

SKRIPSI

ANALISIS FAKTOR KEAMANAN LERENG *DISPOSAL* DALAM PENENTUAN ARAH DAN JARAK AMAN *SEQUENCE DUMPING* PADA IPD BC3, PT. ARUTMIN INDONESIA TAMBANG KINTAP, KALIMANTAN SELATAN

Disusun dan diajukan oleh:

REYNALDI DWI CAHYO
D061 19 1062



PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024

SKRIPSI**ANALISIS FAKTOR KEAMANAN LERENG *DISPOSAL*
DALAM PENENTUAN ARAH DAN JARAK AMAN
SEQUENCE DUMPING PADA IPD BC3, PT. ARUTMIN
INDONESIA TAMBANG KINTAP, KALIMANTAN SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh:

**REYNALDI DWI CAHYO
D061 19 1062**



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**ANALISIS FAKTOR KEAMANAN LERENG *DISPOSAL*
DALAM PENENTUAN ARAH DAN JARAK AMAN
SEQUENCE DUMPING PADA IPD BC3, PT. ARUTMIN
INDONESIA TAMBANG KINTAP, KALIMANTAN SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh:

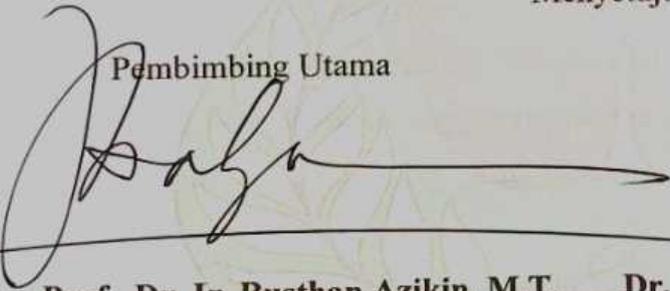
**REYNALDI DWI CAHYO
D061 19 1062**

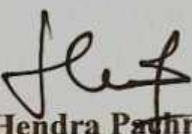
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 15 Mei 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping


Prof. Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T.
NIP 195910081987031001


Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng.
NIP 197712142005011002

Mengetahui
Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin


Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng.
NIP 197712142005011002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Reynaldi Dwi Cahyo
NIM : D061 19 1062
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul

***“ANALISIS FAKTOR KEAMANAN LERENG DISPOSAL DALAM
PENENTUAN ARAH DAN JARAK AMAN SEQUENCE DUMPING PADA
IPD BC3, PT. ARUTMIN INDONESIA TAMBANG KINTAP, KALIMANTAN
SELATAN”***

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa laporan pemetaan yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam laporan skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitnya. Oleh karena itu, semua tulisan dalam laporan skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam laporan skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan laporan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan ini laporan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Mei 2024



Yang Menyatakan

Reynaldi Dwi Cahyo
Reynaldi Dwi Cahyo
NIM. D061 19 1062

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang mana telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “**Analisis Faktor Keamanan Lereng *Disposal* Dalam Penentuan Arah Dan Jarak Aman *Sequence Dumping* Pada IPD BC3, PT. Arutmin Indonesia Tambang Kintap, Kalimantan Selatan**”.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tak lepas dari bantuan berbagai pihak telah telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis dalam menyusun laporan penelitian ini. Oleh karenanya, izinkan saya menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T sebagai dosen pembimbing utama yang telah meluangkan banyak waktu, tenaga dan ilmunya dalam proses penyusunan laporan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing pendamping sekaligus ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mengarahkan dan memberikan banyak masukan kepada penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Sultan, S.T, M.T selaku dosen penguji sekaligus penasehat akademik yang telah memberikan saran dan masukan baik selama perkuliahan sampai ujian seminar
4. Ibu Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L., M. T selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan baik kepada penulis.
5. Bapak dan Ibu dosen pada Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bimbingannya dan juga ilmu yang tak terhitung selama perkuliahan.
6. Staf Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya dalam pengurusan administrasi penelitian.
 edua Orang Tua penulis, yang tidak henti-hentinya memberikan kasih sayang dan dukungannya baik moril maupun materil serta doa restu yang



senantiasa terucap tiada henti yang kemudian menjadi sumber semangat bagi penulis selama ini.

8. Bapak Lutfi Qolbirokhim sebagai Kepala Teknik Tambang PT Arutmin Indonesia Tambang Kintap yang telah memberikan izin dan kesempatan kepada penulis untuk bisa melaksanakan magang dan pengambilan data tugas akhir di PT Arutmin Indonesia Tambang Kintap.
9. Bapak Chandra Eka Putra sebagai pembimbing magang yang telah membimbing dan mengarahkan selama magang.
10. Mas Alvian Bonar, Mas Irfan Nugroho, Kang Aad dan Mas Gilbert yang selalu memberikan ilmu, pengalaman, bimbingan, nasihat dan saran khususnya terkait geoteknik pertambangan dan geologi pertambangan kepada penulis.
11. Mas Reza dan Mas Aliando yang telah memberikan bantuan informasi, ilmu, pengalaman serta motivasi dan nasihat kepada penulis.
12. Segenap rekan kerja PT Arutmin Indonesia Tambang Kintap yang telah membagi ilmu dan pengalaman kerjanya kepada penulis.
13. Segenap keluarga Geologi 2019 (Jaeger19) yang menjadi teman berjuang dan selalu memberikan bantuan juga semangatnya kepada penulis selama perkuliahan.
14. Pihak-pihak lain yang membantu dalam penyusunan laporan magang ini

Dalam kerendahan hati penulis meminta maaf bila terdapat kesalahan dalam penulisan dan penguraian Laporan Skripsi ini, sehingga kritik maupun saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk menyempurnakan laporan ini. Harapan penulis agar Laporan Skripsi ini dapat berguna bagi pembaca dan dapat menjadi acuan pembelajaran bagi penulis. Semoga semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Laporan ini mendapat balasan yang berlimpah dari Tuhan Yang Maha Esa.

