gambar 2.13. Tampilan lereng single slope area low wall dengan kisaran 10 m yang mengalami longsor bidang, PT. Bukit Asam, Tbk.Geometri Lereng	19
Gambar 2.14. Pengaruh geometri lereng dan kehadiran bidang lemah terhadap kestabilan lereng.....	20
Gambar 2.15. Gaya-gaya yang mengontrol kestabilan suatu lereng (Karnawati, 2005)	21
Gambar 2.16. Terminologi skala tubuh lereng (Stacy and Read, 2009).....	23
Gambar 2.17. Determinasi spasi kekar dalam pengaplikasian nilai GSI dalam <i>joint volumetric</i>	24
Gambar 2.18. Alat prosedural sampling <i>hand auger</i>	30
Gambar 2.19. Gaya-gaya yang bekerja pada suatu potongan	31
Gambar 2.20. Perubahan geometri lereng berupa: a. Ketinggian jenjang; b. Kemiringan lereng (inter-ramp angle), dan c, Kemiringan overall (Andriyan dkk., 2018)	36

Gambar 2.21. Kondisi muka air tanah pada lereng (Hoek & Bray, 1981).....	37
Gambar 3.1. Diagram Alur Tahap Penelitian	38
Gambar 3.2. Geometri lereng aktual dalam penampang PT. Bukit Asam,Tbk	39
Gambar 3.3. Uji laboratorium yang diperlukan dalam tahap analisis penelitian.....	40
Gambar 3.4. A. Pengambilan sampel distrube b. dilanjutkan dengan preparasi kadar air, density, permeability, berat jenis, c. pengujian atterberg d. ukuran butir (hydrometer analysis).....	44
Gambar 3.5. Lingkaran Mohr untuk pemeriksaan Kuat Tekan Bebas.....	46
Gambar 3.6. Kurva kriteria keruntuhan Mohr- Coulomb	50
Gambar 3.7. Kriteria kegagalan Mohr – Coulomb	50
Gambar 3.8. Lingkaran Mohr	51
Gambar 3.9. Pengujian Triaxial	52
Gambar 3.10. Preparasi sampel uji sifat mekanik (A) Pengujian direct shear (B) proses triaxial (C) Uniaxial Compressive Strength (D)	53
Gambar 3.11. Gaya-gaya yang bekerja pada suatu potongan.....	55
Gambar 3.12. Konsep probabilitas kelongsoran dan besaran ketidakpastian	56
Gambar 3.13. Teknik grid & radius untuk model bidang gelincir melingkar (modifikasi dari Khran, 2004)	58
Gambar 3.14. Contoh luaran yang diharapkan pada penelitian ini yaitu model lereng, ilustrasi desain Pit D pada Bangko Tengah PT. Bukit Asam.....	59
Gambar 4.1. Peta geologi daerah penelitian Pit D.....	60
Gambar 4.2. Hasil analisis potensi jenis longsor pada <i>scanline</i>	61
Gambar 4.3. Distribusi normal nilai UCS dari sampel longsoran <i>low wall</i> pada bangko tengah berbasis probabilistik dengan mean 90,49 Kpa. Dengan simulasi anderson hurling	62
Gambar 4.4. Lokasi pengambilan <i>evidensi scanline</i>	63
Gambar 4.5. Kurva <i>Joint Volumetric</i> terhadap <i>Struktur Rating</i>	64
Gambar 4.6. Distribusi lokasi 4 titik mould dengan kedalaman 0,5 meter dan bongkah pengambilan di permukaan	66
Gambar 4.7. Distribusi normal data parameter analisis evaluasi geometri	67
Gambar 4.8. Peta sebaran angka aktivitas mineral lempung	70
Gambar 4.9. Model <i>boundary</i> stabilitas lereng terhadap objek <i>weak layer</i>	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi pergerakan longsor dan tipe pergerakan material (Varnes, 1978)...	16
Tabel 2.2. Parameter <i>Geological Strength Index</i> Tipe Umum.....	26
Tabel 2.3. Tingkat Pelapukan Dari Permukaan Suatu Bidang Kekar	28
Tabel 2.4. Rentang <i>Nilai Geological Strength Index</i>	29
Tabel 2.5. Klasifikasi keadaan lereng pada galian berdasarkan nilai FK	31
Tabel 2.6. Kriteria keparahan longsor pada lokasi penambangan (Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1827 K/30 MEM tahun 2018).....	32
Tabel 2.7. Nilai FK dan PoF pada tambang (Kepmen ESDM 1827) K/30/MEM/208).....	33
Tabel 2.8. Asumsi dan keadaan yang dipakai pada beberapa metode irisan (Khran, 2004 dalam Arif, 2016)	34
Tabel 3.1. UCS (Uniaxial Compressive Strength) After Hoek (2000)	45
Tabel 3.2. Tabel Konsistensi Tanah Lempung	47
Tabel 3.3. Parameter Tanah Lempung	47
Tabel 3.4. Alat dan Bahan Pengujian Kuat Tekan Bebas	48
Tabel 3.5. Angka Aktivitas lempung oleh Skempton (1953, dalam Hunt, 2007).....	53
Tabel 3.6. Pengklasteran jenis kandungan lempung berdasarkan perbandingan uji indeks plastisitas terhadap kadar air lempung	54
Tabel 3.7. Ambang Batas Nilai FK & PK Lereng Tambang Terbuka (SRK Consulting, 2010)	56
Tabel 4.1. Hasil Parameter <i>Surface Condition Rating Scanline</i>	64
Tabel 4.2. Hasil Kualitas Massa Batuan Lokasi Penelitian	65
Tabel 4.3. Klasifikasi GSI (modifikasi dari (H. Sonmez and R. Ulusay, 1999).....	65
Tabel 4.4. <i>Material Properties</i> hasil pengujian 4 sampel mould sebagai acuan desain kestabilan lereng	68
Tabel 4.5. <i>Material Properties</i> hasil pengujian 4 sampel bongkah sebagai acuan desain kestabilan lereng	68
Tabel 4.6. Angka Aktivitas lempung oleh (Skempton,1953).....	69
Tabel 4.7. Pengklasteran jenis kandungan lempung berdasarkan perbandingan uji indeks plastisitas terhadap kadar air lempung	69
Tabel 4.8. Nilai standar deviasi sebagai parameter <i>probability of failure</i> (PoF)	71
Tabel 4.9. Titik koordinat penampang A-A' hingga E-E'	71
Tabel 4.10. Tabulasi akhir geometri lereng (Desain RKAP 2022).....	73

