

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH FLUKTUASI MUKA AIR
TANAH TERHADAP STABILITAS LERENG PADA
RENCANA PENAMBANGAN BATUBARA DI PT
BIMA SHABARTUM GEMILANG *SITE* PT
BATTOMAN COAL, KABUPATEN MUSI
BANYUASIN, SUMATERA SELATAN**



**ASA NOPYTA DWI
03021182025008**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN DAN GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024**

SKRIPSI

ANALISIS PENGARUH FLUKTUASI MUKA AIR TANAH TERHADAP STABILITAS LERENG PADA RENCANA PENAMBANGAN BATUBARA DI PT BIMA SHABARTUM GEMILANG *SITE* PT BATTOMAN COAL, KABUPATEN MUSI BANYUASIN, SUMATERA SELATAN

**Dibuat Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Pertambangan dan Geologi
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



OLEH:

**ASA NOPYTA DWI
03021182025008**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN DAN GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH FLUKTUASI MUKA AIR TANAH TERHADAP STABILITAS LERENG PADA RENCANA PENAMBANGAN BATUBARA DI PT BIMA SHABARTUM GEMILANG SITE PT BATTOMAN COAL, KABUPATEN MUSI BANYUASIN, SUMATERA SELATAN

SKRIPSI

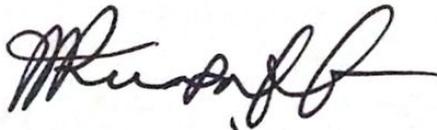
Dibuat Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik pada Jurusan Teknik Pertambangan dan Geologi
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

ASA NOPYTA DWI
03021182025008

Indralaya, Juli 2024

Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. H. Marwan Asof, DEA
NIP. 195811111985031007

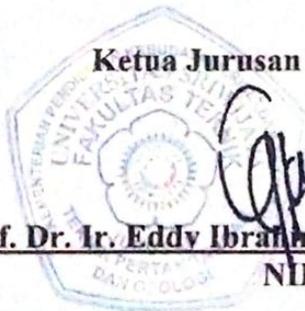
Pembimbing II



Diana Purbasari, S.T., M.T.
NIP. 198204172008122002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Pertambangan dan Geologi



Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, M.S., CP., IPU., ASEAN.Eng., APEC. Eng.
NIP. 196211221991021001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Asa Nopyta Dwi

NIM : 03021182025008

Judul : Analisis Pengaruh Fluktuasi Muka Air Tanah terhadap Stabilitas Lereng pada Rencana Penambangan Batubara di PT Bima Shabartum Gemilang Site PT Battoman Coal, Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam laporan Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.



Indralaya, Juli 2024



Asa Nopyta Dwi

NIM. 03021182025008

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Asa Nopyta Dwi

NIM : 03021182025008

Judul : Analisis Pengaruh Fluktuasi Muka Air Tanah terhadap Stabilitas Lereng pada Rencana Penambangan Batubara di PT Bima Shabartum Gemilang *Site* PT Battoman Coal, Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan

Memberikan izin kepada pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*). Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Indralaya, Juli 2024



Asa Nopyta Dwi
NIM. 03021182025008

RIWAYAT HIDUP



Asa Nopyta Dwi anak kedua dari tiga bersaudara. Lahir di Bumi Agung pada tanggal 14 November 2002. Penulis merupakan anak perempuan dari Pasangan Bapak Sugeng Lulus Widodo dan Ibu Dwi Lestari. Penulis mengawali pendidikan pertamanya pada tingkat dasar di SDN 2 Bumi Agung pada tahun 2008 – 2014. Kemudian melanjutkan pada tingkat menengah pertama di SMPN 2 Lempuing pada tahun 2014 – 2017 dan tingkat menengah atas di SMAN 1 Lempuing pada tahun 2017-2020. Pada tahun 2020 melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Atas berkat Tuhan, selama menjadi mahasiswa di Universitas Sriwijaya penulis aktif mengikuti seminar dan *workshop* baik dari internal maupun eksternal kampus. Penulis aktif dan tergabung dalam Korp Asisten Laboratorium Kimia Fisika pada tahun 2022 – 2024, Korp Asisten Laboratorium Pengolahan Bahan Galian pada tahun 2023, serta aktif pada organisasi PO Teknik Unsri Periode 2021 – 2022, dan Departemen PUSLITBANG pada Persatuan Mahasiswa Pertambangan (Permata FT Unsri) pada periode 2022 – 2023.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Ayub 42:2

“Aku tahu, bahwa Engkau sanggup melakukan segala sesuatu, dan tidak ada rencana-Mu yang gagal”

Aku bersyukur kepada-Mu ya Tuhanku untuk:
Bapak Sugeng Lulus Widodo dan Ibu Dwi Lestari
Kakakku Eka Yuni Pratiwi dan Adikku Hepy Natali Putri
Yang senantiasa mendoakanku, memberi dukungan dan mengasihiku dengan segenap hati dalam setiap langkah kehidupanku

Terimakasih kepada:

- ❖ Sobat Calon Kontrakan dan Trio LKF yang selalu mendukung dan mengapresiasi setiap usaha yang kulakukan
- ❖ Keluarga PO Teknik Unsri yang senantiasa mendoakan dan mendukung dalam setiap perjalanan kuliahku
- ❖ Rekan-rekan Azzure Miners yang menjadi saksi dan partner berjuang di bangku perkuliahan
- ❖ Seluruh orang-orang baik yang Tuhan pertemukan denganku, kiranya kasih dan berkat Tuhan senantiasa melimpahi kita

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kepada Tuhan Yesus Kristus karena berkat dan kasih-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Pengaruh Fluktuasi Muka Air Tanah Terhadap Stabilitas Lereng Pada Rencana Penambangan Batubara Di PT Bima Shabartum Gemilang Site PT Battoman Coal, Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan” selesai dengan tepat waktu. Tugas Akhir dilaksanakan pada tanggal 15 September 2023 sampai dengan 9 Februari 2024.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Prof. Dr. Ir. H. Marwan Asof, DEA dan Diana Purbasari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Laporan Tugas Akhir. Tidak lupa penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M. Si selaku rektor Univesitas Sriwijaya.
2. Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, M.S., CP., IPU., ASEAN-Eng., APEC-Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Pertambangan dan Geologi Fakultas Teknik Pertambangan Universitas Sriwijaya.
4. Semua Dosen yang telah memberikan ilmunya dan semua Staf dan Karyawan Jurusan Teknik Pertambangan dan Geologi Universitas Sriwijaya.
5. Erik Wijaya, S.T., M.T selaku Direktur Utama PT Bima Shabartum Gemilang, Wahidin Zuhri, S.T dan Panji Ridwan S.T selaku pembimbing lapangan serta seluruh Staf dan Karyawan PT Bima Shabartum Gemilang yang telah berkenan mengizinkan dan memfasilitasi penulis dalam rangka melaksanakan penelitian Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu penulis menerima adanya kritik dan saran yang membangun guna perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat berguna bagi pembaca dan penulis sendiri.

Indralaya, Juli 2024

Penulis

RINGKASAN

ANALISIS PENGARUH FLUKTUASI MUKA AIR TANAH TERHADAP STABILITAS LERENG PADA RENCANA PENAMBANGAN BATUBARA DI PT BIMA SHABARTUM GEMILANG SITE PT BATTOMAN COAL, KABUPATEN MUSI BANYUASIN, SUMATERA SELATAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, Juli 2024

Asa Nopyta Dwi; Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. Marwan Asof, DEA dan Diana Purbasari, S.T., M.T.

Analysis Of The Effect Groundwater Level Fluctuations On Slope Stability In Coal Mining Plans At Pt Bima Shabartum Gemilang Site PT Battoman Coal, Musi Banyuasin District, South Sumatra

xiv + 62 halaman, 10 tabel, 29 gambar, 4 lampiran

RINGKASAN

PT Battoman Coal merupakan salah satu perusahaan pertambangan batubara yang berlokasi di Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan yang bekerjasama dengan PT Bima Shabartum Gemilang untuk menjalankan tahap eksplorasi pemboran geoteknik. Stratigrafi PT Battoman Coal tersusun atas batu lempung, batu pasir, batu lanau, batu lempung karbonan, batu lanau karbonan, dan batubara. Analisis kondisi muka air tanah dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu *observation well* dan pengukuran dengan piezometer. Kondisi air tanah di area rencana penambangan PT Battoman Coal semakin tinggi kearah tenggara dan tekanan air pori meningkat secara signifikan antara 1 sampai 2 meter setiap hari. Metode analisis stabilitas lereng yang digunakan adalah metode Morgenstern Price dengan tipe keruntuhan Mohr-Coulomb dengan menggunakan bantuan *Software Rocscience Slide V.6* dengan memperhitungkan koefisien kegempaan daerah. Analisis dilakukan pada dua section yaitu penampang AA' dan BB' yang disimulasikan pada tiga kondisi air tanah yaitu kondisi kering, air tanah kedalaman 4,26 meter dan 28,45 meter dari permukaan lereng berdasarkan hasil pengukuran piezometer *casagrande*. Stabilitas *overall slope area highwall* pada penampang AA' dan BB' termasuk dalam kategori kritis hingga stabil dengan nilai FK antara 0,901 sampai 1,782. Rekomendasi *overall slope* dirancang sesuai dengan Kepmen ESDM 1827K tahun 2018 sehingga didapatkan *overall slope* yang stabil pada kondisi jenuh dengan nilai FK antara 1,176 sampai 1,245.

Kata Kunci : Stabilitas Lereng, Kondisi Muka Air Tanah, *Morgenstern Price*, Faktor Keamanan (FK), piezometer *casagrande*.

SUMMARY

ANALYSIS OF THE EFFECT GROUNDWATER LEVEL FLUCTUATIONS ON SLOPE STABILITY IN COAL MINING PLANS AT PT BIMA SHABARTUM GEMILANG SITE PT BATTOMAN COAL, MUSI BANYUASIN DISTRICT, SOUTH SUMATRA

Scientific Paper in the form Skripsi, July 2024

Asa Nopyta Dwi; Supervised by Prof. Dr. Ir. H. Marwan Asof, DEA and Diana Purbasari, S.T., M.T.

Analisis Pengaruh Fluktuasi Muka Air Tanah Terhadap Stabilitas Lereng pada Rencana Penambangan di PT Bima Shabartum Gemilang *Site* PT Battoman Coal, Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan

xiv + 62 pages, 10 tables, 29 pictures, 4 attachment

SUMMARY

PT Battoman Coal is a coal mining company located in Musi Banyuasin Regency, South Sumatra which collaborates with PT Bima Shabartum Gemilang to carry out the geotechnical drilling exploration stage. PT Battoman Coal's stratigraphy is composed of claystone, sandstone, siltstone, carbonaceous claystone, carbonaceous siltstone, and coal. Analysis of ground water level conditions was carried out using two methods, namely observation well and measurements with a piezometer. Groundwater conditions in the PT Battoman Coal mining plan area are getting higher in the direction of southeast and pore water pressure increases significantly between 1 and 2 meters every day. The slope stability analysis method used is the Morgenstern Price method with the Mohr-Coulomb failure type using assistance Software Rocscience Slide V.6 taking into account the regional seismicity coefficient. The analysis was carried out on two sections, namely sections AA' and BB', which simulated three groundwater conditions, namely dry conditions, groundwater depth of 4.26 meters and 28.45 meters from the slope surface based on the results of piezometer measurements. Stability Overall slope area high wall on sections AA' and BB' are included in the critical to stable category with FK values of 0,901 to 1,782. Recommendation Overall slope designed in accordance with Kepmen ESDM 1827K/MEM/2018 so that it is obtained overall slope which is stable in saturated conditions with FK values of 1,176 to 1,245.

Keywords: Slope Stability, Ground Water Level Condition, Morgenstern Price, Safety Factor (FK), Casagrande piezometer.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
RINGKASAN	x
SUMMARY	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Material Pembentuk Lereng	4
2.1.1 Pengeboran Geoteknik	5
2.1.2 Parameter Geoteknik.....	6
2.2 Pemantauan Muka Air Tanah	8
2.2.1 Piezometer <i>Casagrande</i>	9
2.2.2 <i>Observation Well</i>	11
2.3 Analisis Stabilitas Lereng	11
2.3.1 Geometri Lereng	12
2.3.2 Metode Morgenstern Price.....	14
2.3.3 Kriteria Keruntuhan Linear Mohr-Coulomb.....	15

2.3.4	Getaran atau Percepatan Gempa Lokal	16
2.4	Rekomendasi <i>Overall Slope</i>	19
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		21
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	21
3.1.1	Lokasi Penelitian.....	21
3.1.2	Waktu Penelitian.....	22
3.2	Tahapan Penelitian	22
3.2.1	Studi Literatur	22
3.2.2	Orientasi Lapangan	23
3.2.3	Pengambilan Data	23
3.2.4	Pengolahan Data dan Analisis Data	24
3.2.5	Bagan Alir Penelitian	27
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1	Kondisi Geologi dan Parameter Geoteknik PT Battoman Coal	29
4.1.1	Kondisi Geologi Lokal PT Battoman Coal	29
4.1.2	Parameter Geoteknik.....	34
4.1.3	Percepatan Gempa Daerah.....	35
4.2	Kondisi Muka Air Tanah PT Battoman Coal	36
4.2.1	Kondisi Muka Air Tanah berdasarkan <i>Observation Well</i>	37
4.2.2	Kondisi Muka Air Tanah berdasarkan Pizometer.....	38
4.3	Pengaruh Fluktuasi Muka Air Tanah terhadap Stabilitas Lereng <i>Highwall</i> PT Battoman Coal.....	41
4.3.1	Kondisi Stabilitas Lereng <i>Highwall</i> Penampang AA'	42
4.3.2	Kondisi Stabilitas Lereng <i>Highwall</i> Kondisi Penampang BB'	44
4.4	Rekomendasi <i>Overall Slope Area Highwall</i>	48
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		50
5.1	Kesimpulan.....	50
5.2	Saran	51
DAFTAR PUSTAKA		52
LAMPIRAN.....		54

DAFTAR TABEL

	Halaman
2. 1	Besaran sudut geser dalam tanah (Bowles JE, 1989)..... 6
2. 2	Nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran berdasarkan Kepmen ESDM No.1827 K/30/MEM/2018 20
3. 1	Uraian Jadwal Kegiatan Penelitian 22
3. 2	Matrix Penelitian 25
4. 1	Sifat Fisik Material PT Battoman Coal 34
4. 2	Sifat mekanik material PT Battoman Coal..... 35
4. 3	Hasil pengukuran muka air tanah menggunakan piezometer <i>casagrande</i> di PT Battoman Coal 41
4. 4	Hasil Analisis Stabilitas lereng dengan kondisi air tanah berdasarkan pengukuran piezometer <i>casagrande</i> 44
4. 5	Hasil analisis stabilitas lereng <i>highwall</i> yang direncanakan oleh PT Battoman Coal..... 46
4. 6	Rekomendasi geometri lereng <i>highwall</i> PT Battoman Coal 48

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2. 1	Klasifikasi massa batuan berdasarkan nilai kuat tekan 4
2. 2	Kondisi muka air tanah pada lereng <i>open pit</i> berdasarkan Hoek dan Bray (dalam Rafli, A., 2019)..... 9
2. 3	Pemantauan air tanah dengan piezometer <i>cassagrande</i> (Mihalinec, 2013) 10
2. 4	Skema <i>observation well</i> (Dunncliff, 1988) 11
2. 5	Bagian-bagian lereng (Hustrulid, Kutcha, & Martin, 2013) 12
2. 6	Geometri <i>catch bench</i> atau <i>safety berm</i> (Hustrulid, Kutcha, & Martin, 2013)..... 13
2. 7	<i>Overall slope</i> (Hustrulid, Kutcha, & Martin, 2013)..... 14
2. 8	Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb (Das, Braja M & Sobhan, Khaled, 2018)..... 16
2. 9	Peta zona kegempaan Indonesia (Kementerian Pekerjaan Umum, 2017). 17
2. 10	Input data <i>software</i> Roclab v.1.0..... 18
2. 11	Input data parameter geoteknik dengan menggunakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb pada <i>software</i> Rocscience Slide V.6.0 19
3. 1 Peta Kesampaian Daerah PT Battoman Coal (PT Bima Shabartum Gemilang, 2023)..... 21
3. 2	Bagan alir penelitian..... 28
4. 1	Peta Geologi Regional PT Battoman Coal 30
4. 2	Peta lokasi pengeboran geoteknik PT Battoman Coal 31
4. 4	Penampang AA' pada titik GT-01..... 33
4. 5	Penampang BB' pada titik GT-03 34
4. 6	Peta Zonasi Gempa Indonesia (Kementerian Pekerjaan Umum, 2017).... 36
4. 7	Peta Persebaran muka air tanah berdasarkan pemantauan dengan metode <i>Observation Well</i> di PT Battoman Coal 38
4. 8	Pizometer <i>Casagrande</i> dan kegiatan pemantauan muka air tanah pada PT Battoman Coal..... 39

4. 9	Grafik tekanan air pori terhadap waktu pengukuran piezometer casagrande	40
4. 10	Kondisi stabilitas lereng keseluruhan area <i>highwall</i> penampang AA' dengan kedalaman air tanah 4,26 meter	42
4. 11	Kondisi stabilitas lereng <i>highwall</i> penampang AA' pada kedalaman air tanah 28,45 meter dari permukaan lereng	43
4. 12	Kondisi stabilitas lereng <i>highwall</i> penampang AA' pada kondisi kering .	43
4. 13	Kondisi stabilitas lereng <i>highwall</i> penampang BB' pada kondisi muka air tanah 4,26 meter	45
4. 14	Kondisi stabilitas lereng <i>highwall</i> penampang BB' pada kondisi muka air tanah 28,45 meter dari permukaan lereng	45
4. 15	Kondisi stabilitas lereng <i>highwall</i> penampang BB' pada kondisi kering .	46
4. 16	Grafik pengaruh kondisi muka air tanah terhadap nilai faktor keamanan PT Battoman Coal.....	47

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Data hasil uji laboratorium	54
B. Data kohesi dan sudut geser dalam Roclab V.1	56
C. Data hasil pengukuran air tanah menggunakan <i>observation well</i> dan Piezometer	60
D. Rekomendasi geometri lereng <i>highwall</i> PT Battoman Coal	62

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Battoman Coal merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan batubara yang berlokasi di Desa Bandarjaya, Kecamatan Sekayu, Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan dengan luas IUP sebesar 12.670 Ha. PT Battoman Coal berkerjasama dengan PT Bima Shabartum Gemilang dalam tahap eksplorasi pengeboran geoteknik untuk mengkaji kondisi geoteknik, hidrologi dan hidrogeologi area rencana penambangan.