Makassar, Mei 2024

Penulis



ABSTRAK

REYNALDI DWI CAHYO. *Analisis Faktor Keamanan Lereng Disposol Dalam Penentuan Arah dan Jarak Aman Sequence Dumping Pada IPD BC3, PT. Arutmin Indonesia Tambang Kintap, Kalimantan Selatan* (dibimbing oleh Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T dan Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng)

Daerah penelitian berada pada kawasan IUPK PT. Arutmin Indonesia Tambang Kintap IPD BC3, Kecamatan Kintap, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan. Kestabilan lereng suatu timbunan dalam pertambangan sangat penting untuk diperhitungkan dalam upaya meminimalisir kecelakaan unit akibat kegagalan suatu lereng timbunan. Dalam operasionalnya Kestabilan lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu muka air tanah, sudut lereng, nilai kuat geser tanah dan jenis tanah lapisan penyusunnya yang memiliki nilai kohesi dan sudut geser dalam yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui stabil atau tidaknya suatu lereng timbunan yang ditampilkan dalam bentuk nilai faktor keamanan untuk menentukan batas *dumping* dan mengetahui arah *dumping* paling efisien. Tahapan dari proses analisis kestabilan lereng ini dilakukan dengan menggunakan metode Bishop, yang dalam proses analisisnya menggunakan *software Geostudio Slope/W 2018*. Parameter yang digunakan yaitu sudut geser dalam, kohesi, berat jenis tanah, dan muka air tanah. Berdasarkan hasil analisis *section A-F* dengan 3 kali kemajuan, menunjukkan nilai $FK = 0.834 - 1.473$ yang dominan tidak stabil. Sehingga simulasi pengamanan dilakukan dengan mencari nilai bidang gelincir yang menunjukkan $FK \geq 1.25$ dengan menjauhkan titik beban dari arah *crest*. Batas *dumping* yaitu jarak *crest* lereng dengan batas bidang gelincir yang terindikasi menghasilkan nilai $FK \geq 1.25$. Berdasarkan batas *dumping* maka arah penimbunan dilakukan dari arah barat dilanjutkan ke arah utara.

Kata Kunci: Kestabilan Lereng, *Disposal*, Batas *Dumping*, FK , *Overburden*



ABSTRACK

REYNALDI DWI CAHYO. *Safety Factor Analysis of Disposal Slope for Determining the Direction and Safe Distance of Sequence Dumping at IPD BC3, PT. Arutmin Indonesia Site Kintap, South Kalimantan (supervised by Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T and Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng)*

Location of research area is at IPD BC3 PT. Arutmin Indonesia Site Kintap IUPK area, Kintap Sub-District, Tanah Laut District, South Kalimantan Provincial. The slope stability of an embankment in mining is very important to take into account in an effort to minimize unite losses due to the failure of an embankment slope. In its operation, the slope stability is influenced by several factors, the ground water, the angel of slope, the strong value of soil shear and the type of constituent layer soil which has the value of cohesion and the angel of different friction. The research aimed to determine the slope stability which is show in the value of safety factor for determining dumping limit boundary and find out the most efficient dumping sequence. The stage of the process of slope stability analysis were conducted by using Bishop method, which is in the process of slope analysis using Geostudio Slope/W 2018 software. The parameters used were the friction angel, cohesion, density of the soil, and the ground water. Based on the result of the analysis of section A-F with three advances, the $FK = 0.834 - 1.473$ is dominantly unstable, so the safety simulation is carried out by finding the value of sliding plane that shows a $FK \geq 1.25$ by moving the load point away from the crest direction. Beside on the dumping limit, the most efficient dumping direction is done from the west and continued to the north.

Keywords: *Slope Stability, Disposal, Dumping Limit, FK, Overburden*



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL
LEMBANR TUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Geomorfologi Regional Daerah Penelitian	4
2.1.1 Stratigrafi Regional Daerah Penelitian.....	5
2.1.2 Struktur Geologi Regional	9
2.2 <i>Disposal</i>	10
2.3 <i>In Pit Dump</i>	11
2.4 Sifat Fisik Tanah	12
2.5 Sifat Mekanik Tanah	13
2.6 Lereng	14
Stabilitas Lereng.....	14
Faktor Penyebab Ketidakstabilan Lereng	16
Metode Perencanaan Lereng dan Stabilitas Lereng dalam Rekayasa Geoteknik.....	17