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Grafik indeks plastisitas terhadap kadar air lempung	70
-------------------	--	----

LAMPIRAN

Lampiran A	Hasil pengujian prosedur analisa laboratorium sifat fisik	40
Lampiran B	Hasil pengujian prosedur analisa laboratorium sifat mekanik	40
Lampiran C	Tabulasi data <i>shear joint</i> pada penelitian <i>low wall</i> Pit D	61
Lampiran D	Tabulasi data SCR (<i>Surface Condition Rating</i>) <i>low wall</i> Pit D	64
Lampiran E	Peta rancangan penambangan titik sampel mould dan bongkah Pit D	66
Lampiran F	<i>Summary</i> analisis pengujian sifat fisik dan mekanik	68
Lampiran G	Peta rancangan penambangan section dan penampang geometri lereng....	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan merupakan tempat berpotensi bagi batubara, salah satu dari beberapa sumber daya alam yang membentuk Cekungan Sumatera Selatan, sebuah cekungan busur belakang yang memiliki potensi yang sangat besar (Pulunggono, 1992). Tiga formasi berbeda di cekungan ini Formasi Muara Enim, Formasi Air Benakat, dan Formasi Talang Akar kaya akan batubara. Karena pengaruhnya terhadap geologi lokal, struktur geologi tambang merupakan pertimbangan penting.

Penambangan batubara yang dilakukan oleh PT. Bukit Asam adalah penambangan secara terbuka (*open Pit mining*) yang akan membentuk lereng-lereng tambang (Arif, 2016). Lereng tersebut rawan longsor karena karakteristik geologi wilayah pertambangan, seperti struktur geologi, letak strata, dan jenis batuan (Akbar dkk., 2020). Ketika mempertimbangkan peran struktur geologi dalam mengurangi terjadinya tanah longsor dan laju aliran material yang memberikan sinyal perubahan volume besar, analisis kinematik untuk lereng tambang terbuka merupakan komponen yang penting.