Aktivitas pengeboran geoteknik PT Battoman Coal dilakukan pada empat titik yang tersebar di area rencana penambangan. Material penyusun lereng pada rencana penambangan PT Battoman Coal didominasi oleh batu lempung. Dimana menurut Chen (1975), batu lempung terdiri dari tiga mineral yaitu montmorillonite, illite, dan kaolinite. Batu lempung umumnya didominasi oleh mineral montmorillonite yang menyebabkan sifat ekspansif pada batuan, karena mempunyai luas permukaan yang lebih besar dan mudah menyerap air dalam jumlah banyak. Batu lempung yang bersifat ekspansif akan menyebabkan penambahan volume dan gaya tekan pada batuan sehingga daya dukung batuan akan menurun yang mengakibatkan stabilitas lereng akan terganggu. Pada area rencana penambangan PT Battoman terdapat aliran anak Sungai Putih yang menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kondisi muka air tanah pada area penelitian yang juga akan mempengaruhi kondisi stabilitas lereng sehingga perlu dilakukannya kegiatan pemantauan air tanah.

Kegiatan pemantauan air tanah pada PT Battoman Coal menggunakan dua metode yaitu *observation well* dan piezometer. Kegiatan ini dilakukan untuk mengetahui kondisi muka air tanah yang meliputi ketinggian, elevasi, dan persebaran air tanah. Perubahan ketinggian muka air tanah yang cukup signifikan pada lereng tentunya akan menimbulkan gaya angkat (*uplift force*) dan menurunkan kekuatan massa batuan penyusun lereng. Ketinggian muka air tanah (MAT) akan selalu berubah tergantung dengan kondisi curah hujan dan daerah aliran sungai di

area penambangan. Perubahan ketinggian MAT ketika curah hujan tinggi dan rendah ini disebut dengan fluktuasi muka air tanah.

Analisis stabilitas lereng pada PT Battoman Coal dilakukan pada desain *overall slope* area *highwall* pada penampang AA' dan penampang BB' yang dilakukan pada kondisi pseudostatik dan mempertimbangkan kondisi muka air tanah aktual berdasarkan pengukuran di lapangan. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh fluktuasi muka air tanah terhadap stabilitas lereng tambang sehingga dapat diketahui stabilitas lereng dan geometri *overall slope* yang aman untuk PT Battoman Coal. Kondisi stabilitas lereng dikatakan aman apabila memiliki nilai FK paling minimum, yaitu $FK \geq 1,1$ pada kondisi pseudostatik menurut Kepmen ESDM 1827K/MEM/2018. Atas dasar tersebut penulis melakukan penelitian dengan judul "Pengaruh Fluktuasi Muka Air Tanah terhadap Stabilitas Lereng pada Rencana Kegiatan Penambangan Batubara di PT Battoman Coal, Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan". Hasil penulisan laporan tugas akhir ini dapat dijadikan referensi dalam merancang *overall slope* di daerah penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi geologi dan parameter geoteknik area rencana penambangan batubara PT Battoman Coal?
2. Bagaimana kondisi muka air tanah pada area rencana penambangan PT Battoman Coal berdasarkan pengukuran *observation well* dan *piezometer*?
3. Bagaimana kemampuan stabilitas lereng *highwall* ditinjau dari variasi kondisi muka air tanah pada kondisi pseudostatik di PT Battoman Coal?
4. Bagaimana rekomendasi *overall slope* yang aman berdasarkan perhitungan nilai FK yang telah dilakukan sebelumnya?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada fluktuasi muka air tanah area *highwall* di PT Battoman Coal.

2. Pengeboran geoteknik dilakukan untuk mendapatkan data deskripsi secara geologi dan geoteknik untuk mendapatkan data deskripsi tanah atau batuan dan *sample* untuk uji sifat fisik di laboratorium.
3. *Software Roclab V.1* hanya digunakan untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) dengan kriteria Mohr Coulomb.
4. Analisis stabilitas *overall slope* hanya dilakukan dengan variasi muka air tanah berdasarkan pengukuran piezometer pada kondisi pseudostatik berdasarkan koefisien kegempaan daerah menurut peta zonasi kegempaan Indonesia menurut Kementerian PUPR tahun 2017.
5. Rekomendasi geometri lereng hanya dilakukan berdasarkan standar nilai faktor keamanan menurut KEPMEN ESDM 1827K/MEM/2018.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisis kondisi geologi dan parameter geoteknik area rencana penambangan batubara PT Battoman Coal berdasarkan data hasil pemboran geoteknik.
2. Menganalisis kondisi fluktuasi muka air tanah pada area *highwall* di PT Battoman Coal berdasarkan pengukuran *observation well* dan *piezometer*.
3. Menganalisis stabilitas lereng *highwall* ditinjau dari variasi kondisi muka air tanah pada kondisi pseudostatik di PT Battoman Coal.
4. Merekomendasi batas *overall slope* yang aman berdasarkan perhitungan nilai FK yang telah dilakukan sebelumnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

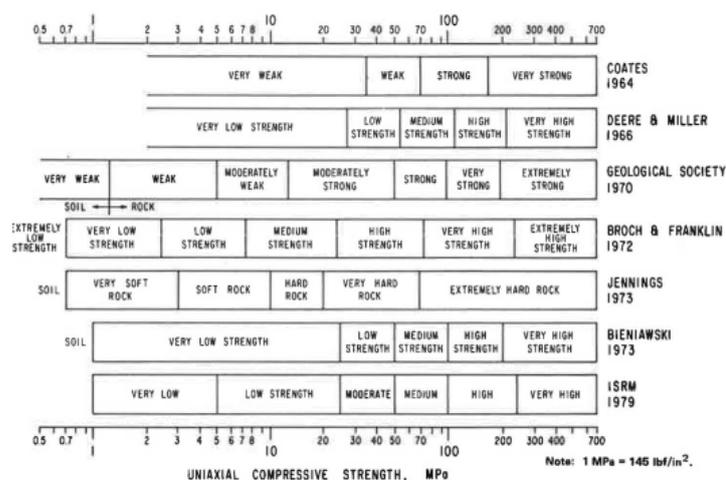
1. Memberikan referensi acuan kepada perusahaan mengenai desain *overall slope* pada kondisi *saturated* yang aman diterapkan pada area rencana penambangan batubara PT Battoman Coal.
2. Pembelajaran dalam ilmu bidang pertambangan untuk merencanakan dan merekomendasikan desain *overall slope* yang aman baik secara teknis dan ekonomi serta memberikan wawasan mengenai stabilitas lereng.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Pembentuk Lereng

Lereng merupakan bidang di atas permukaan tanah yang menghubungkan permukaan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah (Handayani, Wulandari, & Wulan, 2014). Dalam bidang teknik lereng dapat dibedakan menjadi dua yaitu lereng alami dan lereng buatan. Menurut material pembentuknya lereng dapat dibedakan atas lereng tanah dan lereng batuan. Umumnya material lereng tambang merupakan gabungan antara material tanah dan batuan. Analisis stabilitas dan penentuan jenis tindakan pengamanan lereng batuan akan berbeda dengan lereng tanah karena parameter material dan jenis penyebab longsor pada kedua jenis material pembentuk lereng tersebut sangat jauh berbeda (Romana, dalam Arif 2021).

Batuan didefinisikan oleh ahli teknik sipil dan geoteknik sebagai formasi keras dan kompak dari kuit bumi, sedangkan tanah merupakan material hasil pelapukan batuan dengan ukuran butir yang terdiri dari *clay* hingga *boulders*. Menurut ISRM, 1979 dan Bienawski, 1973 material dengan nilai kuat tekan > 2 MPa termasuk kategori batuan (Gambar 2.1).



Gambar 2. 1 Klasifikasi massa batuan berdasarkan nilai kuat tekan

Kestabilan lereng dipengaruhi oleh faktor geometri lereng, air (hidrologi dan hidrogeologi), struktur bidang lemah batuan, getaran, dan sifat fisik dan mekanik batuan. Menurut (Arif, 2021) dalam keadaan alamiah, tanah dan batuan umumnya berada dalam keadaan seimbang terhadap gaya luar dan dalam yang berkerja terhadap material tersebut. Keseimbangan material akan terganggu apabila terdapat perubahan terhadap keseimbangan tersebut sehingga batuan atau tanah akan mengalami longsor hingga material tersebut mencapai keseimbangannya. Jenis dan karakteristik material pembentuk lereng dapat diketahui melalui pengeboran geoteknik dan pengujian sifat fisik dan mekanik material.

2.1.1 Pengeboran Geoteknik

Pengeboran geoteknik dilakukan dengan tujuan mendapatkan data perlapisan tanah dan batuan dibawah permukaan, jenis, serta kondisi tanah dan batuan pada daerah yang akan diteliti. Hasil pengeboran geoteknik akan disusun dalam bentuk bor-log. Menurut (Didiek Djawardi, dalam Arif 2021) data yang diperoleh dari pengeboran geoteknik terdiri dari data elevasi permukaan tanah, kedalaman lubang bor untuk mengetahui pergantian tanah dan batuan, deskripsi tanah dan batuan, titik pengambilan contoh tanah dan batuan, *sample recovery*, dan penetrasi yang menunjukkan tingkat kekerasan suatu tanah. Pemilihan metode pengeboran yang dipakai dalam proses pengambilan contoh (*sample*) tergantung pada ganesa endapan, kedalaman, dan tipe batuan. Contoh yang diambil dari proses pengeboran geoteknik kemudian akan dilakukan pengujian laboratorium sesuai dengan kebutuhan data.

Metode pengeboran geoteknik yang umum digunakan untuk batubara adalah metode pengeboran *ful coring*. Metode *full coring* merupakan metode pengeboran yang dilakukan dengan melakukan pengambilan contoh inti batuan mulai dari awal hingga akhir pengeboran. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan contoh yang representatif, mengetahui kualitas batubara dan untuk keperluan pengujian laboratorium (Sundoyo & Orlanda, 2020).

2.1.2 Parameter Geoteknik

Karakteristik fisik dan mekanik tanah atau batuan adalah salah satu faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng karena berkaitan dengan nilai kekuatan geser. Kelongsoran yang terjadi pada lereng merupakan keruntuhan akibat keruntuhan geser. Oleh karena itu, dalam analisis stabilitas lereng tanah atau batuan, penting untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik yang mempengaruhi kekuatan geser batuan tersebut. Sifat fisik batuan terdiri dari bobot isi (γ), porositas, permeabilitas, kadar air, *void ratio*, dan derajat kejenuhan. Sedangkan sifat mekanik batuan meliputi kuat tekan, sudut geser dalam, kohesi, kuat tarik, batas elastis, modulus *young*, dan *passion ratio*. Untuk mengetahui sifat mekanik batuan dapat dilakukan melalui uji kuat tekan (UCS), uji kuat tarik (*Brizilian Test*), uji kuat geser langsung (*direct shear test*), uji triaxial, dan uji *point load*.

Menurut Hoek & Bray Sifat fisik dan mekanik tanah dan batuan yang merupakan parameter dalam melakukan analisis kestabilan lereng sebagai berikut.

1. Sudut geser dalam (ϕ)

Sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk dari hubungan tegangan normal dengan tegangan geser dalam material tanah. Sudut geser dalam merupakan sudut geser yang terbentuk jika suatu material dikenakan tegangan yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih kuat menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya. Besaran sudut geser dalam berkaitan dengan tingkat kepadatan suatu jenis tanah (Tabel 2.1). Untuk mengetahui nilai sudut geser dalam harus dilakukan uji geser langsung dan uji triaksial.

Tabel 2. 1 Besaran sudut geser dalam tanah (Bowles JE, 1989)

Tingkat Kepadatan	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Sangat lepas	< 30
Lepas	30 – 45
Agak padat	35 – 40
Padat	40 – 45
Sangat padat	>45

2. Kohesi (c)

Kohesi adalah gaya tarik menarik antar partikel dalam tanah atau batuan yang dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Bila nilai kohesi semakin besar maka semakin besar juga nilai kuat geser dari tanah tersebut. Kohesi dan kuat geser berbanding lurus, sehingga dapat dibuat lereng dengan sudut kemiringan yang besar untuk nilai keamanan yang sama. Nilai kohesi didapat dari hasil analisis laboratorium yaitu uji kuat geser langsung dan uji triaxial. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai kohesi suatu material adalah kerapatan dan jarak antar partikel dalam material.

3. Bobot isi (γ)

Bobot isi batuan dipengaruhi oleh kadar air dalam batuan tersebut. Semakin tinggi kandungan air dalam batuan maka nilai bobot isi semakin besar dan beban yang ditanggung badan lereng semakin besar. Sebaliknya, semakin rendah kandungan air dalam batuan, bobot isinya akan semakin kecil sehingga bebannya semakin kecil. Adapun keterkaitan antara bobot isi dengan faktor keamanan adalah semakin besar nilai bobot isi suatu batuan maka nilai faktor keamanannya semakin kecil dan semakin kecil nilai bobot isi maka nilai faktor keamanannya semakin besar, dengan kondisi ketinggian dan kemiringan lereng dan nilai properti material lain seperti kohesi dan sudut geser dalam adalah sama. Nilai bobot isi batuan didapat dari uji sifat fisik di laboratorium. Nilai bobot isi batuan dikelompokkan menjadi tiga yaitu bobot isi asli (γ_n), bobot isi kering (γ_d) dan bobot isi basah (γ_w).

$$\text{Bobot isi asli } (\gamma_n) = \frac{W_n}{W_w - W_s} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\text{Bobot isi kering } (\gamma_d) = \frac{W_o}{W_w - W_s} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\text{Bobot isi basah } (\gamma_w) = \frac{W_w}{W_w - W_s} \dots \dots \dots (2.3)$$

4. Nilai kuat geser

Kuat geser batuan adalah perlawanan internal batuan terhadap tegangan yang bekerja sepanjang bidang geser dalam batuan tersebut yang dipengaruhi oleh

faktor intrinsik dan faktor eksternal. Untuk mengetahui kuat geser batuan pada tegangan normal tertentu dilakukan uji kuat geser yang menggunakan contoh uji minimum sebanyak empat buah. Kuat geser batuan merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng. Kriteria keruntuhan geser yang paling banyak digunakan adalah kriteria Mohr-Coulomb (Persamaan 2.4).

$$\tau = c + \sigma_n (\tan \Phi) \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

τ = kuat geser

c = kohesi

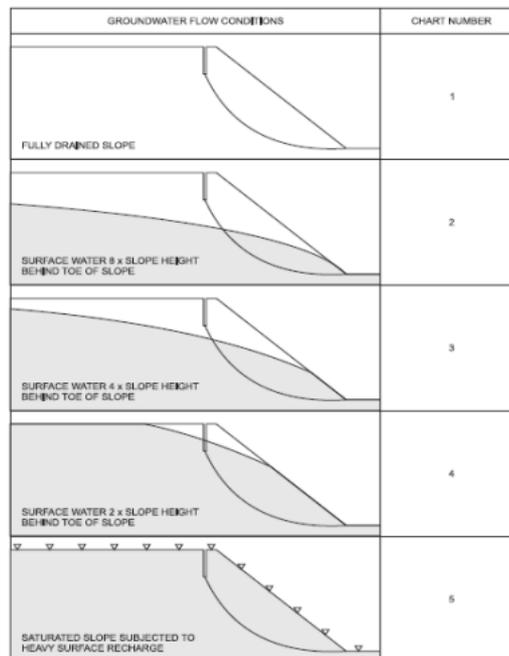
σ_n = tegangan normal

Φ = sudut geser dalam

2.2 Pemantauan Muka Air Tanah

Menurut UU Nomor 7 tahun 2004 tentang sumber daya air, air tanah adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah. Keberadaan air tanah pada lereng diakibatkan oleh adanya tekanan air pori. Tekanan air pori didefinisikan sebagai tekanan air tanah yang terjadi di pori-pori (porositas) batuan atau tanah (Firmanda, 2020). Tekanan air pori dapat menimbulkan gaya angkat (*uplift force*) dan menurunkan kekuatan suatu massa batuan penyusun lereng. Kondisi muka air tanah pada lereng dipengaruhi oleh porositas dan permeabilitas batuan penyusun lereng serta faktor eksternal seperti curah hujan.

Hoek dan Bray (1891) membagi kondisi muka air tanah dalam tubuh lereng menjadi lima jenis. Penentuan kondisi muka air tanah didasarkan pada kondisi resapan air yaitu kondisi kering, lembab, basah, menetes dan mengalir. Kelima kondisi air tanah tersebut kemudian digambarkan menjadi lima diagram dari kondisi kering hingga jenuh oleh Hoek dan Bray (1981) (dalam Read & Stacey, 2009) seperti yang terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Kondisi muka air tanah pada lereng open pit berdasarkan Hoek dan Bray (dalam Rafli, A., 2019)

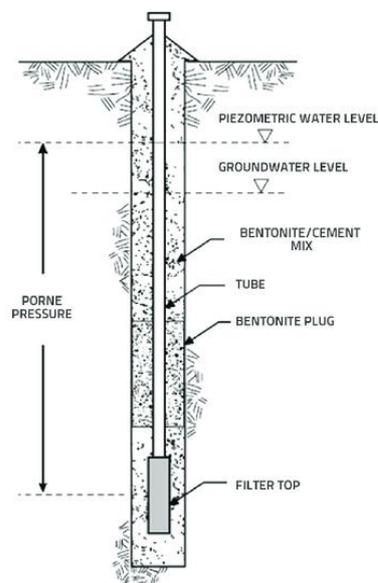
Kegiatan pemantauan air tanah dilakukan untuk mengetahui level muka air tanah dalam lereng tambang dan timbunan ketika musim kemarau dan musim hujan. Data kegiatan pemantauan air tanah dilakukan secara periodik untuk mengetahui fluktuasi muka air tanah. Kegiatan pemantauan air tanah disertai dengan pemantauan curah hujan. Kegiatan pemantauan muka air tanah dapat dilakukan dengan menggunakan piezometer. Berdasarkan prinsip kerjanya piezometer dibedakan menjadi dua jenis yaitu sistem tertutup dan sistem terbuka. Piezometer sistem tertutup terdiri dari piezometer pipa ganda hidraulik, piezometer pneumatik, dan piezometer elektrik sedangkan piezometer sistem terbuka terdiri dari piezometer casagrande dan sumur observasi (*observation well*) (PUPR, 2017).