2.10 Gerakan Massa Tanah	18
2.11 Faktor Keamanan	21
2.12 Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Kesetimbangan Batas	22
2.13 Analisis Lereng Tanah	24
2.14 Kriteria Penimbunan	25
BAB III METODE PENELITIAN	26
3.1 Lokasi Penelitian	26
3.2 Variabel Penelitian	26
3.3 Alat dan Bahan	27
3.4 Metode Penelitian	27
3.5 Tahapan Penelitian	27
3.5.1 Studi Literatur	27
3.5.2 Observasi	28
3.5.3 Pengambilan Data	28
3.5.4 Pengolahan Data	30
3.5.5 Rekomendasi	31
3.5.6 Penyusunan Laporan	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Kondisi Aktual Daerah Penelitian	33
4.2 Kondisi Aktual Lereng Timbunan	33
4.3 Simulasi Penambahan Timbunan	34
4.3.1 Simulasi Penambahan Timbunan Lereng <i>Section A</i>	37
4.3.2 Simulasi Penambahan Timbunan Lereng <i>Section B</i>	38
4.3.3 Simulasi Penambahan Timbunan Lereng <i>Section C</i>	39
4.3.4 Simulasi Penambahan Timbunan Lereng <i>Section D</i>	41
4.3.5 Simulasi Penambahan Timbunan Lereng <i>Section E</i>	42
4.3.6 Simulasi Penambahan Timbunan Lereng <i>Section F</i>	43
4.4 Hasil Analisis Simulasi Penambahan Timbunan	44
4.5 Rekomendasi Design Final Penambahan Timbunan	45
4.5.1 Memundurkan Titik Beban Tambahan	46
4.5.1.1 Memundurkan Titik Beban Tambahan Lereng <i>Section A</i>	46
Memundurkan Titik Beban Tambahan Lereng <i>Section B</i>	47
Memundurkan Titik Beban Tambahan Lereng <i>Section C</i>	48
Memundurkan Titik Beban Tambahan Lereng <i>Section D</i>	50
Memundurkan Titik Beban Tambahan Lereng <i>Section E</i>	51



4.5.1.6 Memundurkan Titik Beban Tambahan Lereng <i>Section F</i>	52
4.5.2 Hasil Analisis Kestabilan Lereng <i>Disposal</i>	53
4.5.3 Mencari Batas Aman <i>Dumping</i>	54
4.6 Rekomendasi Arah <i>Sequence Dumping</i>	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA	59



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Geologi dari Cekungan Barito dan Cekungan Asem-Asem (Witts et al, 2011).....	4
Gambar 2	Kolom Stratigrafi Cekungan Asem-Asem	7
Gambar 3	Geologi Regional Daerah Penelitian (modifikasi dari Sikumbang dan Heryanto, 1994).....	8
Gambar 4	(A) Struktur Geologi Regional Pulau Kalimantan (modifikasi dari Kusuma, 1989), (B) Elemen tektonik utama Cekungan Asem-Asem (Bon et al., 1996).....	9
Gambar 5	Proses Penimbunan Material <i>Overburden</i> pada <i>In pit Dump</i>	12
Gambar 6	Sketsa Lereng dan Gaya yang Bekerja (Parcher & Means, 1974).....	15
Gambar 7	Longsor Busur (Hoek dan Bray, 1981)	19
Gambar 8	Longsor Bidang (Hoek dan Bray, 1981)	20
Gambar 9	Longsor Baji (Hoek dan Bray, 1981)	21
Gambar 10	Longsor Guling (Hoek dan Bray, 1981).....	21
Gambar 11	Analisis kestabilan lereng metode kesetimbangan batas dengan cara Bishop yang disederhanakan (Bhisop, 1955 dalam Das, 2010): (a) bidang gelincir yang dibagi menjadi beberapa irisan; (b) gaya yang bekerja pada tiap irisan.....	23
Gambar 12	Model-model keruntuhan pada lereng yaitu (a) <i>slope failure</i> (b) <i>toe failure</i> dan (c) <i>base failure</i> (Rockscience, 2003)	24
Gambar 13	Lokasi konsesi PT Arutmin Indonesia	26
Gambar 14	Lokasi daerah penelitian.....	26
Gambar 15	Tampilan <i>Critical Cross Section</i> pada Disposol (PT. Arutmin Indonesia, 2023).....	28
Gambar 16	Tampilan <i>Section 1</i>	29
Gambar 17	Tampilan <i>Section 2</i>	29
Gambar 18	Tampilan <i>Section 3</i>	29
Gambar 19	Tampilan <i>Section 4</i>	29
Gambar 20	Tampilan <i>Section 5</i>	29
Gambar 21	Tampilan <i>Section 6</i>	29
Gambar 22	<i>Overview</i> Area Penelitian.....	30
Gambar 23	Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	32
Gambar 24	Kondisi Aktual Lokasi IPD BC3.....	33
Gambar 25	Kondisi Aktual Lereng Timbunan yang Menunjukkan Adanya Longsor Lokal (PT. Arutmin Indonesia, 2023)	34
	26 <i>Cross Section</i> sebagai Jalur dalam Melakukan Penimbunan (PT. Arutmin Indonesia, 2023)	35
	27 Lokasi Jalur Keluar Aliran Air.....	36



Gambar 28 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.....	37
Gambar 29 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> A kemajuan timbunan 1.....	38
Gambar 30 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> A kemajuan timbunan 2.....	38
Gambar 31 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> A kemajuan timbunan 3.....	39
Gambar 32 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> B kemajuan timbunan 1.....	39
Gambar 33 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> B kemajuan timbunan 2.....	39
Gambar 34 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> B kemajuan timbunan 3.....	40
Gambar 35 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> C kemajuan timbunan 1.....	40
Gambar 36 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> C kemajuan timbunan 2.....	40
Gambar 37 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> C kemajuan timbunan 3.....	41
Gambar 38 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> D kemajuan timbunan 1.....	41
Gambar 39 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> D kemajuan timbunan 2.....	42
Gambar 40 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> D kemajuan timbunan 3.....	42
Gambar 41 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> E kemajuan timbunan 1.....	42
Gambar 42 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> E kemajuan timbunan 2.....	43
Gambar 43 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> E kemajuan timbunan 3.....	43
Gambar 44 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> F kemajuan timbunan 1.....	43
Gambar 45 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> F kemajuan timbunan 2.....	44
Gambar 46 Simulasi lereng awal pada <i>section</i> F kemajuan timbunan 3.....	44
Gambar 47 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> A kemajuan 1.....	46
Gambar 48 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> A kemajuan 2.....	47
Gambar 49 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> A kemajuan 3.....	47
Gambar 50 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> B kemajuan 1.....	48
Gambar 51 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> B kemajuan 2.....	48
Gambar 52 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> B kemajuan 3.....	48
Gambar 53 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> C kemajuan 1.....	49
Gambar 54 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> C kemajuan 2.....	49
Gambar 55 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> C kemajuan 3.....	49
Gambar 56 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> D kemajuan 1.....	50
Gambar 57 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> D kemajuan 2.....	50
Gambar 58 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> D kemajuan 3.....	51
Gambar 59 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> E kemajuan 1.....	51
Gambar 60 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> E kemajuan 2.....	51
Gambar 61 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> E kemajuan 3.....	52
Gambar 62 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> F kemajuan 1.....	52
Gambar 63 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> F kemajuan 2.....	52
Gambar 64 Jarak aman <i>dumping</i> pada <i>section</i> F kemajuan 3.....	53
55 Cara menentukan batas <i>dumping dump truck</i>	54
56 <i>Sequence</i> tahapan penimbunan IPD BC3.....	55