Analisis kinematik dan peringkat massa lereng adalah metode sederhana yang digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng batuan dalam kaitannya dengan orientasi relatif bidang lemah dan permukaan lereng dalam tiga dimensi. Kedua metode tersebut telah dipraktikkan secara luas dalam berbagai aplikasi lereng batuan alami dan galian (Kamil dkk., 2021). Ketika bidang yang lemah bertepatan dengan permukaan lereng, faktor keamanannya rendah, dan terdapat potensi kegagalan lereng yang lebih besar (Yeh dkk., 2020). Demikian pula, pengaruh tekanan gempa terhadap stabilitas lereng dapat dirasakan baik pada bidang horizontal maupun vertikal. Akan tetapi, pada arah vertikal kontribusi terhadap stabilitas lereng relatif kecil, oleh karena itu hanya bobot pada arah horizontal yang akan digunakan.

Dalam produksi tambang terbuka, stabilitas lereng dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti permukaan struktural, getaran peledakan produksi, dan area penambangan (Cao dkk., 2023). Sebagian besar tambang terbuka melakukan proses peledakan pada saat penambangan dan gelombang seismik secara signifikan mempengaruhi stabilitas lereng. Sejumlah besar ahli dan cendekiawan telah melakukan penelitian yang relevan tentang dampak getaran peledakan pada lereng (Zhou dkk., 2020). Mempelajari pengaruh amplitudo dan frekuensi peledakan pada stabilitas lereng, berdasarkan teori mutasi ketidakstabilan lereng (Wu dkk., 2021).

Ketidaktelitian model dan karakteristik tanah, khususnya parameter kekuatan tanah, dapat digunakan untuk menghitung analisis stabilitas lereng. Mengingat hal tersebut, berbagai risiko kegagalan mungkin diwakili oleh faktor keamanan (FK) yang sama (Duncan dkk., 2000). Dalam melakukan studi stabilitas lereng, metode keseimbangan batas (LEM)

sering digunakan, dan salah satu metode yang digunakan untuk memperhitungkan ketidakpastian adalah pendekatan probabilistik. Untuk memberikan nilai probabilitas (PoF) yang mewakili stabilitas lereng di luar nilai faktor keamanan, pendekatan probabilistik memperlakukan karakteristik tanah masukan sebagai variabel acak dengan distribusi probabilitas yang ditentukan oleh statistik (Zhou dkk., 2020).

Banyak keruntuhan lereng di Indonesia disebabkan oleh tanah liat karena merupakan batuan yang menyusahkan (Arif, 2021). Hal ini karena tanah liat rentan terhadap pembusukan jika ada oksigen dan kelembapan. (Gouw, 2019) (Gartung, 1986) Telah dilaporkan bahwa sudut gesekan sisa tanah liat yang lapuk agak kecil. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai PoF pada kondisi lereng eksisting dan lereng dengan struktur padat cenderung gumpal guna menilai kestabilan lereng batuan yang berupa lempung. Faktor keamanan (FK) dihitung dengan menggunakan studi kestabilan lereng dengan teknik kesetimbangan batas. Selain itu, analisis sensitivitas juga dilakukan dalam penelitian ini untuk mengevaluasi pengaruh variasi nilai berat jenis tanah, sudut gesek internal efektif tanah (ϕ'), dan tekanan air pori yang mungkin disebabkan oleh fluktuasi tanah ketinggian air terhadap nilai FK.

Ketika tanah meluncur menuruni lereng, komponen tanah dan batuan termasuk puing-puing, kotoran, dan material campuran akan tergeser. Penyebab tanah longsor mencakup hal-hal yang meningkatkan atau merusak stabilitas tanah (Yassar dkk., 2020). Karena permeabilitas batuan bervariasi pada berbagai jenis, geologi memainkan peran penting dalam pengkondisian tanah longsor (Susanti dan Miardini, 2019). Demikian kata penelitian tersebut (Arif, 2021). Ciri-ciri geologi yang terputus-putus, seperti kekar, sesar, dan lipatan, mempunyai peranan dalam perkembangan jenis tanah longsor. Selain itu, faktor ketinggian meningkatkan kerentanan terhadap tanah longsor, karena dataran yang lebih tinggi seringkali lebih rentan terhadap tanah longsor (Vojteková dan Vojtek, 2020).