2.2.1 Piezometer Casagrande

Piezometer casagrande merupakan jenis alat yang paling sering digunakan karena efektif dan ekonomis untuk mengukur tekanan air pori. Adapun prinsip kerja piezometer adalah air masuk melalui bagian pipa yang ujung bawahnya berpori (*casagrande*) dengan diameter 20 mm yang berisi pasir penyaring dengan ukuran

no.20 dan tertahan pada ukuran no. 40 yang bisa dilewati air (tanpa membawa butiran tanah). Pemasangan alat ini dilengkapi dengan pipa PVC sebagai pelindung dan diisi dengan bentonit hingga permukaan. Pegisian bentonit bertujuan untuk menjaga air tanah hanya masuk melalui *standpipe* (Gambar 2.3). Pemasangan piezometer biasanya diletakkan pada lubang bekas pemboran. Tekanan air pori dihitung sebagai perbedaan elevasi muka air di dalam pipa dengan elevasi ujung piezometer yang diukur secara manual menggunakan alat ukur *water level meter* yang akan berbunyi apabila ujung batangnya menyentuh air (PUPR, 2017).

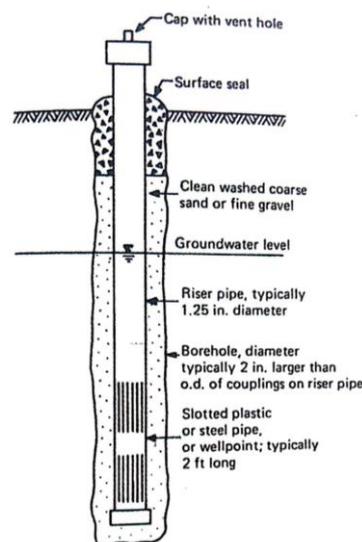
Tekanan air pori merupakan penyebab adanya rembesan pada tubuh lereng akibatnya stabilitas lereng akan menurun. Peningkatan kandungan air di dalam tubuh lereng akan menurunkan kepadatan dan kekuatan geser (kohesi dan sudut geser) antar partikel tanah sehingga stabilitas menurun. Konsentrasi air dalam lapisan tanah dapat mengurangi nilai kohesi dan sudut geser dalam sehingga kekuatan gesernya berkurang. Aliran air juga dapat juga menyebabkan erosi sehingga keseimbangan lereng menjadi tidak stabil (Sari, Undayani, dkk., 2016). Tekanan air tanah dapat mengalami perubahan ketika musim kemarau dan musim hujan. Pengukuran tekanan air pori dilakukan dengan piezometer.



Gambar 2. 3 Pemantauan air tanah dengan piezometer *cassagrande* (Mihalinec, 2013)

2.2.2 Observation Well

Observation well merupakan istilah yang diberikan untuk suatu lubang bor yang telah dikonstruksi sedemikian rupa sehingga air tanah pada level-level tertentu atau keseluruhan dapat masuk ke dalamnya dan fluktuasinya dapat diamati (Arif, 2021). Perubahan data ketinggian air pada sumur observasi dapat digunakan untuk menentukan apakah akuifer di bawah permukaan terhubung dengan akuifer lain baik dibawah maupun diatas permukaan. Hasil pengukuran *observation well* yang dilakukan dibeberapa titik dalam waktu bersamaan dapat menunjukkan persebaran air tanah. Dari sumur observasi (Gambar 2.4) dapat dilakukan uji pompompaan (*pumping test*) sehingga parameter hidrolis seperti koefisien permeabilitas, debit maksimum dan debit minimum, dan transmibilitas akuifer setempat dapat diukur (Arif, 2021).



Gambar 2. 4 Skema *observation well* (Dunnicliff, 1988)

2.3 Analisis Stabilitas Lereng

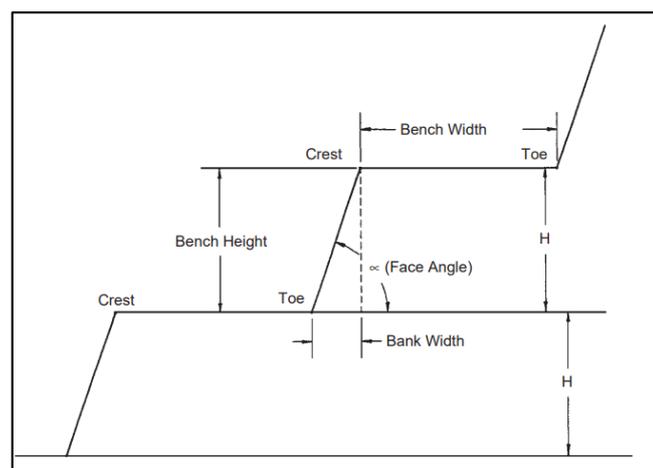
Stabilitas lereng merupakan salah satu faktor penting dalam pekerjaan penambangan khususnya pada aktivitas yang berhubungan dengan penggalian dan penimbunan tanah, batuan dan bahan galian. Masalah kestabilan lereng umumnya dijumpai pada aktivitas penambangan dengan metode tambang terbuka. Masalah kestabilan lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti geometri lereng, sifat fisik batuan, sifat mekanik batuan, keberadaan air tanah, pelapukan dan gaya-gaya

dari luar. Untuk mengetahui kondisi kestabilan lereng di suatu area penambangan perlu dilakukan analisis kestabilan lereng.

Analisis kestabilan lereng bertujuan untuk menganalisis kondisi kestabilan lereng buatan (lereng galian dan lereng penimbunan) pada kegiatan pertambangan, maupun pada lereng alami. Kestabilan lereng akan berubah tiap waktunya karena pengaruh musim hujan dan musim kemarau yang merubah permukaan air tanah atau terjadi penurunan kekuatan geser material akibat proses pelapukan (Vickyla, Sophian, & Muslim, 2019). Menurut Partanto (1984), tujuan analisis stabilitas lereng adalah untuk menentukan kondisi stabilitas suatu lereng, memperkirakan jenis keruntuhan atau longsoran yang mungkin terjadi, menilai tingkat kerawanan lereng terhadap longsoran, menentukan metode perkuatan atau perbaikan yang tepat untuk lereng, serta merancang lereng galian atau timbunan yang optimal dan memenuhi kriteria keamanan serta kelayakan ekonomis.

2.3.1 Geometri Lereng

Terdapat tiga jenis lereng pada aktivitas tambang terbuka yaitu lereng tunggal (*single slope*), lereng keseluruhan (*overall slope*), dan lereng *inter-ramp*. Desain geometri lereng sangat penting pada aktivitas tambang terbuka. Tinggi jenjang, lebar jenjang, dan kemiringan jenjang merupakan bagian dari geometri lereng (Gambar 2.5) (Hustrulid, Kutcha, & Martin, 2013).



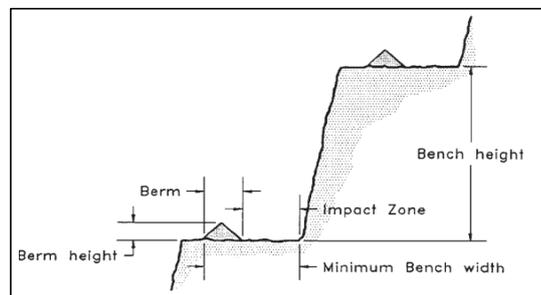
Gambar 2. 5 Bagian-bagian lereng (Hustrulid, Kutcha, & Martin, 2013)

1. Tinggi Jenjang

Tinggi jenjang diukur secara vertikal dari lantai jenjang (*toe*) hingga ujung atas jenjang (*crest*). Alat yang digunakan harus disesuaikan agar dapat mencapai bagian atas jenjang kerja. Apabila terdapat faktor lain, seperti tingkat produksi yang memerlukan ketinggian tertentu, ukuran alat juga harus diperhatikan. Tinggi jenjang maksimum di area tambang harus dipertimbangkan sesuai dengan jenis alat gali muat yang digunakan.

2. Lebar Jenjang Minimum

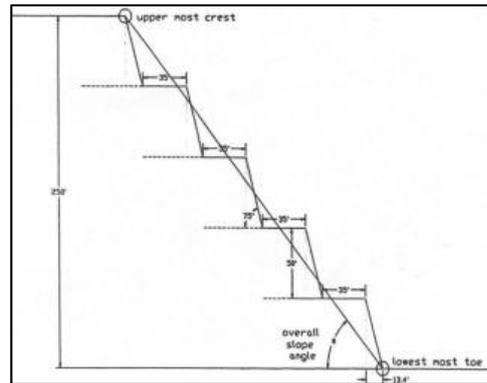
Lebar jenjang perlu diperhatikan karena akan mempengaruhi sudut lereng secara keseluruhan (*overall slope*). *Safety berm* (SB) sering juga disebut sebagai lebar jenjang minimum. Daerah akhir penambangan (*pit limit*) biasanya akan dibangun jenjang dengan lebar minimum. Ujung lebar *bench* biasanya dibuat berm supaya menambah keamanan (gambar 2.6) (Hustrulid, Kutcha, & Martin, 2013). Lebar jenjang minimum dapat dihitung dengan mempertimbangkan tinggi jenjang.



Gambar 2. 6 Geometri *catch bench* atau *safety berm* (Hustrulid, Kutcha, & Martin, 2013)

3. Kemiringan lereng

Garis yang menghubungkan *crest* dan *toe* suatu lereng membentuk sudut kemiringan dikenal sebagai kemiringan lereng tunggal (*single slope*). *Overall slope* atau yang biasa dikenal dengan sudut lereng keseluruhan adalah kemiringan yang diukur dari *crest* paling tinggi hingga *toe* lereng terendah yang merupakan sudut sebenarnya dari keseluruhan dinding *pit* dengan tetap mempertimbangkan lebar dan tinggi *bench* serta *single slope* (Gambar 2.7) (Hustrulid, Kutcha, & Martin, 2013).



Gambar 2. 7 Overall slope (Hustrulid, Kutcha, & Martin, 2013)

2.3.2 Metode Morgenstern Price

Metode Morgenstern-Price merupakan metode kesetimbangan batas yang dikembangkan oleh Morgenstern-Price pada tahun 1965. Metode ini dapat diterapkan pada semua jenis bidang runtuh dan telah memenuhi semua kondisi kesetimbangan. Metode Morgenstern-Price menggunakan asumsi yang sama halnya dengan metode Kesetimbangan Batas Umum yaitu adanya hubungan antara gaya geser (X) antar-irisan dan gaya normal (E) antar-irisan (Purnama & Kopa, 2021). Adapun persamaan matematis hubungan antar gaya tersebut adalah:

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

- X = gaya antar irisan vertikal
- E = gaya antar irisan horizontal
- f = Jarak tegak lurus dari gaya normal terhadap pusat momen
- x = Jarak horisontal dari pusat massa irisan terhadap pusat momen.

Terdapat perbedaan cara perhitungan faktor keamanan diantara metode Morgenstern-Price dan metode Kesetimbangan Batas Umum. Pada metode kesetimbangan batas umum, perhitungan nilai faktor keamanan dilakukan dengan menggunakan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal dan kesetimbangan momen pada pusat gelinciran untuk semua irisan. Sebaliknya, pada metode

Morgenstern-Price perhitungan nilai faktor keamanan dilakukan dengan menggunakan kondisi kesetimbangan gaya dan momen pada setiap irisan (Kadang, dkk., 2019).

2.3.3 Kriteria Keruntuhan Linear Mohr-Coulomb

Runtuhan terjadi akibat adanya bidang-bidang diskontinu pada suatu lereng yang relative tegak, pada rayapan, dan lapisan lunak (Arif, 2016). Menurut (Mohr, 1900) sebuah material runtuh akibat kombinasi tegangan normal (σ) dan tegangan geser (τ). Keruntuhan suatu bidang terjadi akibat dari kombinasi kritis antara tegangan normal dan tegangan geser, dan bukan salah satu dari tegangan normal maksimum dan tegangan geser minimum (Coulomb, 1776). Secara matematis hubungan antara kedua tegangan tersebut adalah:

$$\tau = f(\sigma) \dots \dots \dots (2.6)$$

Apabila material mengalami pembebanan maka akan ditahan oleh kohesi (c) dan gesekan antar butir-butir tanah (Φ). Maka kriteria keruntuhan mohr-coulomb dituliskan dengan persamaan sebagai berikut.

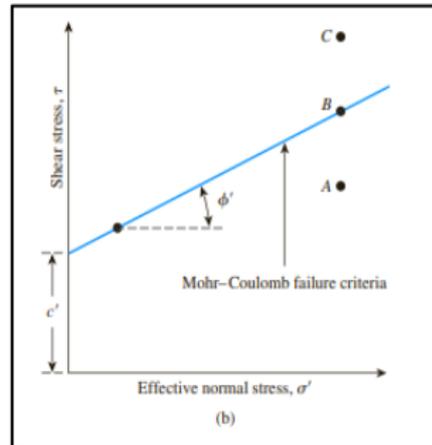
$$\tau = c + \sigma \tan \Phi \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

- τ = tegangan geser
- σ = tegangan normal
- c = kohesi
- ϕ = tegangan geser dalam

Runtuhan Mohr-Coulomb digunakan pada material tanah ataupun batuan yang didasarkan pada parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Runtuhan Mohr-Coulomb biasanya digunakan pada jenis material tanah ataupun batuan lunak. Uji laboratorium yang dilakukan untuk mendapatkan kedua parameter

tersebut adalah uji kuat geser langsung. Kurva keruntuhan Mohr-Coulomb berupa linear seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb (Das, Braja M & Sobhan, Khaled, 2018)

2.3.4 Getaran atau Percepatan Gempa Lokal

Getaran atau gempa merupakan salah satu faktor eksternal yang mempengaruhi kondisi kestabilan lereng. Pada saat gempa terjadi dampak yang ditimbulkan berbeda-beda sesuai dengan jenis material tempat gempa tersebut merambat. Amplitudo gempa diukur dengan *Peak Ground Acceleration* (PGA). PGA adalah nilai maksimum percepatan getaran tanah yang tercatat dalam suatu wilayah akibat gempa bumi. PGA bekerja dua arah yaitu vertikal dan horizontal. Semakin tinggi nilai PGA di suatu daerah, semakin besar resiko dan bahaya gempa bumi terjadi (Abidin, Adnyano, & Rande, 2021). Dalam analisis stabilitas lereng, untuk memperhitungkan pengaruh gravitasi akibat gempa, umumnya digunakan konstanta numeric yang disebut koefisien gempa atau seismik. Koefisien ini diberikan sebagai presentase dari gaya gravitasi, sehingga gaya - gaya dinamis dianggap setara dengan gaya statis, yang umumnya disebut sebagai analisis pseudostatik. Analisis stabilitas lereng yang paling sederhana adalah pendekatan pseudostatik, dimana pengaruh gempa digantikan dengan akselerasi konstan secara horizontal atau vertikal. Metode yang paling umum dalam analisis pseudostatik

adalah dengan mengubah gaya percepatan gempa horizontal dan vertikal menjadi gaya statis. Koefisien seismic (K_h) diperoleh dengan persamaan berikut:

$$K_h = 0,5 \left(\frac{ad}{g} \right) \dots \dots \dots (2.8)$$

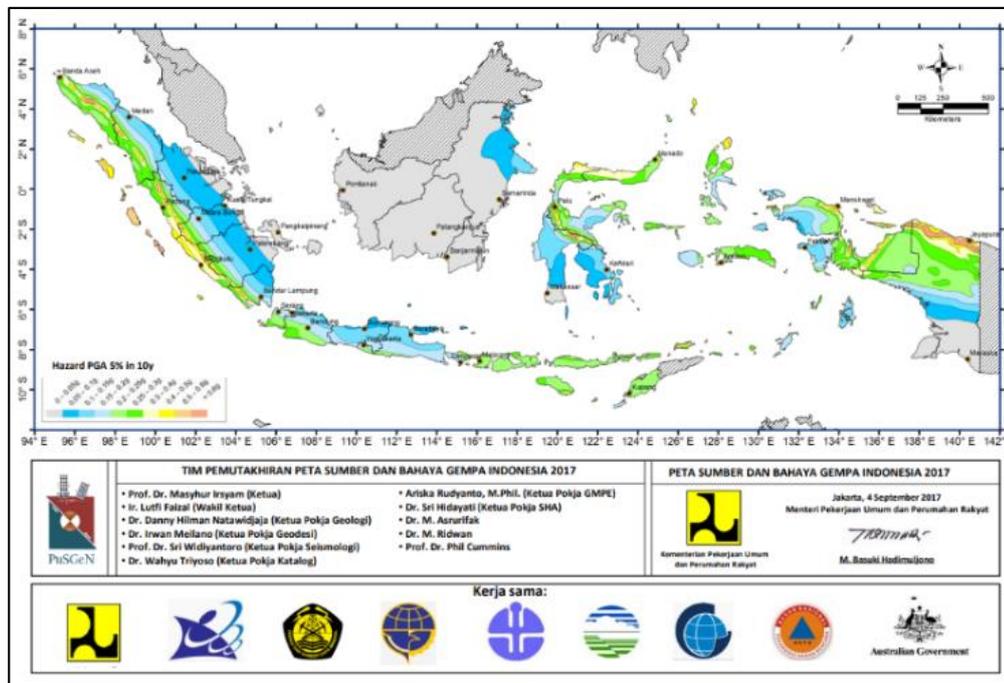
Keterangan:

K_h = koefisien gempa horizontal

Ad = percepatan gempa koreksi (gal)

g = gal

Nilai koefisien kegempaan daerah didapatkan dari peta zona gempa Indonesia oleh Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2017 (Gambar 2.6) yang kemudian dilakukan perhitungan sesuai persamaan (2.10) untuk dijadikan salah satu parameter dalam analisis kestabilan lereng.