DAFTAR TABEL

Tabel 1	Klasifikasi tanah menurut USCS (Casagrande, 1942 dalam Hardiyatmo, 2002).....	13
Tabel 2	Hubungan Nilai FK dan Kemungkinan Kelongsoran Lereng (Bowles, 1989).....	22
Tabel 3	Data Propertis Material Berdasarkan Uji Laboratorium (PT. Arutmin Indonesia, 2023)	28
Tabel 4	Geometri lereng timbunan dan data tambahan	37
Tabel 5	FK Timbunan Simulasi Awal Arah Selatan – Utara	44
Tabel 6	FK Timbunan Simulasi Awal Arah Timur – Barat	45
Tabel 7	FK dan jarak <i>dumping</i> aman setelah mencari batas aman <i>dumping</i>	54
Tabel 8	FK dan jarak <i>dumping</i> yang dipertimbangkan dalam penentuan <i>sequence</i>	55



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
°	Derajat
ASTM	<i>American Standar Test Material</i>
dkk	dan kawan-kawan
FK	Faktor Keamanan
IPD	<i>In Pit Dump</i>
kN	Kilo Newton
NNE	Nort Nort East
SSW	South South West
Tet	Tersier Eosen Tanjung
Tmw	Tersier Miosen Warukin
Tomb	Tersier Oligosen Miosen Berai
TQd	Tersier Quarter Dahor
UU	Undang-Undang
σ	Tegangan Normal
τ	Tegangan Geser
φ	Sudut Geser Tanah



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Formasi Warukin merupakan salah satu formasi yang ada di Kalimantan Selatan dimana dikenal sebagai formasi pembawa cadangan batubara. Formasi Warukin sendiri merupakan formasi yang termasuk dalam cekungan Asem-Asem, dimana terdiri dari perselingan batupasir kuarsa halus-kasar setempat konglomeratan dan batulempung, dengan sisipan batulempung pasiran dan batubara (Sikumbang dan Heryanto, 1994).

Dalam pemanfaatan potensi bahan galian berupa batubara pada lokasi tersebut, maka dilakukan suatu penambangan batubara dengan menggunakan metode *open pit mining* atau penambangan terbuka. Metode penambangan terbuka merupakan salah satu metode penambangan yang memiliki risiko kecelakaan yang tinggi khususnya dalam permasalahan kelongsoran. Kelongsoran dapat terjadi pada lereng tambang ataupun timbunan hasil penggalian pada *disposal*. Sehingga untuk perencanaan penambangan yang berjalan lama dan aman diperlukan perhitungan yang mendalam terhadap permasalahan tersebut.

Dalam penambangan terbuka, dilakukan suatu kegiatan pengupasan lapisan tanah penutup, yaitu pemindahan suatu lapisan tanah atau batuan yang berada di atas cadangan bahan galian, agar bahan galian tersebut menjadi tersingkap (Sahrul dan Ismail, 2017). Tanah dan batuan yang digali tersebut dinamakan *overburden*. *Overburden* yang telah digali tersebut tentulah harus dibuang dalam suatu lokasi yang telah disediakan dan direncanakan sebelumnya. Lokasi tersebut dinamakan *disposal*.

Disposal adalah tempat pembuangan yang dirancang untuk menampung material buangan *overburden* dan material lainnya dari tambang. *Disposal* biasanya dibuat pada lubang-lubang bekas penambangan atau *void* yang lebih dikenal dengan IPD (*In Pit Dump*). Apabila lubangnya telah penuh, maka an dari *disposal* ini akan ditutupi dengan lapisan tanah penutup (*Top Soil*) jadikan daerah reklamasi. Tujuan dari perancangan *disposal* adalah *sequence dumping* aman untuk mencegah terjadinya kecelakaan pada



saat pengoperasian rencana disposal seperti tabrakan antar alat berat maupun terjatuh ke dalam air karena kegagalan kestabilan di *disposal*.