Akan ada biaya material dan immaterial yang terkait dengan tanah longsor yang disebabkan oleh kondisi medan yang tidak stabil. Melihat permasalahan tersebut, maka dilakukan kajian Model Geometri Lereng pada kawasan low wall Banko Tengah Tambang PT. Bukit Asam Tbk dijamin. Operasi penambangan Banko Tengah telah memulai tahap persiapan produksi. Namun karena material longsor di atasnya dan terbatasnya lahan untuk penggalian, masih terdapat batu bara di dinding rendah galian yang belum ditambang. Oleh karena itu, diperlukan penelitian model geometri lereng untuk memperoleh daerah lapisan lemah dinding rendah.

Untuk mendapatkan nilai FK (faktor keamanan) yang terbaik. Dalam melakukan optimasi, perlu mempertimbangkan kemiringan sebenarnya, medan, curah hujan, tinggi muka air tanah (MAT), kualitas material (aktual) baik dalam kondisi kering maupun basah. Dengan dilakukannya optimasi, maka dapat mengurangi dampak jumlah materiil dan non-materiil yang tidak diinginkan dalam proses pengupasan, pengangkutan dan pembuangan sehingga dapat mengurangi dari segi waktu dan biaya yang dibutuhkan dalam halnya ini

kegiatan ekstraksi dan *loading* batu bara. mengurangi waktu dan biaya yang dibutuhkan dalam halnya ini kegiatan ekstraksi dan *loading* batu bara.

1.2. Maksud dan Tujuan

Peneliti akan membahas permasalahan desain geometri lereng di lokasi penelitian:

1. Menganalisis aspek-aspek kestabilan lereng terhadap aspek geologi maupun geologi teknik.
2. Menganalisis rekomendasi hasil keseluruhan penampang gunaantisipasi terjadinya longsor di *low wall* Pit D.
3. Membangun desain geometri lereng jenjang di *low wall* Pit D.
4. Mengakuisisi data lapangan sebagai upaya identifikasi stratifikasi kualitas batuan dalam menerima perubahan sebagai acuan tingkat kelongsoran terjadi dengan analisis laboratorium UCS (*Unconfined Compressive Strength*) dan menganalisis potensi jenis longsor.
5. Menganalisis karakteristik batuan dengan metode GSI (*Geological Strength Index*).
6. Menentukan angka aktivitas batu lempung.

1.3. Rumusan Masalah

Poin permasalahan mencakup materi geometri lereng meliputi tinggi, lebar, sudut, dan bentuk lereng tersebut. Materi mekanika batuan mencakup GSI (*Geological Strength Index*), UCS (*Uniaxial Compressive Strength*), DST (*Direct Shear Test*), RMR (*Rock Mass Rating*). Sedangkan materi kestabilan lereng adalah dalam penentuan Faktor Keamanan (FK) lereng. Sehingga yang menjadi fokus penelitian ialah Faktor Keamanan lereng dan desain geometri lereng pada area PT. Bukit Asam, Tbk. Pernyataan masalah yang menginspirasi penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi geologi dan geoteknik pada lereng daerah penelitian?
2. Bagaimana kondisi penampang yang dihasilkan di Pit D?
3. Bagaimana rekomendasi model desain geometri lereng jenjang di *low wall* Pit D?
4. Bagaimana properties material yang diperoleh pada titik pengambilan sampel *mould* dan bongkah pada lokasi penelitian berdasarkan nilai UCS dan jenis potensi longsor yang terjadi pada lereng?
5. Bagaimana karakteristik batuan yang dinilai menggunakan metode GSI?
6. Bagaimana analisis angka aktivitas batu lempung?

1.4. Batasan Masalah

Luas wilayah penelitian akan dibahas berdasarkan data permukaan yang akan dikaitkan dengan kegiatan penelitian, dan penekanan penelitian akan pada tantangan yang akan dijelaskan nanti. Permasalahan dalam penelitian ini dan penelitian lainnya dibahas di bawah ini:

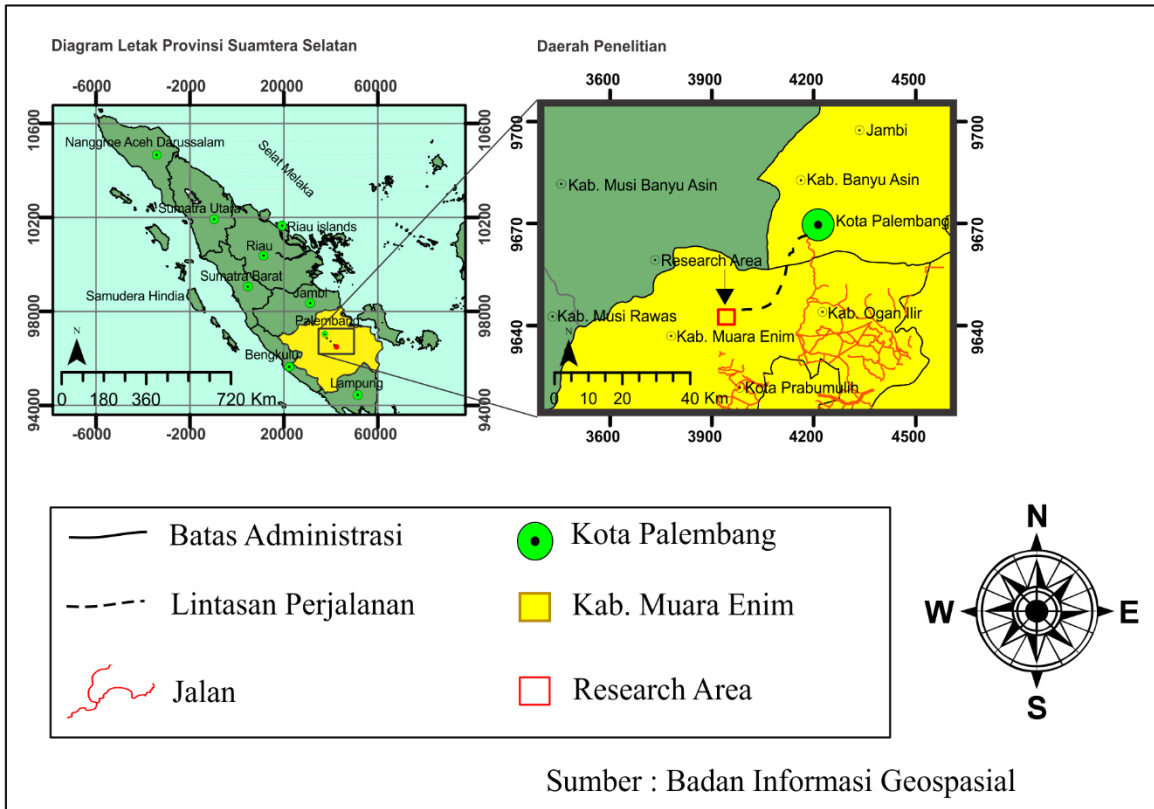
1. Secara keruangan berada di Cekungan Sumatera Selatan yang dibatasi oleh struktur lipatan sinklin yang membentang dengan orientasi barat-laut-tenggara pada lokasi penelitian dan berada di Formasi Muara Enim (Tm_{pm}).
2. Objek penelitian yang akan diselesaikan adalah menentukan nilai Faktor Keamanan (FK) lereng dan nilai PoF (*probabilitas of failure*), kemudian diinterpretasikan apakah lereng tersebut stabil atau tidak. Akhirdari penelitian ini adalah membuat model desain geometri lereng weak layer.
3. Objek pengamatan pada saat observasi lapangan yang meliputi pengukuran geometri lereng, data struktur geologi, dan stratigrafi daerah penelitian.
4. Fokus Penelitian terletak pada low wall, Bangko Tengah, PT. Bukit Asam, Tbk.
5. Model geomekanika menggunakan perangkat lunak dengan metode kesetimbangan batas.
6. Tidak mempertimbangkan faktor materiil ekonomi ataupun biaya dan non materiil ekonomi ataupun biaya.

1.5. Lokasi dan Ketersampaian

Desa Tanjung Enim berada di Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan.

Perjalanan darat dengan kendaraan roda empat dari Universitas Sriwijaya menuju Kabupaten Muara Enim memakan waktu sekitar empat jam. Selanjutnya untuk mencapai wilayah penelitian menggunakan jalur utara, yang merupakan satu-satunya pintu masuk yang dapat digunakan untuk menuju jalan utama (Gambar 1.1).