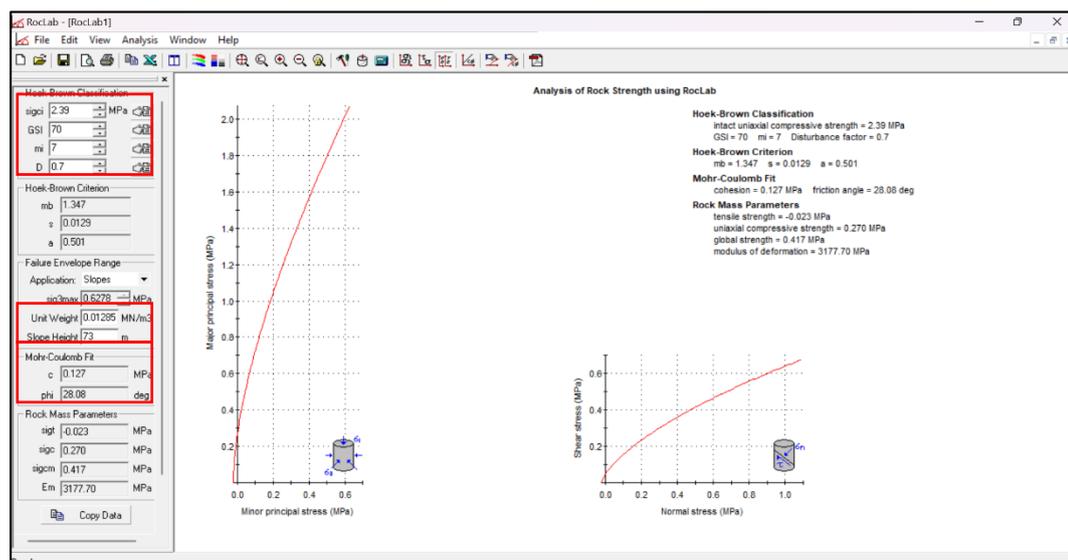
Gambar 2. 9 Peta zona kegempaan Indonesia (Kementerian Pekerjaan Umum, 2017)

2.3.5 Menentukan Nilai Kohesi dan Sudut Geser Dalam Menggunakan Roclab 1.0 dan Analisis Kestabilan Lereng dengan Bantuan *Software Rocscience Slide V.6.0*

Nilai kohesi dan sudut geser dalam didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan *Software Roclab 1.0*. untuk kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb. Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan bantuan software *Rocscience Slide V.6.0* dengan menginput data parameter berupa bobot isi (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ).

1. *Software Roclab v 1.0*

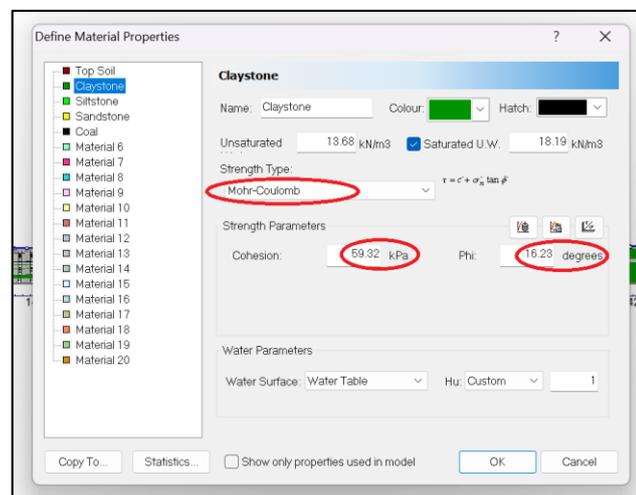
Roclab V.1.0 merupakan sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk menentukan parameter kekuatan batuan. *Software* ini digunakan untuk mendapatkan data yang sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Data yang didapatkan dari lapangan baik dari pemetaan dan pengeboran geoteknik serta pengujian sample batuan di laboratorium untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik batuan. Khusus untuk mengetahui nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) dibantu dengan menggunakan *software Roclab* dari *Rocscience* (Wiradani & Heriyadi). Adapun parameter masukan yang digunakan adalah kuat tekan bebas batu utuh (UCS), parameter batuan (m_i), indeks kekuatan batuan (GSI), bobot isi (γ), faktor pengganggu (d), dan tinggi lereng (Gambar 2.10).



Gambar 2. 10 Input data software Roclab v.1.0

2. Software Rocscience Slide V 6.0

Pada pemrograman ini dibutuhkan data sifat fisik dan mekanik batuan. Data tersebut terdiri dari kohesi, sudut geser dalam, bobot isi kering (*dry density*), bobot isi jenuh (*wet density*), tekanan air pori, dan koefisien gempa/getaran daerah penelitian. Metode analisis yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan. Pada penelitian ini kriteria keruntuhan yang digunakan adalah Mohr-Coulomb. Kriteria keruntuhan ini dipakai karena jenis cadangan yang akan dianalisis adalah batubara dimana batuan penyusunnya didominasi oleh batuan utuh. Analisis dengan menggunakan kriteria Mohr-Coulomb menggunakan parameter kohesi dan sudut geser dalam (Gambar 2.11).



Gambar 2. 11 Input data parameter geoteknik dengan menggunakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb pada *software* Rocscience Slide V.6.0

2.4 Rekomendasi *Overall Slope*

Rekomendasi *overall slope* merupakan suatu tahapan yang dilakukan setelah analisis stabilitas suatu lereng. Analisis stabilitas lereng menghasilkan nilai faktor keamanan yang menunjukkan tingkat keamanan atau stabilitas suatu lereng. Rekomendasi *overall slope* dilakukan dengan membuat suatu rancangan geometri lereng yang baru yang memenuhi standar nilai faktor keamanan menurut Kepmen ESDM 1827K tahun 2018. Rancangan geometri *overall slope* meliputi tinggi jenjang, sudut jenjang, lebar jenjang, dan jumlah jenjang untuk mendapatkan sudut dan tinggi *overall slope* yang aman.

Faktor keamanan adalah perbandingan antara kekuatan geser yang diperlukan agar setimbang terhadap kuat geser yang tersedia. Pada dasarnya, dua jenis gaya yang berlaku disuatu lereng yaitu gaya penahan dan gaya penggerak. Gaya penahan yaitu gaya yang menahan pergerakan massa material, sedangkan gaya penggerak adalah gaya yang menyebabkan massa tersebut bergerak. Lereng akan longsor apabila gaya penggerak lebih besar dari gaya penahan (Hasan & Heriyadi, 2019). Secara matematis stabilitas suatu lereng dinyatakan dalam faktor keamanan yang didefinisikan sebagai berikut.

$$\text{Faktor keamanan (FK)} = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \dots \dots \dots (2.9)$$

Analisis faktor keamanan lereng batuan tidak sama dengan lereng timbunan yang materialnya berupa tanah, sehingga metode pendekatan dan penanganan yang dilakukan juga akan berbeda. Rekomendasi geometri lereng didasarkan pada nilai FK aman yang paling minimum, yaitu $FK \geq 1,1$ (pseudostatik) untuk menyatakan bahwa lereng dalam keadaan stabil dengan nilai probabilitas kelongsoran maksimum 5% sesuai dengan kriteria faktor keamanan yang mengacu pada Kepmen ESDM No.1827K/30/MEM/2018 pada kondisi dinamis (Tabel 2.2).

Tabel 2. 2 Nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran berdasarkan Kepmen ESDM No.1827 K/30/MEM/2018

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (<i>Consequences of Failure/CoF</i>)	Kriteria dapat diterima (<i>Acceptance Criteria</i>)		
		Faktor Keamanan Statis (FK) (Min)	Faktor Keamanan Dinamis (FK) (Min)	Probabilitas Longsor (<i>Probability of Failure</i>) (Maks) PoF (FK < 1)
Lereng tunggal	Rendah s.d. tinggi	1,1	Tidak ada	25-50%
Inter-ramp	Rendah	1,15 – 1,2	1,0	25%
	Menengah	1,2 – 1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,2 – 1,3	1,1	10%
Lereng keseluruhan	Rendah	1,2 – 1,3	1,0	15-20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3 – 1,5	1,1	5%

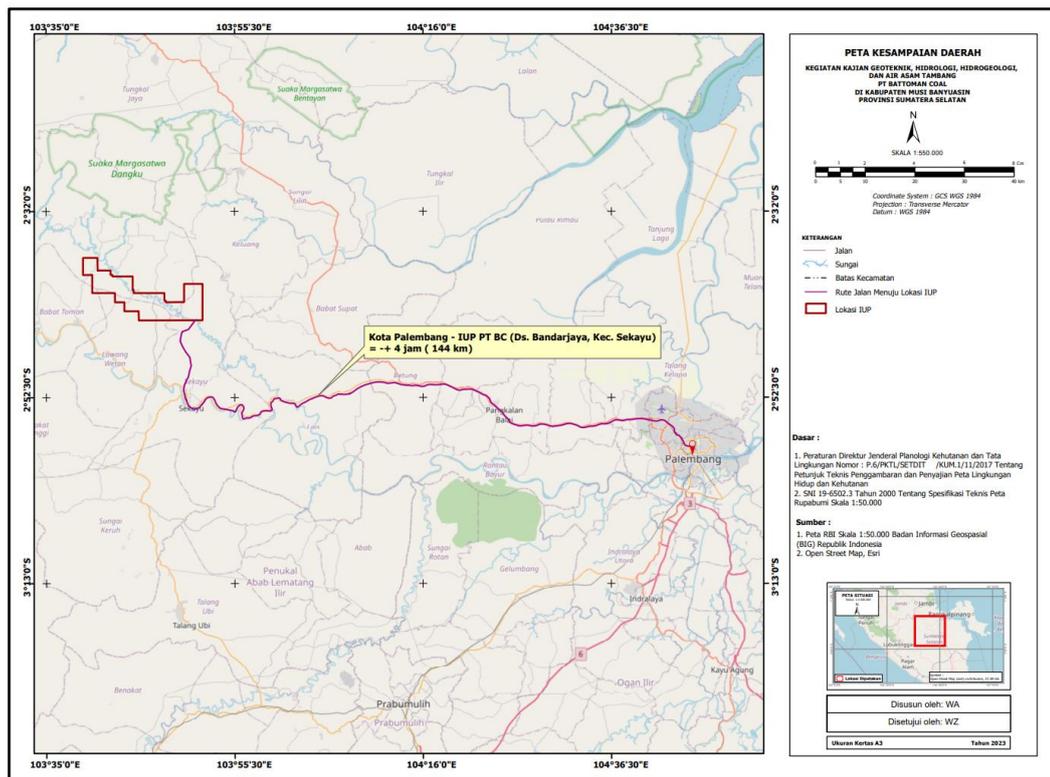
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.1.1 Lokasi Penelitian

Secara administrasi PT Battoman Coal yang terletak di Desa Bandarjaya, Kecamatan Sekayu, Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan. Secara geografis lokasi PT Battoman Coal terletak pada posisi $2^{\circ} 32' 0'' - 3^{\circ} 13' 0''$ LS dan $103^{\circ} 35' 0'' - 104^{\circ} 36' 30''$ LS. PT Battoman Coal memiliki luas IUP sebesar 12.670 Ha. Lokasi rencana penambangan PT Battoman Coal memiliki jarak tempuh ± 144 Km yang dapat ditempuh dengan jalur darat ± 4 jam dari kantor PT Bima Shabartum Gemilang, Palembang dengan menggunakan kendaraan roda empat.



Gambar 3. 1 Peta Kesampaian Daerah PT Battoman Coal (PT Bima Shabartum Gemilang, 2023)

3.1.2 Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian tugas akhir dimulai tanggal 15 September 2023 sampai dengan 9 Februari 2024. Jadwal pelaksanaan penelitian tugas akhir sebagai berikut (Tabel 3.1).

Tabel 3. 1 Uraian Jadwal Kegiatan Penelitian

No.	Kegiatan	Waktu Pelaksanaan																		
		Sep		Oktober				November				Desember				Januari		Feb		
		1	2	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1
1	Persiapan penelitian	■																		
2	Pengambilan data		■	■	■															
3	Pemrosesan data di laboratorium			■	■	■	■	■	■	■										
3	Pengolahan data			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
4	Evaluasi dan analisis data																		■	■
5	Penyusunan laporan akhir																		■	■

3.2 Tahapan Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini adalah dengan menggabungkan antara teori, hasil penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan judul yang akan diteliti, serta data primer dan data skunder yang didapatkan dari lapangan ketika melakukan penelitian. Berdasar pada data-data tersebut dilakukan pengolahan dan analisis untuk mendapatkan solusi dari permasalahan yang diteliti dengan bantuan *software Rocscience Slide V.6.0* dan *Roclab 1.0*.

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari dan mempelajari bahan-bahan pustaka yang berkaitan dengan analisis stabilitas lereng, faktor keamanan, kondisi muka air tanah di daerah penelitian dan pengaruh muka air terhadap stabilitas lereng. Bahan-bahan pustaka penelitian diperoleh dari:

1. Instansi terkait
2. Buku
3. Jurnal yang berhubungan dengan penelitian
4. Laporan yang relevan
5. Informasi-informasi terkait penelitian
6. Hasil uji laboratorium

3.2.2 Orientasi Lapangan

Orientasi lapangan yang dilakukan berupa pengamatan langsung terhadap kondisi umum di lokasi penelitian seperti pengamatan hasil pengeboran geoteknik dan *mapping* hidrologi dan hidrogeologi di lapangan.

3.2.3 Pengambilan Data

Data yang diperlukan pada penelitian tugas akhir ini adalah data primer dan data sekunder. Data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut.

1. Data primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dari pengamatan dan pengambilan data langsung di lapangan. Data primer yang didapat pada penelitian ini yaitu:

- a. Data ketinggian dan elevasi muka air tanah didapatkan dari pengukuran muka air tanah menggunakan *piezometer casagrande* yang dipasang pada lubang bekas pengeboran geoteknik di titik GT-01 area rencana penambangan PT Battoman Coal dengan bantuan *water level meter*.
- b. Stratigrafi lokal PT Battoman Coal didapatkan dari data pengeboran geoteknik yang dilakukan di dua titik lokasi penelitian. Pengeboran yang dilakukan adalah *full coring* dengan panjang *rods* 1,5 m.
- c. Data *Geological Strength Index* (GSI) yang didapatkan dari aktivitas pengeboran geoteknik.
- d. Data bobot isi kering (γ_d) dan bobot isi basah (γ_w) didapatkan dari uji sifat fisik material. Data kuat tekan (σ_c) didapatkan dari uji kuat tekan. Pengujian dilakukan sebanyak 47 *sampel* yang diambil pada kegiatan pengeboran geoteknik.

2. Data skunder

Data skunder merupakan studi pustaka yang didapatkan dengan mengutip literatur dan lampiran dari daftar pustaka, instansi terkait dan literatur-literatur yang terkait serta data atau arsip perusahaan yang mendukung pekerjaan penelitian. Data skunder yang diperlukan terdiri dari:

- a. Parameter batuan (m_i)
- b. Faktor pengganggu material (d)
- c. Peta lokasi PT Battoman Coal
- d. Peta geologi regional
- e. Peta lokasi pemboran geoteknik
- f. Peta arah aliran air tanah
- g. Data percepatan gempa daerah

3.2.4 Pengolahan Data dan Analisis Data

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan program *Rocscience Slide V.6* dan *Roclab 1.0*. *Roclab 1.0* adalah *software* untuk menentukan kekuatan massa batuan berupa kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). *Rocscience Slide V.6* merupakan *software* analisis kestabilan suatu lereng dengan memperhitungkan kekuatan lereng berdasarkan parameter geoteknik. Data yang diolah dalam penelitian ini adalah data primer. Tahapan pengolahan, analisis data, dan ringkasan penyelesaian masalah ini sebagai berikut.

1. Data kuat tekan (σ_c), parameter batuan (m_i), faktor pengganggu (d), *Geological Strength Index* (GSI), dan bobot isi basah (γ_w) dengan menggunakan persamaan 2.3 dimasukkan ke dalam *software* Roclab V.1 untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).
2. Data elevasi dan ketinggian air tanah berdasarkan pengukuran *observation well* yang telah dilakukan kemudian diinput ke dalam *Arcgis* untuk mendapatkan peta persebaran air tanah. Menghitung tekanan air pori berdasarkan hasil pengurangan elevasi kedalaman alat yang dikurangkan dengan elevasi muka air tanah. Melakukan analisis persebaran air tanah dan tekanan air pori. Memodelkan kondisi muka air tanah pada penampang AA' dan BB' berdasarkan pengukuran piezometer dalam *software Rocscience Slide V.6*.

3. Analisis stabilitas lereng *highwall* menggunakan metode Morgenstern-Price dengan tipe keruntuhan Mohr-Coulomb dilakukan dengan bantuan *software Rocscience Slide V.6*. Adapun data yang digunakan dalam analisis yaitu kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), serta bobot isi kering (γ_d) dan bobot isi basah (γ_w) menggunakan persamaan 2.2 dan persamaan 2.3.
4. Analisis stabilitas lereng *highwall* pada kondisi pseudostatik dilakukan dengan menggunakan koefisien percepatan gempa daerah berdasarkan peta zona kegempaan Indonesia oleh Kementerian PUPR tahun 2017. Analisis dilakukan dengan menggunakan koefisien kegempaan vertikal dan koefisien kegempaan horizontal menggunakan persamaan 2.10.

Proses pemecahan masalah dilakukan dengan cara menguraikan suatu rumusan masalah menjadi beberapa poin sehingga didapatkan suatu penyelesaian (Tabel 3.2). Garis besar penelitian yang dilakukan dimulai dari judul sampai mendapatkan suatu kesimpulan telah digambarkan pada sebuah bagan alir penelitian (Gambar 3.2).