Atas dasar itu, maka penulis melakukan suatu kajian yang berjudul **“Analisis Faktor Keamanan Lereng *Disposal* dalam Penentuan Arah dan Jarak Aman *Sequence Dumping* Pada IPD BC3, PT. Arutmin Indonesia Tambang Kintap, Kalimantan Selatan”** dengan perencanaan desain dan analisis geometri lereng yang baik, diharapkan akan mengurangi risiko kegagalan kestabilan lereng *disposal*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana nilai faktor keamanan (FK) dari lereng timbunan pada area *disposal* IPD BC3?
2. Faktor apa yang mempengaruhi kestabilan dari timbunan pada area *disposal* IPD BC3?
3. Rekomendasi bagaimana yang dapat digunakan dalam mengatasi permasalahan kestabilan lereng timbunan pada area *disposal* IPD BC3?
4. Bagaimana arah timbunan yang aman pada lereng timbunan pada area *disposal* IPD BC3?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui nilai faktor keamanan (FK) dari lereng timbunan pada area *disposal* IPD BC3
2. Mengetahui faktor yang mempengaruhi kestabilan dari lereng timbunan pada area *disposal* IPD BC3
3. Menentukan rekomendasi dalam mengatasi permasalahan kestabilan lereng timbunan pada area *disposal* IPD BC3
4. Menentukan arah timbunan yang efisien pada lereng timbunan pada area *disposal* IPD BC3



1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian terkait dengan analisis kestabilan lereng pada area *disposal* IPD BC3 ini memiliki beberapa manfaat, baik manfaat secara praktis maupun secara teoritis.

1. Manfaat Praktis
 - a. Memberikan informasi mengenai tingkat keamanan lereng timbunan pada area *disposal* IPD BC3 dan memberikan rekomendasi penanganan kestabilan lereng jika factor keamanan (FK) yang didapatkan tidak mencapai nilai yang diharapkan perusahaan yaitu berdasarkan klasifikasi Bowles (1984)
 - b. Menjadikan sebagai salah satu bahan pertimbangan perusahaan dalam memberikan rekomendasi Rancangan Kerja Anggaran Perusahaan (RKAP) terkait operasi penimbunan pada area *disposal* IPD BC3
 - c. Memberikan rancangan terhadap arah dan batas *dumping* aman sehingga operasi penimbunan pada area *disposal* IPD BC3 dapat berlangsung aman dan terkendali
2. Manfaat Teoritis

Penelitian ini memiliki manfaat teoritis yaitu untuk memberikan landasan bagi para penelitian lain yang sejenis dan dapat dikembangkan menjadi lebih sempurna.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini dideskripsikan secara singkat sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian berada pada area *disposal* IPD BC3 PT Arutmin Indonesia Tambang Kintap
2. Muka air tanah diasumsikan stengah dari timbunan
3. Penentuan *sequence* dilakukan dengan prioritas penimbunan berdasarkan jarak terkecil dari semua arah

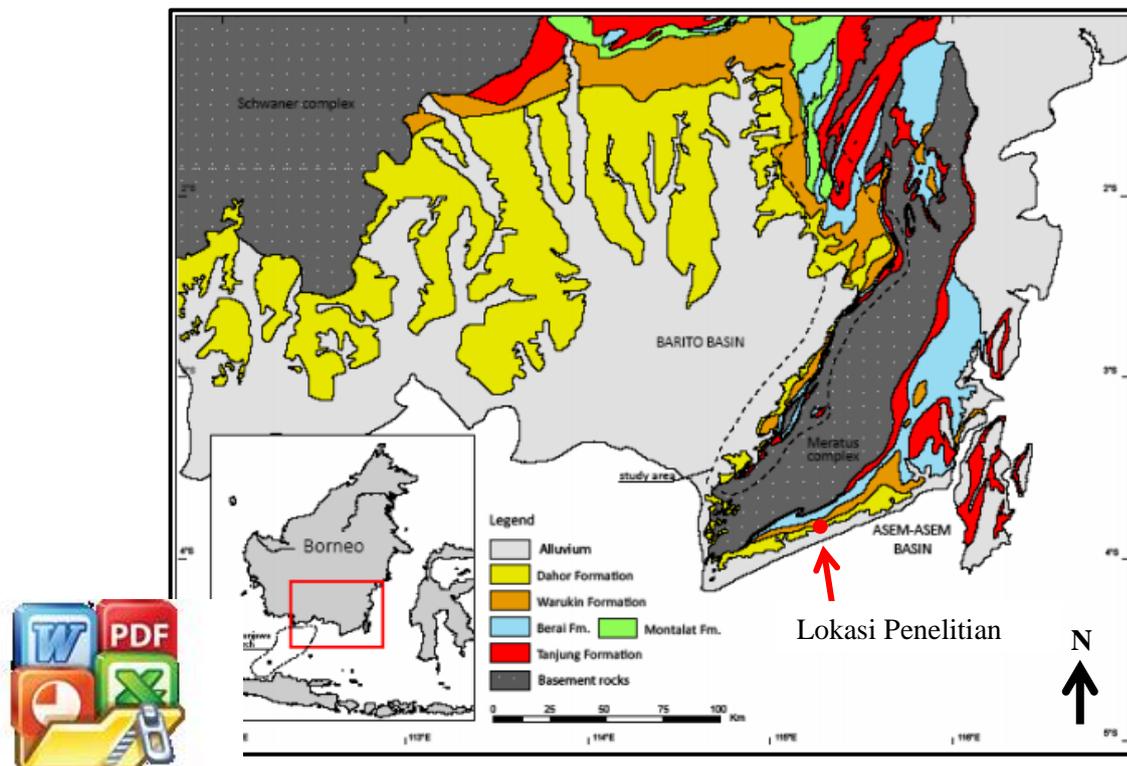


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

Daerah penelitian terdapat pada Sub/cekungan Asem-Asem (Heryanto, 2008) yang terletak di sebelah tenggara rangkaian Pegunungan Meratus. Pegunungan ini memisahkan Sub-cekungan Asem-Asem dengan Cekungan Barito. Sub/cekungan Asem-Asem dibentuk oleh pergerakan tektonik yang disebut struktur patahan blok. Di bagian utara terdapat dataran tinggi Kutai Barito dan patahan yang memisahkan Sub-cekungan Asem-aseam dengan Cekungan Kutai.