Keterangan :



Gambar 1. 1. Peta ketercapaian daerah penelitian (Peta dasar Indonesia)

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, F., Irvan, S., Dicky, M., dan Sahala, M., 2020. Jenis Longsoran Berdasarkan Bidang Diskontinuitas Pada Tambang Terbuka Batubara, Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. *Jurnal Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, Volume 18, Nomor 2, Agustus 2020: 99 – 106.
- Andriyan, Febri, dan Yuliadi. 2018. Stabilisasi Optimal Lereng Timbunan Overburden pada Area Disposal PT Insani Baraperkasa tambang Loa Janan, Provinsi Kalimantan Timur dengan Rekayasa Geoteknik. *Prosiding Teknik Pertambangan*. Vol 4. No2.
- Arab, PB, Vieira, L., de Siqueira, AFR, 2021. Perbandingan antara sistem klasifikasi SMR dan SSPC untuk penilaian stabilitas lereng batuan dalam konteks Pelotas Batholith, Canguçu, Rio Grande do Sul, Brasil. *JS Am. Ilmu Bumi*. 110, 103419.
- Arif, I. 2016. *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Arif, I. 2021. *Geoteknik Tambang 2nd*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Azizi, M A., dan Handayani, H. E., 2011, Karakteristik Parameter Masukan Untuk Analisis Kestabilan Lereng Tunggal, *Prosiding Seminar Nasional Avoer-3 Palembang*.
- Azizi, M., Kramadibrata, S., dan Attimena, I. 2014. Risk Assessment of Open Pit Slope Design at PT Adaro Indonesia. *Indonesia Mining Jurnal*. Vol. 17 No. 3 (hal. 113-121).
- Barber, A. J., Crow M. J., dan Milsom J. S., 2005, Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution, Geological Society Memoir No. 31, London: *The Geological Society*.
- Bieniawski, Z. 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineering and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering*. Wiley-Interscience.
- Bishop, A.W., 1954. *The Use of The Slip Circle in The Stability Analysis of Slope*.
- Bishop, M. G. 2001. South Sumatra Basin Province, Indonesia: The Lahat/Talang Akar-Cenozoic Total Petroleum System. Open File Report 99-50-S USGS. Colorado
- Cao, H. Ibu, G. Liu, P. Qin, X. Wu, C. dan Lu, J. 2023. Analisis Multi-Faktor pada Stabilitas Lereng Tinggi di Tambang Terbuka. *Aplikasi Sains*. 13, 5940.
- Dai, S., et al, 2020, Recognition of Peat Depositional Environments in Coal: A Review., *International Journal of Coal Geology* 219.
- De Coster, 1974, The Geology of the Central and South Sumatera Basin, *Proceeding Indonesia Petroleum Association – 3rd Annual Convention*. p.77-105.
- Duncan, J. M. 2000. Factors of safety and reliability in geotechnical engineering. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*6, 126(4), 307–316.
- Gartung, E. 1986. Excavation in hard clays of the Keuper Formation. *Symposium on Geotechnical Aspects of Stiff and Hard Clays* (pp. 69-83).

- Gouw, T. L., dan Gunawan, A. 2019. *Slope stabilization by use of geosynthetics in clay shale formation*. International Conference on Landslide and Slope Stability (pp. D1-1-D1-13).
- Hack, H.R.G.K., 1996. *Slope Stability Probability, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC)*, Netherlands, 258 pp.
- Hammah, R.E. and Yaoub, T.E. 2009. *Probabilistic Slope Analysis with the finite Element Method*. 43rd US Rock Mechanics Symposium and 4th US Canada Rock Mechanics Symposium, Asheville, ARMA 09-149.
- Hardiyatmo, H.C., 2006. *Mekanika Tanah 1*. Gadjah Mada University Press.
- Hoek, E., Bray., 2004. *Rock Slope Engginering*. Civil and Mining 4Th Edition.
- Hoek, E., Carter, T.G., and Diederichs, M.S., 2013. *Quantification of the Geological Strength Index Chart*. 47th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium.
- Hoek, E., and Marinos, P., 2000. *Predicting Tunnel Squeezing. Tunnels and Tunnelling International*. Part 1 - November 2000, Part 2 – December 2000.
- Hauksson, E. 1991. *Seismotectonics*. Reviews of Geophysics, 29 (S). pp. 721-733.
- Jati, S.N., Sutriyono, E., & Hastuti, E, W, D., 2020. Coal properties and cleat attributes at Tanjung Enim coalfield in South Palembang Sub-basin, South Sumatra., *AIP Conference Proceeding 2245*.
- Kamil, MEF. Manggadyta, AB. dan Prakoso, YF. 2021. *Penilaian kuantitatif stabilitas lereng massa batuan di area pertambangan padalarang, Indonesia menggunakan analisis RMR, SMR, dan kinematik*. Dalam: Simposium NZGS 2021, Dunedin, Selandia Baru.
- Kurniawan, A. 2014. Analisa Stabilitas Lereng Dengan Menggunakan Slope/W 2004 Untuk Bidang Gelincir Melingkar Berdasarkan Grid & Radius. *Masyarakat Ilmu Bumi Indonesia*, Vol 2/E-1.
- Krahn, J. 2004. *Stability Modeling with SLOPE/W, An Engineering Methodology*. Alberta: GEO-SLOPE/W International, Ltd.
- Lalitya, T. J. 2017. Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara Dengan Metode Probabilitas Pada *Highwall* dan *Lowwall* PIT Tania Panel 2. PT.Kaltim Prima Coal, Kalimantan Timur. *Proceeding Seminar Nasional Kebumian Ke-10*.
- Li, W. Ren, P. Li, QY dan Guo, XF. 2021. Studi mekanisme ketidakstabilan lereng tanah liat merah di bawah pengaruh kambing. Aman. *Tambang Batubara*. 52, 237–240.
- Pratama, I. T., & Arif, A. Y. 2021. Analisis numerik perkuatan lereng dengan menggunakan barisan tiang pancang dan cerucuk pada tanah clay shale di Kalimantan. *Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur Abad ke-21* (pp. 629-635).
- Pulunggono, A., Haryo, A., dan Kosuma, C.G., 1992. Pre-Tertiary and Tertiary faultsystems as a framework of the South Sumatra Basin: a study of SAR-maps, Jakarta: *Proceedings Indonesian Petroleum Association 21st Annual Convention*
- Read, J., Stacey, P., 2010. *Open Pit Slope Design*. CSIRO: Australia