Tabel 3. 2 Matrix Penelitian

No.	Rumusan Masalah	Tujuan	Metode Penelitian
1	Bagaimana kondisi geologi dan parameter geoteknik area rencana Penambangan batubara PT Battoman Coal?	Menganalisis kondisi geologi dan parameter geoteknik area penambangan batubara PT Battoman Coal berdasarkan data hasil pemboran geoteknik.	a) Melakukan studi pustaka dari berbagai sumber seperti dokumen perusahaan, hasil penelitian terdahulu. b) Mengambil dan menganalisis data hasil pengeboran geoteknik untuk mengetahui stratigrafi lokal PT Battoman Coal. c) Memasukkan data kuat tekan, parameter batuan (m_i), indeks kekuatan batuan (GSI), dan faktor pengganggu (d) ke dalam <i>software Roclab v.1</i> untuk mendapatkan

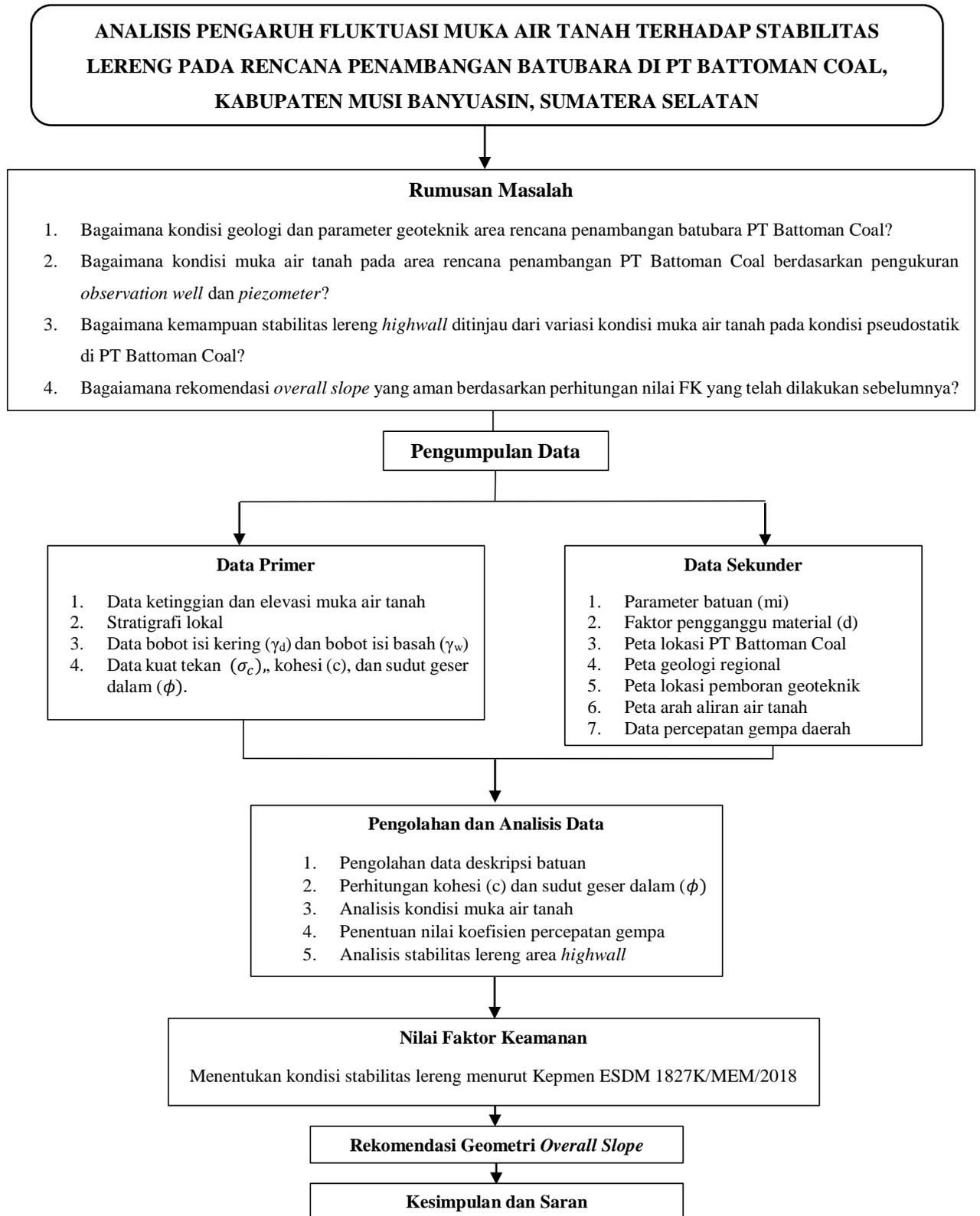
			material properties berupa nilai kohesi dan sudut geser dalam area penelitian.
			d) Melakukan analisis melalui probabilitas untuk mendapatkan nilai rata-rata kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan bobot isi (γ) dari setiap material yang dijadikan sebagai data parameter geoteknik pada analisis yang akan dilakukan.
2	Bagaimana kondisi muka air tanah pada area rencana penambangan PT Battoman Coal berdasarkan pengukuran <i>observation well</i> dan <i>piezometer</i> ?	Menganalisis kondisi fluktuasi muka air tanah pada area <i>highwall</i> di PT Battoman Coal berdasarkan pengukuran <i>observation well</i> dan <i>piezometer</i> .	<p>a) Melakukan pengukuran pada 27 titik yang terdiri dari 22 titik bekas sumur eksplorasi, 3 titik sumur warga, dan 2 titik anak sungai yang tersebar di area rencana penambangan.</p> <p>b) Membuat peta persebaran muka air tanah lokasi penelitian.</p> <p>c) Melakukan pengukuran muka air tanah berdasarkan pemantauan dengan menggunakan <i>piezometer</i> yang dilakukan setiap jam 08.00 WIB selama lima belas hari.</p> <p>d) Melakukan analisis kondisi muka air tanah berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan.</p>
3	Bagaimana kemampuan stabilitas lereng <i>highwall</i> dari variasi kondisi muka air tanah pada kondisi pseudostatik di PT Battoman Coal?	Menganalisis stabilitas lereng <i>highwall</i> ditinjau dari variasi kondisi muka air tanah aktual pada kondisi pseudostatik di PT Battoman Coal.	<p>a) Memasukkan data kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), bobot isi (γ), dan koefisien percepatan gempa daerah ke dalam <i>software Rocscience Slide V.6</i>.</p> <p>b) Memodelkan kondisi air tanah hasil pengukuran <i>piezometer</i> ke dalam <i>software Rocscience Slide V.6</i>.</p> <p>c) Melakukan perhitungan nilai faktor keamanan pada lereng <i>highwall</i> dengan metode Morgenstern Price dan tipe keruntuhan Mohr Coulomb</p>

			menggunakan <i>Software Rocscience Slide V.6.</i>
			d) Menganalisis kondisi stabilitas lereng <i>highwall</i> berdasarkan nilai faktor keamanan yang telah didapatkan berdasarkan Kepmen ESDM 1827K/MEM/2018.

4	Bagaimana rekomendasi <i>overall slope</i> yang aman berdasarkan perhitungan nilai FK yang telah dilakukan sebelumnya?	Merekomendasi <i>overall slope</i> yang aman berdasarkan perhitungan nilai FK yang telah dilakukan sebelumnya.	a) Merancang geometri lereng <i>overall slope area highwall</i> berupa jumlah jenjang, sudut, tinggi, dan lebar jenjang. b) Melakukan analisis stabilitas lereng pada rancangan ulang geometri <i>overall slope</i> menggunakan <i>software Rocscience Slide V.6.</i> c) Merekomendasikan geometri <i>overall slope</i> yang aman berdasarkan perhitungan nilai FK yang telah dilakukan sesuai dengan standar nilai faktor keamanan menurut KEPMEN ESDM 1827K/MEM/2018.
---	--	--	---

3.2.5 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir merupakan suatu kerangka yang disusun berdasarkan permasalahan di lapangan yang kemudian melakukan pengambilan data primer dan data sekunder kemudian mengolahnya untuk menjawab semua permasalahan yang akan dibahas. Tahapan-tahapan proses penelitian yang dilakukan kemudian disederhanakan dalam sebuah diagram alir penelitian agar mudah untuk dipahami. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada (Gambar 3.2).



Gambar 3. 2 Bagan alir penelitian

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Geologi dan Parameter Geoteknik PT Battoman Coal

4.1.2 Kondisi Geologi Lokal PT Battoman Coal

Secara geologi regional PT Battoman Coal termasuk ke dalam cekungan Sumatera selatan. Lokasi penambangan PT Battoman Coal tersusun oleh dua formasi yaitu Formasi Kasai dan Formasi Muara Enim.

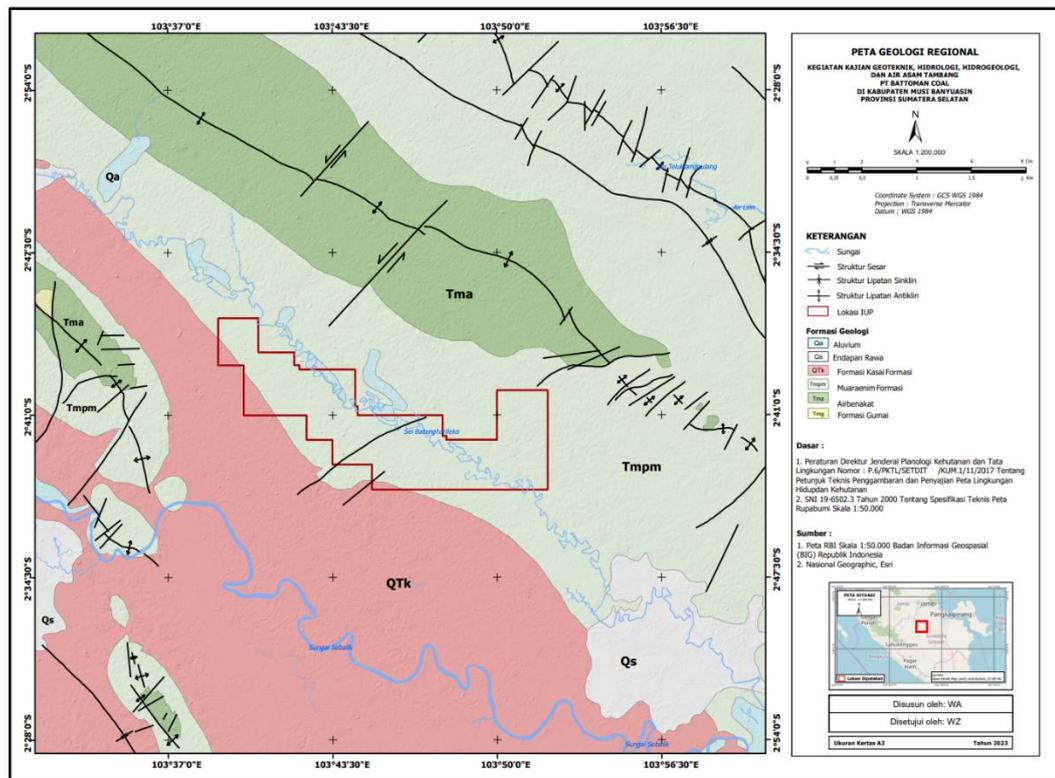
1. Formasi Kasai

Formasi Kasai diendapkan secara selaras di atas Formasi Muara Enim dengan ketebalan 850-1200 m selama pembentukan pegunungan Plio-Pleistosen. Formasi ini terdiri dari batu pasir tufaan dan tefra riolitik di bagian bawah. Bagian atas terdiri dari *tuff pumice* kaya kuarsa, batu pasir, konglomerat, tuff pasir dengan lensa rudit mengandung pumice dan tuff berwarna abu-abu kekuningan, hanya dijumpai sisa tumbuhan dan lapisan tipis lignit serta kayu yang terkarsikan. Fasa pengendapannya adalah fluvial dan *alluvial fan*. Formasi Kasai berumur Pliosen akhir-Pleistosen awal.

2. Formasi Muara Enim

Formasi Muara Enim merupakan formasi pembawa batubara yang berumur Miosen akhir-Pliosen yang merupakan proses pengendapan regresi, dari laut dangkal (formasi air benakat) sampai lingkungan darat (formasi Kasai) (Ramadhana, dkk., 2022). Batubara pada Formasi Muara Enim diendapkan pada lingkungan *Lower Delta Plain* hingga *Upper Delta Plain*. Proses sedimentasi batubara di formasi ini dipengaruhi oleh susut laut pada peristiwa perubahan muka air laut yang terjadi pada Kala Miosen. Formasi ini merupakan formasi yang menyimpan endapan batubara dalam jumlah besar sehingga dikenal sebagai formasi pembawa batubara. Berdasarkan fasiesnya formasi Muara Enim dibagi menjadi 4 anggota yaitu M1, M2, M3, dan M4. Masing-masing anggota memiliki karakteristik tersendiri berupa tebal lapisan tiap sedimen. Formasi ini tersusun atas lapisan sedimen dengan tebal hingga 750 m yang meliputi batu lempung, lempung pasir, pasir dan lapisan tebal batubara.

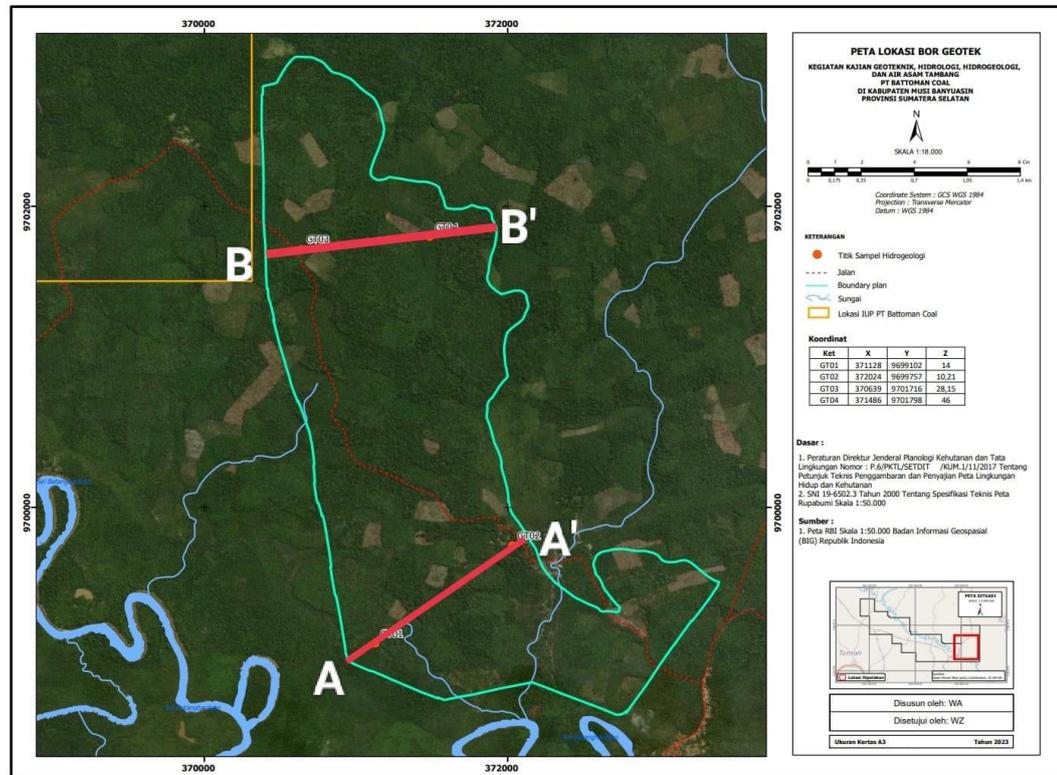
Berikut merupakan peta geologi regional PT Battoman Coal, Sumatera Selatan (Gambar 4.1).



Gambar 4. 1 Peta Geologi Regional PT Battoman Coal

Aktivitas pengeboran geoteknik pada lokasi penelitian dilakukan pada empat titik lokasi pengeboran yang tersebar di area rencana penambangan PT Battoman Coal. Tujuan dilakukannya pengeboran geoteknik adalah untuk mendapatkan data perlapisan tanah dan batuan di bawah permukaan, jenis, serta kondisi tanah dan batuan penyusun dari lokasi penelitian. Data hasil pemboran geoteknik yang berupa data kedalaman dan perlapisan batuan kemudian digunakan untuk mendapatkan data stratigrafi lokal pada lokasi penelitian. Pengeboran geoteknik PT Battoman Coal dilakukan di empat titik yang diambil untuk mewakili area *highwall* dan *low wall* dari lereng yang direncanakan. Titik pengeboran GT-01 dan GT-03 untuk mewakili kondisi area lereng *highwall* rencana. Sedangkan GT-02 dan titik GT-04 untuk mewakili area lereng *low wall* rencana. Berdasarkan lokasi pengeboran yang telah diketahui data stratigrafi lokalnya ditarik menjadi

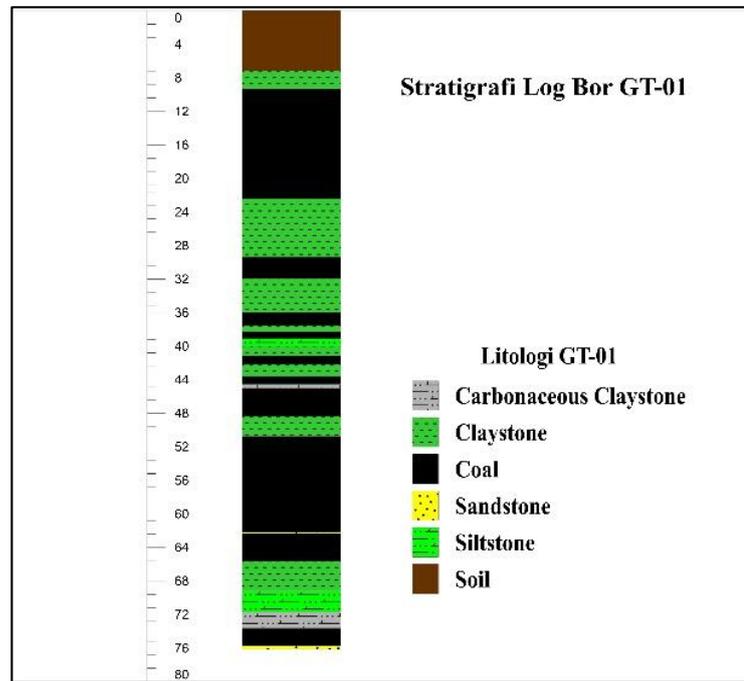
penampang AA' dan BB' untuk kemudian dilakukan analisis stabilitas lereng rencana penambangan PT Battoman Coal (Gambar 4.2).