Cekungan Asem-Asem terletak di Kalimantan Selatan dan di sebelah Timur dari sayap Pegunungan Meratus. Bagian sayap timur yang wilayahnya mencakup wilayah lepas pantai diperkirakan memiliki batugamping Oligosen Atas sampai Miosen Bawah terutama di atas *Basement*. Ke utara, cekungan ini terpisahkan dengan cekungan Kutai. Ke arah selatan, memanjang ke arah Laut Jawa hingga Tinggian Florence. Cekungan ini berbentuk asimetris dengan bagian depan di zona frontal dari Pegunungan Meratus dan paparan kearah kraton Sundaland (Sorkhabi, 2012).



1 Geologi dari Cekungan Barito dan Cekungan Asem-Asem (Witts et al, 2011)



2.1.1 Stratigrafi Regional Daerah Penelitian

Cekungan yang terdapat di Kalimantan Selatan yaitu Cekungan Barito dan Cekungan Asem-Asem yang secara umum memiliki ciri-ciri susunan stratigrafi dari tua ke muda yang relatif sama. Cekungan Barito dan Cekungan Asem-Asem ini dipisahkan oleh Pegunungan Meratus. Pada bagian Utara berbatasan dengan Cekungan Kutai yang dipisahkan oleh Sesar Andang. Sedangkan pada bagian barat dibatasi oleh Paparan Sunda. Pada mulanya Cekungan Barito dan Cekungan Asem-Asem merupakan satu cekungan yang sama, sehingga pada Miosen Akhir terjadi pengangkatan Pegunungan Meratus yang menyebabkan terpisahnya kedua cekungan tersebut (Satyana, 1995).

Cekungan Asem-Asem terdiri dari batuan batuan dasar Mesozoikum dan batuan sedimen Kenozoikum. Stratigrafi Cekungan Asem-aseam dari yang tertua hingga yang termuda meliputi beberapa formasi, yaitu *basement* berupa batuan malihan, Formasi Tanjung, Formasi Berai, Formasi Warukin, Formasi Dahor dan Endapan Aluvial. Formasi-formasi ini berumur Eosen sampai Pliosen.

- **Formasi Tanjung (Tet)**

Formasi Tanjung diawali dengan endapan konglomerat dengan fragmen terdiri dari kelompok kuarsa dan sebagian fragmen berupa batuan beku. Bagian utama fragmen menunjukkan kecenderungan menghalus ke atas. Batubara dalam formasi ini terdapat di bagian bawah. Formasi Tanjung diendapkan dalam lingkungan darat sampai delta pada kala Eosen. Formasi tertua, berumur Eosen, yang diendapkan pada lingkungan paralis hingga neritik dengan ketebalan 900-1100 m, terdiri dari atas ke bawah berupa batulumpur, batulanau, batupasir, sisipan batubara. Formasi ini terendapkan tidak selaras di atas batuan pra-tercier (Darlan dkk., 1999)

Formasi Tanjung yang tersusun oleh perselingan batupasir kasar, batupasir konglomerat dan konglomerat di bagian bawah, batulempung berwarna kelabu di bagian tengah dan perselingan tipis batulanau dan batupasir halus di bagian atas yang memiliki lingkungan pengendapan sungai atau fluvial dan berumur Eosen (artini, 1971). Pada bagian atas formasi ini terdapat batuan karbonat yang an awal dari terbentuknya Formasi Berai.



- **Formasi Berai (Tomb)**

Formasi ini terdiri dari batugamping berwarna putih kelabu, berlapis baik dengan ketebalan 20 sampai 200 cm, setempat kaya akan koral, foraminifera dan ganggang, bersisipan napal berwarna kelabu muda, tebal lapisan 10-15 cm, memiliki komposisi foraminifera planktonik. Selain itu terdapat batulempung berwarna kelabu setempat terserpihkan dengan ketebalan 25 sampai 75 cm. Formasi ini terendapkan dalam lingkungan neritik dan ketebalan formasi lebih kurang 1000 m (Sikumbang & Heryanto, 1994).

- **Formasi Warukin (Tmw)**

Formasi ini terdiri dari perselingan batupasir kuarsa tebal 5-30 cm berukuran halus sampai kasar setempat konglomeratan, dengan batulempung tebal 3-100 cm. Terdapat sisipan batulempung pasiran dan batubara tebal 20-50 cm yang terendapkan dalam lingkungan paralik. Ketebalan total formasi diperkirakan mencapai 1250 m. Umur nisbi akhir Miosen Awal-Miosen Tengah (Sikumbang & Heryanto, 1994).

- **Formasi Dahor (TQd)**

Formasi ini terdiri dari batupasir kuarsa kurang kompak, konglomerat dan batulempung lunak, dengan sisipan *lignite* setebal 5-10 cm dan *limonite*. Formasi ini terendapkan dalam lingkungan paralis dengan tebal formasi diperkirakan 250 m. Umurnya diduga Plio-Plistosen (Sikumbang & Heryanto, 1994).

Formasi Dahor diendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Warukin (Final Report PT Arutmin Indonesia, 2010). Formasi Dahor tersusun oleh batulempung sampai batulempung pasiran, batupasir kasar – konglomeratan yang berstruktur sedimen butiran bersusun (*grabbed bedding*), batupasir kemerahan yang berstruktur laminasi sejajar dan silangsiur serta konglomerat yang memiliki komponen batuan granit, malihan, sedimen, dan vulkanik dengan ukuran 5 – 15 cm. Formasi Dahor memiliki lingkungan pengendapan delta dan berumur Plio-Plistosen.