- Salim, Y., Nana, D., Maryke, P., Yustika, I., Mimi S., dan M., Fauzi. 1995. Technical Study Report Remaining Potential of The South Sumatra Basin. *South Sumatra AMI Study Group*.
- Sirnipson, Lofty Rinaldi, Agus Triantoro, dan Sari Melati., 2020. Analisis Korelasi Terbuka Batubara Open Pit. *Jurnal Geosapta*, Vol. 2, 8-15
- Skempton, Alec W. 1953. The Colloidal Activity of Clays. *3rd International Conference Soil Mech found Eng*. Switzerland, vol. 1.
- Sonmez, H. and Ulusay, R. 1999. Modification to the Geological Strength Index (GSI) and Their Applicability to Stability of Slopes.
- Steffen, O.K.H., Contreras, L.F., Terbrugge, P.J., & Venter, J, 2008. A Risk Evaluation Approach for Pit Slope Design in the 42nd US Rock Mechanics Symposium and 2nd U.S. Canada Rock Mechanics Symposium: San Fransisco, ARMA 08-231.
- Susanti, P. D., dan Miardini, A. 2019. Identifikasi Karakteristik dan Faktor Pengaruh pada Berbagai Tipe Longsor. *Agritech*, 39(2), 97–107.
- Vojteková, J., dan Vojtek, M. 2020. Assessment of landslide susceptibility at a local spatial scale applying the multi-criteria analysis and GIS: a case study from Slovakia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 131–148. doi:10.1080/19475705.2020.1713233.
- Wesley, L.D., 1977. *Mekanika Tanah*. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Wu, XX. Rao, Y. Hu, dan YG Cai, CZ. 2021. Metode penentuan standar kontrol di bawah getaran peledakan berdasarkan stabilitas berhenti Eng. *Peledakan*. 27, 11–18
- Yassar, M. F., Nurul, M., Nadhifah, N., Sekarsari, N. F., Dewi, R., Buana, R., dan 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.
- Yeh, PT, Lee, KZZ, dan Chang, KT, 2020. Efek 3D permeabilitas dan kekuatan anisotropi pada stabilitas lereng batuan yang disemen lemah mengalami infiltrasi curah hujan. *Eng. Geol.* 266, 105459.
- Zhang, H., Wu, ZX Xu, S. Wu, dan CF Lv, Q. 2022. Pengaruh Zona Kerusakan Peledakan Terhadap Stabilitas Lereng Berdasarkan Kriteria Hoek-Brown. *Peledakan*. 39, 134–139
- Zhou, X., Huang, W., Li, J., dan Chen, D. 2020. Robust geotechnical design for soil slopes considering uncertain parameters. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2020/5190580>.