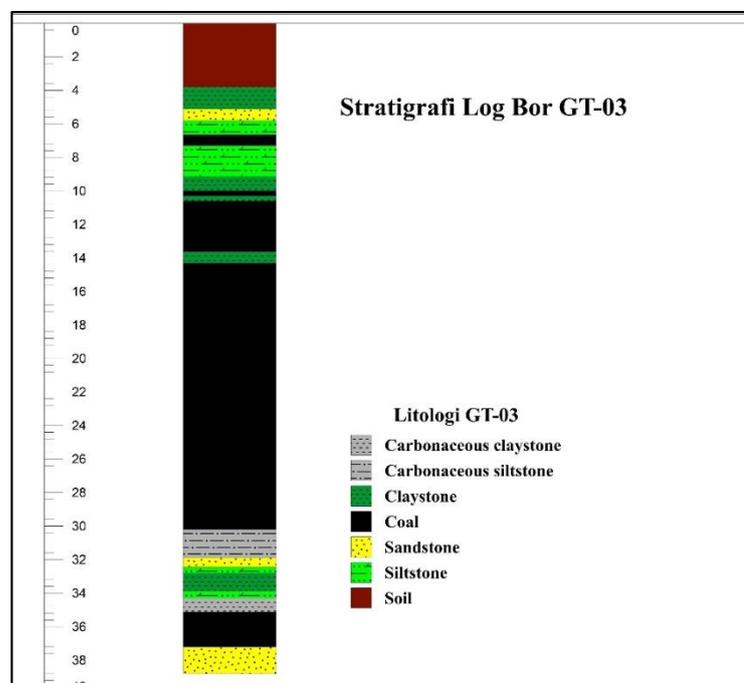
Gambar 4. 2 Peta lokasi pengeboran geoteknik PT Battoman Coal

Stratigrafi log bor merupakan data yang didapatkan dari aktivitas pengeboran geoteknik yang mendeskripsikan batuan penyusun pada titik pengeboran tersebut. Titik GT-01 merupakan titik pengeboran yang berada di selatan dari area rencana penambangan PT Battoman Coal. Terletak pada koordinat 48S UTM 371128 E 9699102 S. Berdasarkan pengeboran geoteknik pada titik GT-01 stratigrafi log bor tersusun atas batu lempung, batu pasir, batu lanau, batu lempung karbonan, dan batubara. Batubara pada titik GT-01 terdiri dari enam *seam* dengan ketebalan yang bervariasi. Litologi GT-01 didominasi oleh batu lempung (Gambar 4.3a). Sedangkan titik GT-03 merupakan titik pengeboran yang terletak di utara dari area rencana penambangan yang terletak GT-03 pada koordinat 48S UTM 370639 E 9701716 S. Berdasarkan pengeboran geoteknik stratigrafi log bor GT-03 tersusun atas batu lempung, batu lanau, batu pasir, batu lanau karbonan, dan

batubara yang terdiri dari empat *seam* dengan ketebalan yang berbeda-beda (Gambar 4.3b).



(a)



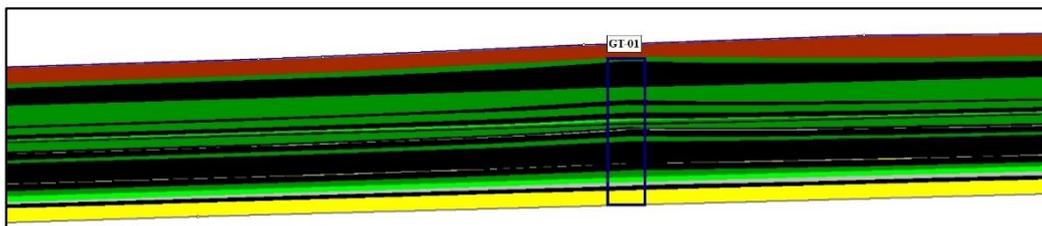
(b)

Gambar 4. 3 Stratigrafi Log Bor pada titik GT-01 dan GT-03 PT Battoman Coal

Analisis stabilitas lereng area penelitian menggunakan penampang stratigrafi yang didapatkan dari data stratigrafi log bor GT-01 dan GT-03. Berdasarkan data pengeboran geoteknik didapatkan dua penampang yang menggambarkan stratigrafi lokal PT Battoman Coal. Penampang AA' menggambarkan kondisi batuan daerah sekitar GT-01 dan Penampang BB' menggambarkan kondisi batuan daerah sekitar GT-03. Kedua penampang tersebut akan digunakan sebagai model analisis stabilitas lereng menggunakan *software Rocscience Slide V.6*. Adapun deskripsi mengenai penampang AA' dan penampang BB' sebagai berikut.

1. Penampang AA'

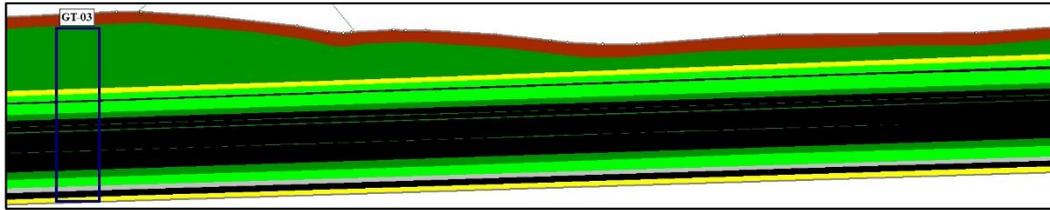
Penampang AA' merupakan korelasi antara GT-01 dengan titik pemboran sekitarnya. Berdasarkan penampang AA' diketahui *dip* sebesar 13 derajat yang mengarah ke barat daya dengan batubara yang semakin tebal ke arah permukaan. Litologi penampang AA' didominasi batu lempung. Batubara yang terdapat pada penampang terdiri dari *seam* K, J, I, H, GU, dan GL (Gambar 4.4).



Gambar 4. 4 Penampang AA' pada titik GT-01

2. Penampang BB'

Penampang BB' merupakan korelasi antara GT-03 dengan titik pemboran sekitarnya. Berdasarkan penampang BB' diketahui *dip* sebesar 13 derajat yang mengarah ke barat daya dengan batubara yang semakin tebal ke arah permukaan. Litologi penampang BB' didominasi batu lempung dan batu lanau. Batubara yang terdapat pada penampang terdiri dari *seam* H, GU, GL, dan F (Gambar 4.5).



Gambar 4. 5 Penampang BB' pada titik GT-03

4.1.2 Parameter Geoteknik

Sifat fisik dan sifat mekanik material merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kondisi stabilitas lereng tambang. Sifat fisik material didapat dari uji sifat fisik yang dilakukan di laboratorium. Pengujian dilakukan sebanyak 47 *sampel* yang diambil pada titik pemboran GT-01 dan GT-03. Sedangkan sifat mekanik material didapatkan dengan bantuan *software Roclab V.1*. Adapun parameter geoteknik dalam analisis kestabilan lereng berupa data kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), bobot isi (γ), dan variasi ketinggian muka air tanah berdasarkan kondisi aktual hasil pengukuran di lapangan.

4.1.2.1 Sifat Fisik

Data sifat fisik material didapat dari uji sifat fisik di laboratorium (Lampiran A). Pengujian tersebut akan menghasilkan parameter sifat fisik material yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng berupa bobot isi (*unit weight*). Dalam analisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode *morgenstren price* hanya digunakan data bobot isi kering (*dry*) dan bobot isi basah (*wet*) yang telah dilakukan analisis statistik probabilitas (Tabel 4.1).

Tabel 4 1 Sifat Fisik Material PT Battoman Coal

No	Material	Natural Density (γ_n) (KN/m ³)	Wet Density (γ_w) (KN/m ³)	Dry Density (γ_d) (KN/m ³)
1	Soil	17,98	18,57	14,38
2	Claystone	17,49	18,05	13,47
3	Siltstone	17,15	17,81	13,02
4	Sandstone	17,64	18,20	13,40
5	Coal	12,48	12,76	7,21
6	Carbonaceous Siltstone	18,42	18,86	14,57
7	Carbonaceous Claystone	17,85	18,93	15,11

4.1.2.2 Sifat Mekanik

Data sifat mekanik didapat dari uji laboratorium UCS berupa nilai kuat tekan (UCS) (Lampiran A). Data kohesi dan sudut geser dalam didapatkan dari hasil input nilai kuat tekan, m_i , faktor pengganggu (d), *unit weight*, dan GSI menggunakan *software Roclab 1.0* (Lampiran B). Data kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) dilakukan analisis statistik probabilistik untuk mendapatkan data kohesi dan sudut geser dalam rata-rata dari setiap litologi (Tabel 4.2). Data kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), *unit weight* (γ), dan variasi ketinggian muka air tanah di-input ke dalam *Software Rocscience Slide V.6* untuk nilai faktor keamanan yang menunjukkan stabilitas lereng.

Tabel 4 2 Sifat mekanik material PT Battoman Coal

No	Material	Kohesi (c) (Kpa)	Sudut Geser Dalam (ϕ)
1	<i>Soil</i>	36,80	13,69
2	<i>Claystone</i>	97,19	22,83
3	<i>Siltstone</i>	84,47	19,10
4	<i>Sandstone</i>	68,23	15,19
5	<i>Coal</i>	78,47	21,03
6	<i>Carbonaceous Siltstone</i>	75,00	16,42
7	<i>Carboneceous Claystone</i>	53,20	19,97

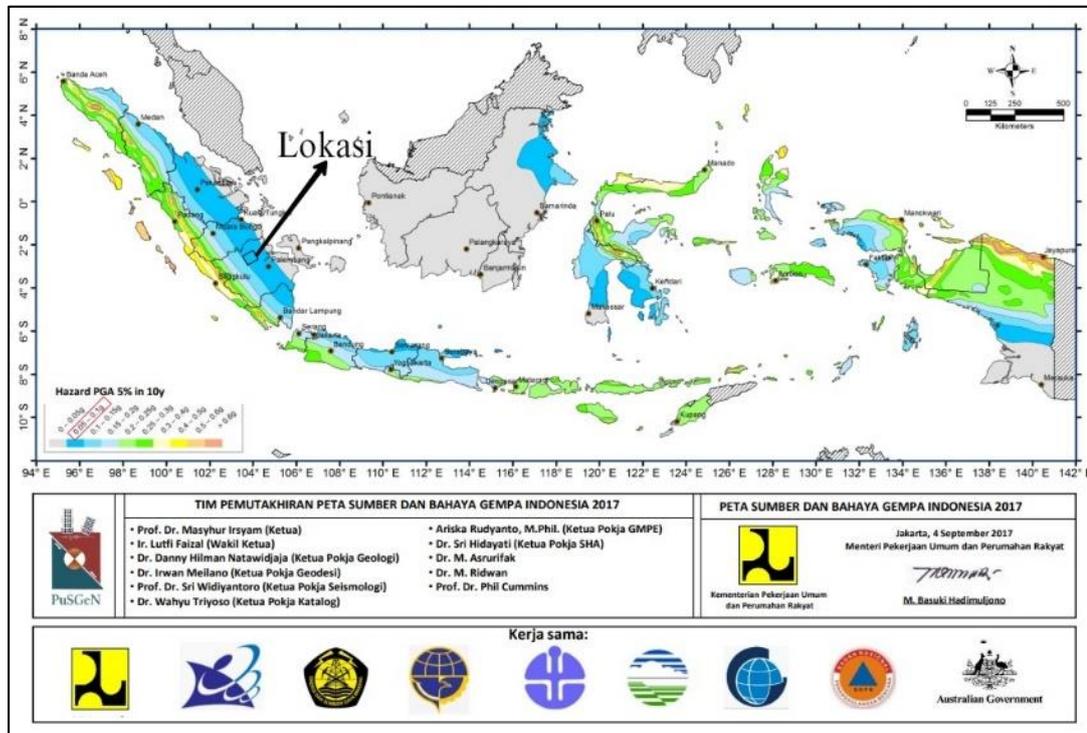
4.1.3 Percepatan Gempa Daerah

Kondisi gempa untuk analisis stabilitas lereng dengan mempertimbangkan faktor kegempaan lokal dengan puncak percepatan horizontal di Desa Bandarjaya, Musi Banyuasin adalah 0,05 – 0,1 g (Gambar 4.6). Menurut Departemen Pertambangan dan Geologi California (1997), penggunaan koefisien horizontal pada analisis stabilitas lereng tanah dan batuan menggunakan 50% dari nilai desain PGA (*Peak Ground Acceleration*). Perhitungan nilai koefisien gempa horizontal berdasarkan persamaan 2.10 sebagai berikut.

$$K_h = 0,5 \text{ (ad/g)}$$

$$K_h = 0,5 (0,05) = 0,025 \text{ g}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan persamaan diatas didapatkan nilai koefisien gempa horizontal sebesar 0,025 g sedangkan koefisien gempa vertikal PT Battoman Coal sebesar 0,05 g.



Gambar 4. 6 Peta Zonasi Gempa Indonesia (Kementerian Pekerjaan Umum, 2017)

4.2 Kondisi Muka Air Tanah PT Battoman Coal

Berdasarkan pengeboran geoteknik material penyusun lereng pada area rencana penambangan PT Battoman Coal didominasi batu lempung yang bersifat ekspansif. Pada lokasi penelitian juga terdapat aliran anak Sungai Putih yang memungkinkan untuk terjadinya infiltrasi pada batuan, sehingga perlu dilakukannya analisis kondisi muka air tanah. Analisis kondisi muka air tanah dilakukan untuk mengetahui kondisi muka air tanah pada lokasi penelitian. Kondisi muka air tanah meliputi ketinggian, elevasi, persebaran air tanah, dan tekanan air pori. Data persebaran air tanah didapatkan dengan melakukan pemantauan kondisi air tanah menggunakan metode *observation well* yang dilakukan di beberapa titik pengamatan. Sedangkan data ketinggian, elevasi air tanah, dan tekanan air pori didapatkan dari pemantauan kondisi muka air tanah dengan piezometer. Pada

penelitian ini analisis kondisi muka air tanah dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu *observation well* dan piezometer *casagrande*.

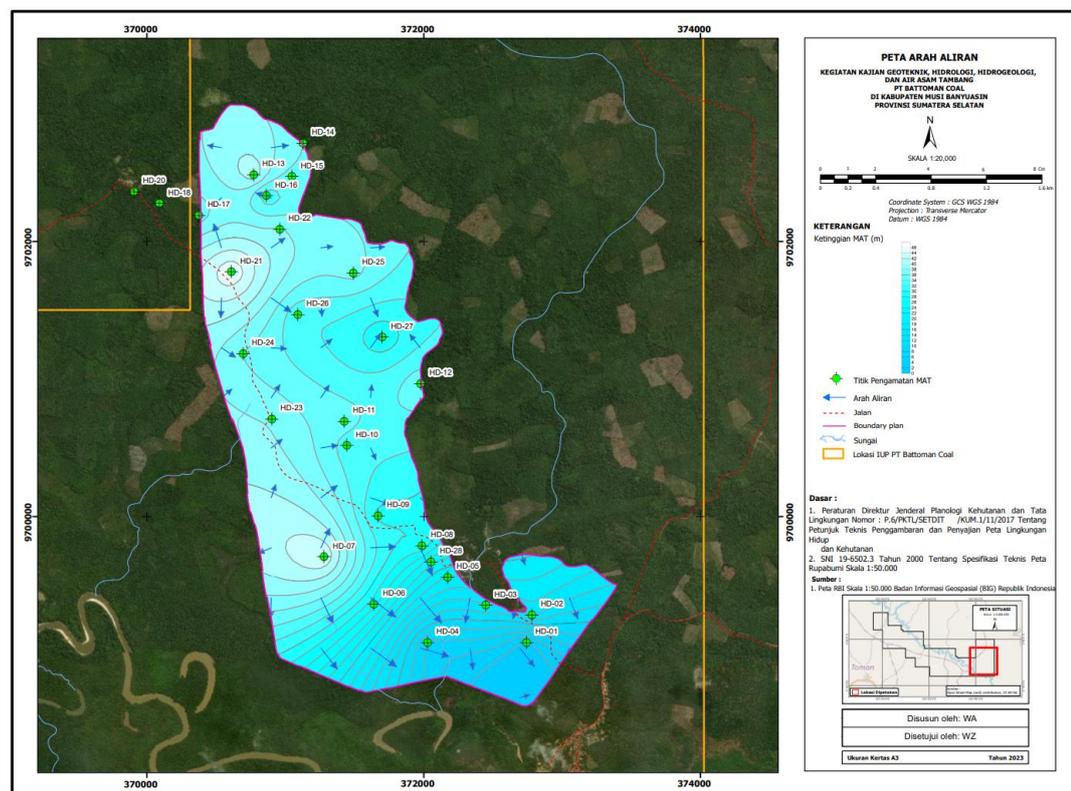
4.2.1 Kondisi Muka Air Tanah berdasarkan *Observation Well*

Observation well merupakan lubang bor yang dirancang khusus untuk memantau tinggi muka air tanah serta kualitas air di dalam akuifer pada kedalaman tertentu. Metode pengukuran ini dilakukan di beberapa titik dalam waktu bersamaan sehingga diketahui persebaran air tanah pada lokasi penelitian. Pada penelitian ini *observation well* dilakukan pada 27 titik diantaranya 22 titik bekas sumur eksplorasi yang tersebar di sepanjang area rencana penambangan PT Battoman Coal dan 5 titik yang terdiri dari 3 sumur warga dan 2 anak sungai. Kegiatan pengukuran muka air tanah pada lokasi penelitian menggunakan *water level meter* yang memiliki sensor pada ujung batang elektrodanya. Sensor tersebut akan mengeluarkan bunyi ketika menyentuh muka air tanah.

Data hasil pengukuran dan pengamatan air tanah pada area penelitian menunjukkan bahwa kondisi air tanah semakin mendekati permukaan pada area tenggara dari rencana penambangan PT Battoman Coal. Kedalaman air tanah pada area tenggara berada pada kedalaman antara 1,5 meter 8,9 meter dari permukaan tanah (lampiran C). Berdasarkan pengukuran dan pemantauan air tanah kemudian dilakukan pemetaan air tanah untuk mendapatkan persebaran air tanah lokasi penelitian. Berdasarkan data pengukuran MAT menunjukkan air tanah pada lokasi penelitian semakin tinggi ke arah tenggara dari area rencana penambangan PT Battoman Coal.

Diketahui bahwa area tenggara yang memiliki ketinggian air tanah yang cukup dekat dengan permukaan, berdekatan dengan aliran anak Sungai Putih dan merupakan titik pengeboran GT-01. Dimana GT-01 didominasi oleh batu lempung yang berdasarkan hasil uji laboratorium memiliki nilai porositas yang tinggi: 51,98 % dan permeabilitas sebesar $6,84 \times 10^{-7}$ cm/s (Lampiran B). Berdasarkan hal tersebut maka diketahui karakteristik batu lempung pada lokasi penelitian memiliki porositas yang tinggi dan permeabilitas yang kecil, sehingga batuan tersebut dapat menampung air dalam jumlah yang besar tetapi sukar untuk mengalirkan air. Batu lempung bersifat ekspansif dimana batuan tersebut memiliki kemampuan untuk

menyerap air dan mengembang ketika terkena air, sebaliknya ketika air berkurang material ini akan menyusut dan menyebabkan stabilitas lereng akan terganggu. Keberadaan anak Sungai Putih menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kondisi muka air tanah. Aliran Sungai Putih menyebabkan adanya infiltrasi, dimana air akan masuk melalui pori batuan yang kemudian tertahan pada batu penyusun lereng sehingga kondisi air tanah semakin dekat dengan permukaan tanah pada area tenggara dari rencana penambangan PT Battoman Coal (Gambar 4.7).