- **Endapan Aluvial**

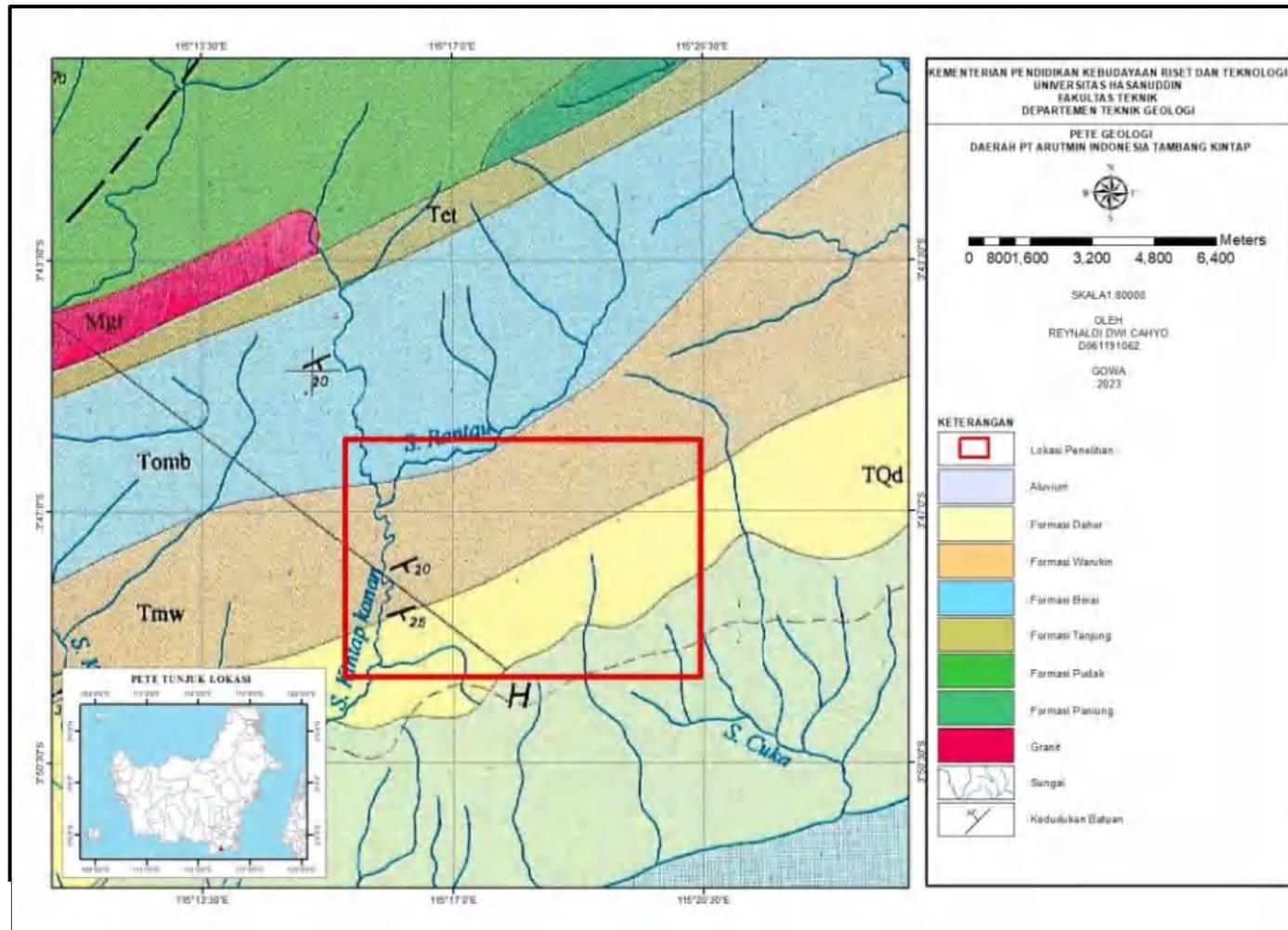


Endapan Aluvial pada Cekungan Asem-Asem merupakan hasil dari proses (*luviatil*) yang terdiri dari endapan lumpur, pasir, kerikil, krakal dan yang berumur kuartar.

AGE	FORMATION	LITHOLOGY	DESCRIPTION	ENVIRONMENT	TECTONIC	
QUATERNARY	ALLUVIAL		Pebble, cobble, sand, silt and clay	Terrestrial	MAJOR UPLIFT	
MIOCENE	DAHOR		Thick sandstone, siltstone, claystone intercalation, with boulders of older rock fragments	Inner neritic - Deltaic	MI-MIOCENE UPLIFT	
			Interbedded of thick coal layers and clays, sandstone			
	WARUKIN	Upper		Interbedded of sandstone, shale intercalation		Inner neritic - Deltaic
		Lower		Interbedded of sandstone and claystone with calc, claystone and thin limestone intercalation		
OLIGOCENE	BERAJ	Upper		Middle neritic - Lagoon	OLIGOCENE UPLIFT	
		Middle				Massive limestones with reef skeletal
		Lower				Interbedded of limestone and marl
EOCENE	TANJUNG	Upper		Neritic Paralic		
		Middle				Interbed of sandstone, siltstone & claystone
		Lower				Sandstone, mudstone, conglomerate with coal intercalation
PRE-TERTIARY	BASEMENT		Metasediment overlying igneous rocks	Fluvial	LATE CRETACEOUS UPLIFT	