Gambar 4. 7 Peta Persebaran muka air tanah berdasarkan pemantauan dengan metode *observation well* di PT Battoman Coal

4.2.2 Kondisi Muka Air Tanah berdasarkan Pizometer

Pemantauan kondisi muka air tanah dengan menggunakan piezometer dilakukan pada sumur uji. Sumur uji yang dimaksud merupakan lubang bekas pengeboran geoteknik yang kemudian dilakukan pemasangan piezometer *casagrande/standpipe* (Gambar 2.3). Jenis piezometer yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis piezometer *casagrande* atau *standpipe*. Piezometer jenis

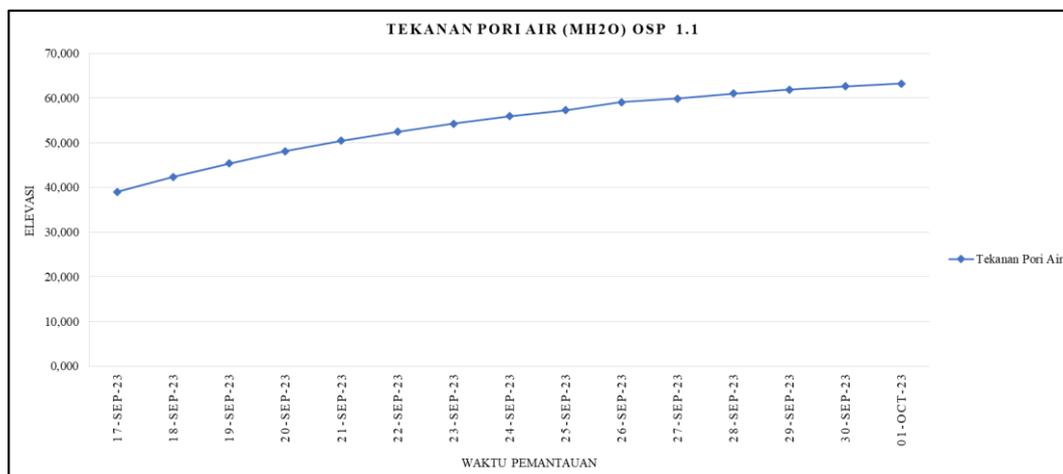
ini memiliki pori-pori pada bagian ujung pipanya. Pada ujung pipa tersebut juga dilengkapi dengan pasir no. 20 yang berfungsi untuk mencegah tanah ataupun batuan masuk ke dalam pipa piezometer. Sehingga hanya air yang masuk melalui pori-pori yang masuk ke dalam pipa (*tube*) yang kemudian diukur menggunakan *water level meter* (Gambar 4.8).



Gambar 4. 8 Pizometer *casagrande* dan kegiatan pemantauan muka air tanah pada PT Battoman Coal

Piezometer *casagrande* dipasang pada titik GT-01 dengan elevasi ketinggian alat berada pada 14,65 meter dan kedalaman alat pada elevasi – 52,80 meter yang dilakukan pada bulan September dan Oktober. Berdasarkan pengukuran diketahui tekanan air pori pada lokasi penelitian terus meningkat (lampiran C). Hal tersebut disebabkan oleh sifat material penyusun lereng terhadap air. Berdasarkan data stratigrafi log bor (Gambar 4.3) material penyusun lereng pada area rencana penambangan adalah batu pasir, batu lempung, batu lanau, batu lempung karbonan, dan batu lanau karbonan yang termasuk dalam kategori batuan akuitar. Akuitar merupakan material yang dapat menampung dan meloloskan air dalam jumlah kecil. Air kemudian masuk melalui pori-pori batuan yang kemudian menimbulkan adanya tekanan air pori pada batuan. Kenaikan tekanan air pori pada lereng akan menyebabkan menurunnya stabilitas lereng karena massa batuan dan kuat geser batuan akan menurun sehingga nilai faktor keamanan suatu lereng juga akan menurun. Tekanan air pori dihitung sebagai perbedaan elevasi muka air di dalam

pipa dengan elevasi ujung piezometer yang diukur secara manual menggunakan alat ukur *water level meter* yang akan berbunyi apabila ujung batangnya menyentuh air (Gambar 4.9).



Gambar 4. 9 Grafik tekanan air pori terhadap waktu pengukuran piezometer *casagrande*

Grafik diatas menunjukkan tekanan air pori pada lokasi penelitian mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Pengamatan dilakukan selama periode 15 hari pada sumur uji bekas pengeboran GT-01. Tekanan air pori meningkat ditunjukkan dengan penambahan ketinggian muka air tanah rata-rata pada lokasi penelitian berkisar 1,73 meter setiap harinya. Hal tersebut disebabkan oleh adanya batu lempung yang mendominasi pada area rencana penambangan. Dimana diketahui bahwa batu lempung pada lokasi penelitian memiliki nilai porositas yang tinggi (51,98 %) dan permeabilitas yang rendah ($6,84 \times 10^{-7}$ cm/s) yang menyebabkan air masuk dan terperangkap pada batuan yang menyebabkan material penyusun di atasnya bersifat jenuh air. Keberadaan anak Sungai Putih juga merupakan salah faktor yang menyebabkan adanya air tanah yang masuk ke dalam batuan penyusun. Kondisi material yang memiliki porositas yang tinggi memungkinkan untuk terjadinya infiltrasi air dari aliran anak Sungai Putih masuk kedalam batuan melalui pori-pori dan menyebabkan naiknya permukaan air tanah. Hal tersebut juga berkorelasi dengan hasil *observation well* dimana air tanah mengalami peningkatan ke arah

tenggara dari area rencana penambangan yang juga merupakan lokasi pemantauan air tanah dengan menggunakan piezometer *casagrande*.

4.3 Pengaruh Fluktuasi Muka Air Tanah terhadap Stabilitas Lereng *Highwall* PT Battoman Coal

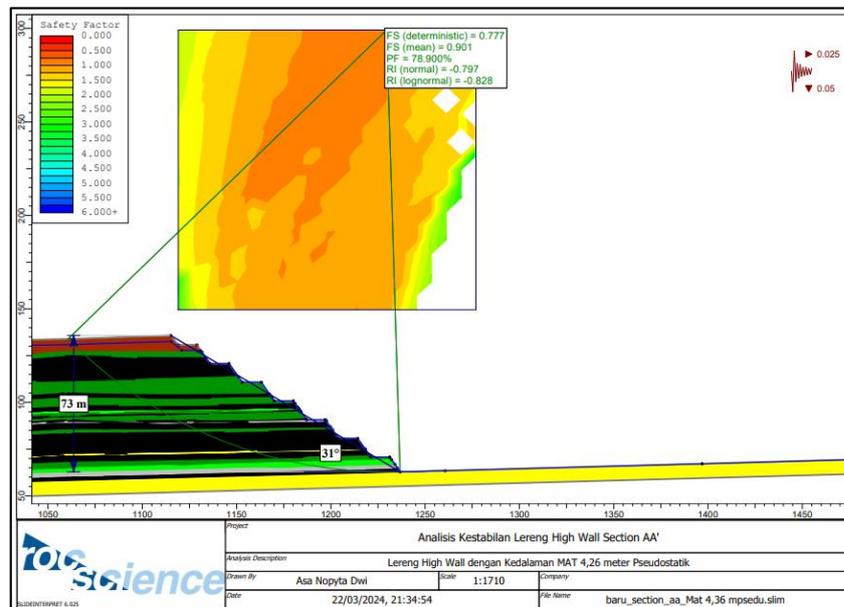
Analisis pengaruh fluktuasi muka air tanah terhadap stabilitas lereng *highwall* di lokasi penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi dan analisis stabilitas lereng dengan menggunakan bantuan *software Rocscience Slide V.6*. Analisis dilakukan dengan mensimulasikan kondisi muka air tanah berdasarkan kondisi aktual hasil pengukuran di lapangan. Analisis dilakukan pada kondisi pseudostatik untuk mengetahui stabilitas lereng pada kondisi kritis. Analisis dilakukan pada penampang AA' dan BB' untuk mengetahui pengaruh muka air tanah terhadap stabilitas *overall slope* yang telah direncanakan oleh PT Battoman Coal. Adapun nilai koefisien gempa horizontal yang digunakan dalam analisis sebesar 0,025 g sedangkan koefisien gempa vertikal PT Battoman Coal sebesar 0,05 g. Berikut adalah hasil pengukuran ketinggian muka air tanah periode bulan September hingga Oktober 2023 (Tabel 4.3).

Tabel 4 3 Hasil pengukuran muka air tanah menggunakan piezometer *casagrande* di PT Battoman Coal

No	Bulan	Kedalaman Sumur Bor (meter)	Kedalaman Muka air Tanah (meter)	Elevasi Pengukuran MAT (meter)	Elevasi Muka Air Tanah (meter)
1	September	52,8	28,45	14,65	-13,80
2	Oktober		4,26		10,39

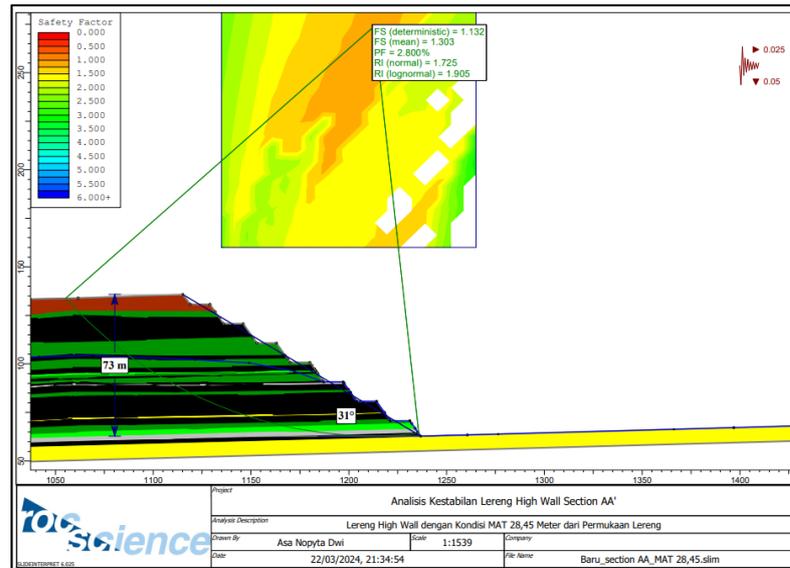
4.3.1 Kondisi Stabilitas Lereng *Highwall* Penampang AA'

Overall slope area highwall pada penampang AA' yang dirancang oleh PT Battoman Coal memiliki ketinggian 73 meter dengan sudut sebesar 31 derajat. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode Morgenstern Price dengan tipe keruntuhan Mohr Coulomb dengan bantuan *Software Rocscience Slide V.6.* yang dilakukan pada kondisi muka air tanah 4,26 meter, 28,45 meter, dan kondisi kering dengan menggunakan parameter geoteknik berupa kohesi, sudut geser dalam, dan bobot isi. Analisis dilakukan pada kondisi pseudostatik dengan melibatkan faktor kegempaan daerah. Berdasarkan analisis lereng *highwall* pada kedalaman air tanah 4,26 meter dari permukaan lereng diketahui nilai faktor keamanan sebesar 0,901 (Gambar 4.10).



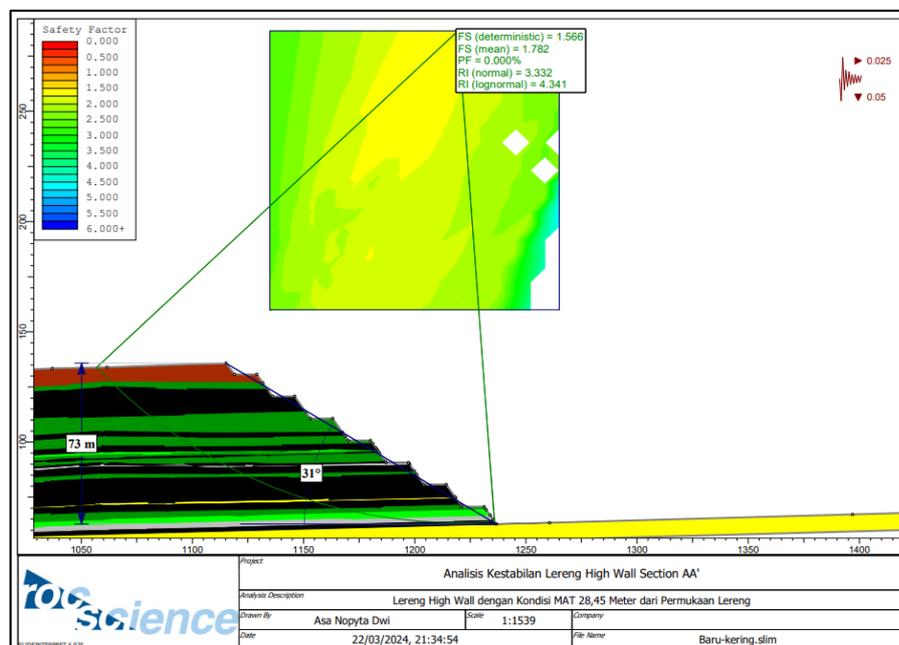
Gambar 4. 10 Kondisi stabilitas lereng keseluruhan area *highwall* penampang AA' dengan kedalaman air tanah 4,26 meter

Berdasarkan analisis lereng *highwall* pada kedalaman air tanah 28,45 meter diketahui nilai faktor keamanan sebesar 1,303 (Gambar 4.11).



Gambar 4. 11 Kondisi stabilitas lereng *highwall* penampang AA' pada kedalaman air tanah 28,45 meter dari permukaan lereng

Analisis lereng pada kondisi kering dilakukan untuk mengetahui stabilitas lereng tanpa adanya parameter air tanah. Berdasarkan analisis lereng *highwall* pada kondisi kering diketahui nilai faktor keamanan sebesar 1,782 (Gambar 4.12).



Gambar 4. 12 Kondisi stabilitas lereng *highwall* penampang AA' pada kondisi kering

Berikut tabel hasil analisis stabilitas lereng *highwall* pada penampang AA' yang dilakukan pada tiga kondisi yaitu kondisi kering dan kondisi air tanah pada kedalaman 4,26 meter dan 28,45 meter dari permukaan lereng (Tabel 4. 4).

Tabel 4 4 Hasil Analisis Stabilitas lereng dengan kondisi air tanah berdasarkan pengukuran piezometer *casagrande*

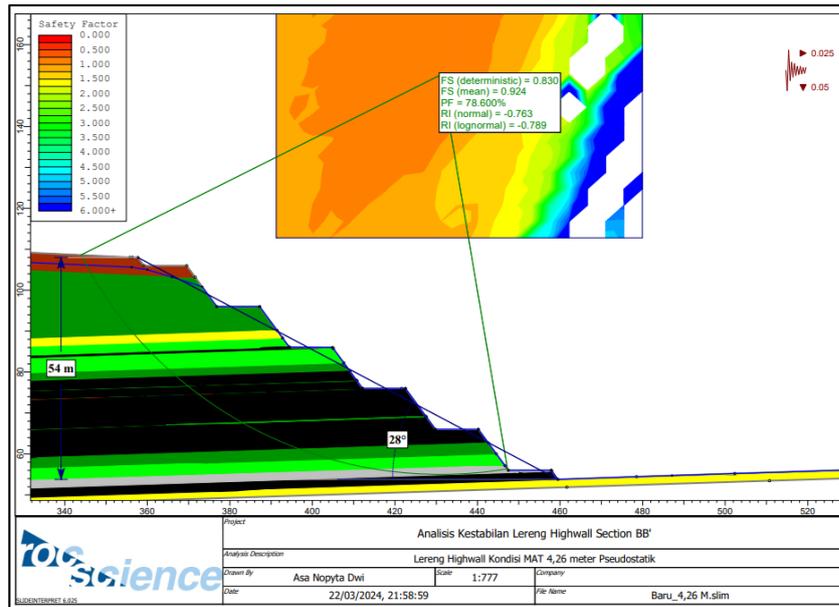
No	Kondisi Muka Air Tanah	Niai FK	Ket.
1	4,26 meter	0,901	Kritis
2	28,45 meter	1,303	Stabil
3	Kering	1,782	Stabil

Analisis stabilitas lereng *highwall* yang telah dilakukan pada penampang AA' dengan tiga kondisi air tanah berdasarkan pengukuran dan pemantauan piezometer *casagrande* di lapangan menunjukkan kondisi stabilitas lereng *overall slope area highwall* PT Battoman Coal tergolong dalam kategori kritis hingga stabil menurut Kepmen ESDM 1827K tahun 2018. Pada kondisi kedalaman air tanah 4,26 meter dari permukaan, stabilitas lereng tergolong kritis dengan nilai faktor keamanan (FK) sebesar 0,901 ($FK < 1$). Sedangkan pada air tanah dengan kedalaman 28,45 meter dan kondisi kering, stabilitas lereng tergolong stabil dengan nilai FK sebesar 1,303 dan 1,782. Adanya penambahan air tanah pada badan lereng akan menyebabkan turunnya kekuatan suatu batuan sehingga stabilitas lereng akan semakin menurun.

4.3.2 Kondisi Stabilitas Lereng *Highwall* Kondisi Penampang BB'

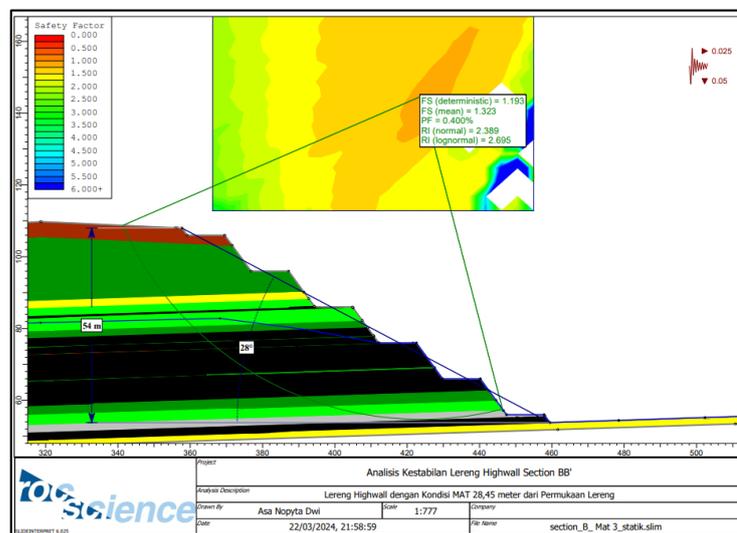
Overall slope area highwall pada penampang BB' dirancang memiliki ketinggian 54 meter dengan sudut sebesar 28 derajat. Sudut setiap jenjang sebesar 54 derajat. Analisis dilakukan pada kondisi muka air tanah 4,26 meter, 28,45 meter dan kondisi kering dengan menggunakan parameter geteknik berupa kohesi, sudut geser dalam, dan bobot isi. Analisis dilakukan pada kondisi pseudostatik.

Berdasarkan analisis lereng *highwall* pada kedalaman air tanah 4,26 meter diketahui nilai faktor keamanan sebesar 0,924 (Gambar 4.13).



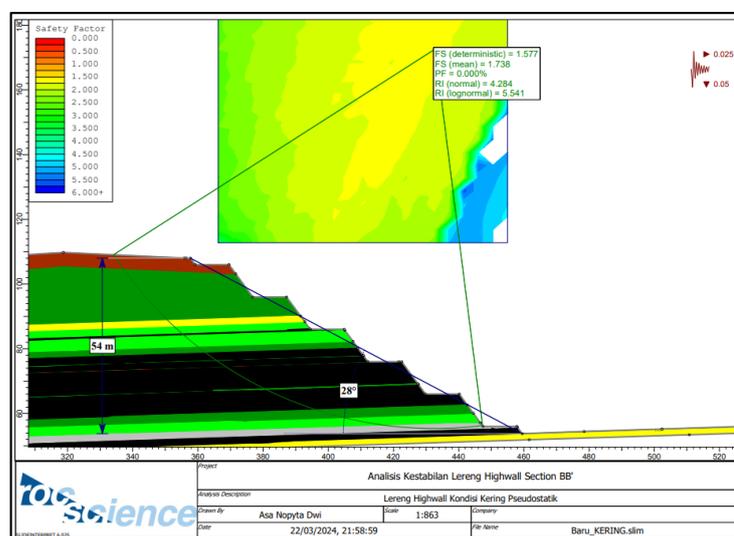
Gambar 4. 13 Kondisi stabilitas lereng *highwall* penampang BB' pada kondisi muka air tanah 4,26 meter

Berdasarkan analisis lereng *highwall* pada kedalaman air tanah 28,45 meter diketahui nilai faktor keamanan sebesar 1,323 (Gambar 4.14).



Gambar 4. 14 Kondisi stabilitas lereng *highwall* penampang BB' pada kondisi muka air tanah 28,45 meter dari permukaan lereng

Analisis stabilitas lereng pada penampang BB' juga dilakukan pada kondisi kering. Berdasarkan analisis lereng *highwall* pada kondisi kering diketahui nilai faktor keamanan sebesar 1,738 (Gambar 4.12).



Gambar 4. 15 Kondisi stabilitas lereng *highwall* penampang BB' pada kondisi kering

Berikut tabel hasil analisis stabilitas lereng *highwall* pada penampang BB' yang dilakukan pada tiga kondisi yaitu air tanah pada kedalaman 4,26 meter dan 28,45 meter dari permukaan serta kondisi kering (Tabel 4. 5).

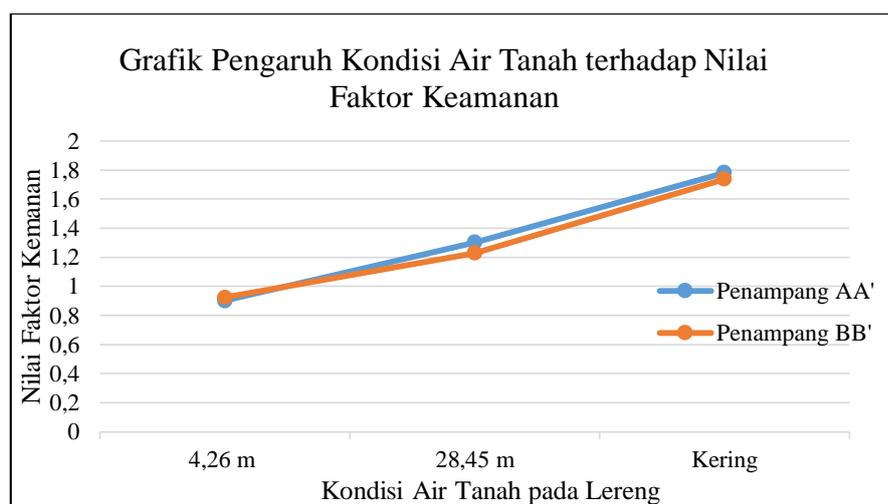
Tabel 4 5 Hasil analisis stabilitas lereng *highwall* yang direncanakan oleh PT Battoman Coal

No	Kondisi Muka Air Tanah	Niai FK	Ket.
1	4,26 meter	0,924	Kritis
2	28,45 meter	1,323	Stabil
3	Kering	1,738	Stabil

Hasil analisis menunjukkan kondisi muka air tanah berbanding terbalik dengan nilai faktor keamanan. Dimana semakin tinggi muka air tanah maka nilai faktor keamanan suatu lereng akan semakin menurun. Hal tersebut terjadi karena keberadaan air tanah pada tubuh lereng akan meningkatkan pembebanan pada lereng sehingga stabilitas lereng akan menurun. Analisis yang dilakukan pada

kondisi air tanah dengan kedalaman 4,26 didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 0,924. Sedangkan pada kondisi air tanah kedalaman 28,45 meter didapatkan nilai faktor keamanan pseudostatik sebesar 1,323 dan pada kondisi kering didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1,738. Sehingga dapat disimpulkan bahwa stabilitas lereng *highwall* pada penampang BB' tergolong dalam kategori kritis sampai stabil menurut Kepmen ESDM 1827K tahun 2018 pada kondisi pseudostatik.

Berikut grafik yang menunjukkan pengaruh kondisi air tanah terhadap nilai faktor keamanan pada PT Battoman Coal (Gambar 4. 16). Penurunan muka air tanah pada lereng akan menyebabkan peningkatan nilai faktor keamanan lereng sehingga stabilitas lereng akan semakin baik begitupun sebaliknya. Keberadaan air di lereng memiliki efek yang merugikan pada stabilitas lereng. Tekanan air yang berada di ruang pori dan bidang diskontinu akan mengurangi kekuatan batuan karena akan menambah massa batuan tersebut sehingga berkurangnya gaya penahan pada lereng dan memperbesar nilai probabilitistik kelongsoran. Berdasarkan data hasil analisis diketahui bahwa nilai faktor keamanan memiliki hubungan berbanding terbalik dengan kondisi muka air tanah. Stabilitas lereng *highwall* yang direncanakan oleh PT Battoman Coal pada penampang AA' dan BB' dengan kondisi muka air tanah 4,26 meter dan 28,45 meter serta pada kondisi kering tergolong kritis hingga stabil menurut Kepmen ESDM 1827K tahun 2018.



Gambar 4. 16 Grafik pengaruh kondisi muka air tanah terhadap nilai faktor keamanan PT Battoman Coal

4.4 Rekomendasi *Overall Slope Area Highwall*

Analisis yang dilakukan pada lereng *highwall* penampang AA' dan BB' dengan tinggi lereng 54 – 73 meter dan sudut *overall slope* 28 – 31 derajat yang dilakukan pada kondisi kering serta kondisi aktual variasi muka air tanah yang diukur dari atas permukaan tanah menunjukkan faktor keamanan lereng termasuk kedalam kategori kritis sampai stabil. Berdasarkan analisis dilakukan diketahui bahwa *overall slope* penampang AA' dan penampang BB' pada kondisi muka air tanah terjenuh memiliki nilai faktor keamanan yang tergolong kritis. Kondisi lereng yang kritis memungkinkan terjadinya kelongsoran pada lereng. Untuk mencegah terjadinya longsor dilakukan rekomendasi geometri *overall slope highwall* yang aman pada penampang AA' dan penampang BB' untuk PT Battoman Coal. Perancangan ulang geometri *overall slope area highwall* dilakukan pada kondisi muka air tanah terjenuh dan pada kondisi pseudostatik berdasarkan pemantuan piezometer di lapangan untuk mendapatkan geometri lereng yang aman pada kondisi paling kritis menurut Kepmen ESDM 1827K tahun 2018 dengan nilai faktor keamanan minimum (FK) ≥ 1.1 .

Perencanaan ulang geometri lereng *highwall* penampang AA' dan BB' dilakukan dengan melakukan simulasi rancangan geometri lereng pada kondisi air tanah 4,26 meter yang merupakan kondisi muka air tanah terjenuh berdasarkan pengukuran di lapangan (Lampiran D). Berdasarkan perhitungan dan perancangan ulang geometri lereng didapatkan bahwa *overall slope area highwall* penampang AA' dirancang memiliki ketinggian 73 meter dengan sudut sebesar 20 derajat dengan nilai FK sebesar 1,176. Sedangkan pada penampang BB', *overall slope area highwall* dirancang dengan ketinggian 54 meter dengan sudut sebesar 20 derajat yang setelah dilakukan analisis memiliki nilai FK sebesar 1,245 (Tabel 4.6).

Tabel 4 6 Rekomendasi geometri *overall slope highwall* PT Battoman Coal

Nama	Lereng Rancangan Awal					Nilai FK	Lereng Hasil Pelandaian					Nilai FK
	Geometri <i>Overall Slope</i>		Geometri <i>Single Slope</i>				Geometri <i>Overall Slope</i>		Geometri <i>Single Slope</i>			
	Tinggi (m)	Sudut	Tinggi (m)	Lebar (m)	Sudut		Tinggi (m)	Sudut	Tinggi (m)	Lebar (m)	Sudut	
<i>Highwall</i> penampang AA'	73	31	5	12	55	0,901 (Kritis)	73	20	5	12	45	1,176 (Stabil)
			10	12					8	12		
			10	12					8	12		
			10	12					8	12		
			10	12					8	12		
			10	12					8	12		
			10	12					8	12		
			8	12					8	12		
			8	12					8	12		
<i>Highwall</i> penampang BB'	54	28	2	12	55	0,924 (Kritis)	54	20	4	12	45	1,245 (Stabil)
			10	12					8	12		
			10	12					8	12		
			10	12					8	12		
			10	12					8	12		
			10	12					8	12		
			10	12					8	12		
			2	12					8	12		
			2	12					8	12		

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data yang dilakukan selama penelitian diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi geologi PT Battoman Coal tersusun atas batu lempung, batu lanau, batu pasir, batu lempung karbonan, batu lanau karbonan, dan batubara yang memiliki *dip* sebesar 13 derajat. Berdasarkan pengujian sifat fisik, bobot isi natural material (γ_n) pada PT Battoman Coal berkisar antara 12,48 – 18,42 KN/m³, bobot isi basah (γ_w) antara 12,76 – 18,93 KN/m³, dan bobot isi kering (γ_d) berkisar antara 7,21 – 15,11 KN/m³. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan nilai kohesi (c) material penyusun lereng PT Battoman Coal berkisar antara 53,20 – 97,19 KPa dan sudut geser dalam (ϕ) antara 13, 69 – 22,83 derajat.
2. Kondisi muka air tanah berdasarkan pengukuran melalui *observation well* diketahui air tanah pada lokasi penelitian semakin tinggi ke arah tenggara dari area rencana penambangan PT Battoman Coal. Sedangkan kondisi muka air tanah berdasarkan pemantauan piezometer *casagrande* yang diletakkan pada sumur pantau selama periode 15 hari diketahui bahwa tekanan air pori bertambah secara signifikan dengan rata-rata penambahan ketinggian sebesar 1,73 meter setiap harinya.
3. Stabilitas *overall slope* area *highwall* pada penampang AA' dan penampang BB' termasuk kedalam kategori kritis sampai stabil. Berdasarkan analisis yang dilakukan pada tiga kondisi air tanah diketahui bahwa pada kondisi air tanah dengan kedalaman 4,26 meter dari permukaan stabilitas penampang AA' dan BB' tergolong kritis dengan nilai FK secara berturut-turut sebesar 0,901 dan 0,924 pada kondisi pseudostatik. Sedangkan pada kondisi MAT 28,45 meter dari permukaan diketahui nilai FK pada penampang AA' sebesar 1,303 dan penampang BB sebesar 1,323. Nilai FK kondisi kering pada penampang AA' sebesar 1,782 dan pada penampang BB sebesar 1,738.

4. Rekomendasi *overall slope* dirancang sesuai dengan Kepmen ESDM 1827K tahun 2018 dengan nilai $FK \geq 1,1$ untuk mendapatkan stabilitas lereng yang aman dengan mempertimbangkan kegempaan daerah (pseudostatik). *Overall slope area highwall* penampang AA' dirancang memiliki ketinggian 73 meter dengan sudut sebesar 20 derajat yang berdasarkan analisis didapatkan nilai FK sebesar 1,176. Sedangkan pada penampang BB', *overall slope area highwall* dirancang dengan ketinggian 54 meter dengan sudut sebesar 20 derajat yang setelah dilakukan analisis memiliki nilai FK sebesar 1,245.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian pada studi, pengolahan dan analisis data yang dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan kepada perusahaan dalam rangka analisis dan stabilitas lereng rencana penambangan sebagai berikut:

1. Karakteristik material penyusun lereng area penambangan bersifat *permeabel* sehingga perlu dilakukan pemantauan kondisi muka air tanah secara berkala selama kegiatan penambangan berlangsung.
2. Kegiatan pemantauan air tanah pada lokasi penelitian perlu dilakukan ketika musim kemarau untuk mengetahui pengaruh air tanah pada stabilitas lereng ketika curah hujan rendah.
3. Kondisi stabilitas lereng rencana berdasarkan analisis termasuk kedalam kategori kritis, sehingga diharapkan perusahaan menerapkan rekomendasi lereng *highwall* yang telah diberikan kepada perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., Adnyano, A. I., & Rande, A. S. (2021). "Rekomendasi Geometri Lereng Penambangan Optimum pada Tambang Batugamping Pt Citatih Putra Sukabumi." *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi Xvi Tahun 2021 (Retii)*, (Pp. 544-554). Yogyakarta.
- Arif, I. (2021). "*Geoteknik Tambang Edisi Kedua*." Jakarta: Pt Gramedia Pustaka Utama.
- Bieniawski, Z. T. (1989). "*Engineering Rock Mass Classifications*." Canada: A Wiley-Interscience Publication.
- Firmanda, G. (2020). "*Pemodelan Dasar Hidrogeologi dengan Seep/W Lereng Nusantara*." Jakarta.
- Handayani, T., Wulandari, S., & Wulan, A. (2014). "Pengaruh Muka Tanah terhadap Stabilitas Lereng Menggunakan Geoslope/W 7.12." *Prosiding Seminar Ilmiah Nasional Komputer Dan Sistem Intelejen (Kommit 2014)*, 409.
- Haryanto, L., & Basuki, S. (2006). "Analisis Kestabilan Lereng Timbunan Overburden : Studi Kasus Desa Kampung Baru Kecamatan Cempaka Banjarbaru." *Info Teknik*, 41-47.
- Hasan, B. M., & Heriyadi, B. (N.D.). "Analisis Balik Kestabilan Lereng Tambang Batubara Pit Rts-C Sisi Barat Wup Roto-Samurangau Pt. Kideco Jaya Agung, Kecamatan Batu Sopang, Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur." *Jurnal Bina Tambang*, 74-84.
- Hoek, E., & Bray, J. D. (1981). "*Rock Slope Engineering Three Edition*." London: The Institution Of Mining And Metalurgy.
- Hustrulid, W., Kutcha, M., & Martin, R. (2013). "*Open Pit Mine Planning & Design 3rd Edition*." Crc Press.
- Kadang, E. S., Trides, T., & Devy, S. D. (2019). "Analisis Kestabilan Lereng Low Wall Pit 7 Selatan Blok Am yang Dipengaruhi Air Tanah di PT. Alamjaya Bara Pratama, Kecamatan Loakulu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur." *Jurnal Teknologi Mineral Ft Unmul*, 15-22.

- Kepmen Menteri Esdm 1827k Tahun 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Pertambangan Yang Baik.* (N.D.).
- Pupr, K. (2017). *"Modul Instrumentasi Bendungan Urugan Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar."* Bandung: Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Sumber Daya Air Dan Konstruksi.
- Purnama, A. I., & Kopa, R. (2021). "Analisis Kestabilan Lereng pada Lereng Akhir Penambangan PT. Koto Alam Sejahtera Kecamatan Pangkalan Koto Baru Kabupaten Lima Puluh Kota Provinsi Sumatera Barat." *Jurnal Bina Tambang*, 65-77.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. (2013). *"Mekanika Batuan."* Bandung: Penerbit Institut Teknologi Bandung.
- Read, J., & Stacey, P. (2009). *"Guidelines For Open Pit Slope Design."* Australia: Csiro Publishing.
- Sari, U. C., Wardani, S. P., Suharyanto, & Partono, W. (2016). "Analisis Tekanan Air Pori Menggunakan Metode Elemen Hingga dengan Pemodelan Mohr-Coulomb Pada"
- Stacey, P. (2009). *Guidelines For Open Pit Slope Design.*
- Sundoyo, & Orlanda, E. R. (2020). "Kajian Mekanisme Pemboran Geotek dan Reconciled Data Bor dengan Data Logging pada PT Tambang Damai Site Blok A Kabupaten Kutai Timur Provinsi Kalimantan Timur." *Jurnal Geologi Pertambangan*, 4-5.
- Vickyla, M., Irvan. S., & Dicky, M. (2019). "Pengaruh Muka Air Tanah terhadap Kestabilan Lereng Tambang X." *Geoscience Journal*, 191 - 198.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *"Soil Mechanics In Engineering Practice Third Edition."* New York: John Wiley & Sons Inc.
- Wiradani, P. K., & Heriyadi, B. (N.D.). "Analisis Probabilitas Kelongsoran Menggunakan Metode Monte Carlo pada Highwall Pit Sb-Ii Bk-14 PT Trubaindo Coal Mining, Site Melak, Kabupaten Kutai Barat, Kalimantan Timur." *Jurnal Bina Tambang*, 1617.