Gambar 2 Kolom Stratigrafi Cekungan Asem-Asem

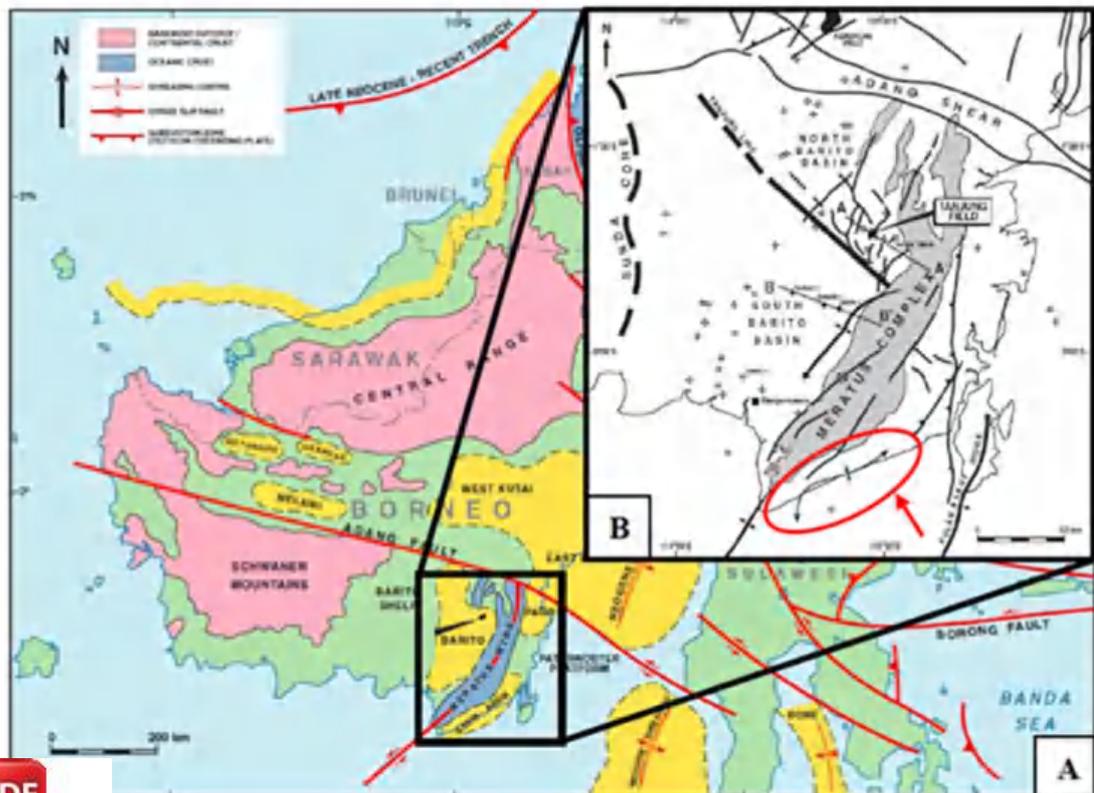




2.1.2 Struktur Geologi Regional

Struktur geologi yang terdapat di Kalimantan Selatan adalah antiklin, sinklin, sesar naik, sesar mendatar, dan sesar turun. Sumbu lipatan umumnya berarah timurlaut-baratdaya dan umumnya sejajar dengan arah sesar normal. Di Kalimantan Selatan terdapat dua cekungan besar, yaitu Cekungan Barito dan Cekungan Asem-asem. Dua cekungan ini dibatasi oleh Pegunungan Meratus yang melintang dari utara- baratdaya. Cekungan Barito dan Cekungan Kutai ini dipisahkan oleh sebuah sesar yang berarah timur-barat di bagian utara dari Provinsi Kalimantan Selatan, sesar ini dikenal dengan nama Sesar Adang (Mudjiono & Pireno, 2006).

Struktur geologi pada lokasi penelitian berupa lipatan dan sesar naik berarah utara timurlaut – selatan-baratdaya, sesar turun berarah utara-timurlaut – selatan-barat daya, serta sesar-sesar mendatar banyak juga ditemui, umumnya berupa sesar *sinistral* dengan jurus bidang sesar berarah baratlaut – tenggara (Satyana & Silitonga, 1994).



4 (A) Struktur Geologi Regional Pulau Kalimantan (modifikasi dari Kusuma, 1999), (B) Elemen tektonik utama Cekungan Asem-Asem (Bon et al., 1996)



Rezim struktur yang terjadi di Cekungan Barito adalah regim transpression dan transtension. Struktur yang didapati adalah lipatan yang berarah utara timurlaut-selatan baratdaya (NNE-SSW) pada bagian utara cekungan. Sedangkan pada Pegunungan Meratus terdapat sesar-sesar yang membawa basement. Sesar-sesar ini ditandai dengan adanya *drag* atau *fault bend fold* dan sesar naik. Sedangkan lipatan-lipatan yang terdapat di Pegunungan Meratus yaitu di bagian utara pegunungan ini berarah utara timurlaut-selatan baratdaya (NNE-SSW) dan yang berada di bagian selatan berarah utara-selatan. Lipatan yang banyak ditemui berupa antiklin dan beberapa sinklin. Sesar-sesar naik banyak terdapat pada daerah Pegunungan Meratus dengan arah umum utara timurlaut-selatan baratdaya (NNE-SSW). Sesar-sesar mendatar juga banyak ditemui di Pegunungan Meratus ini, umumnya tidak terlalu panjang, berbeda dengan sesar naik yang memiliki kemenerusan yang pajang. Sesar-sesar mendatar umumnya berupa sesar mengiri dan berarah baratlaut-tenggara (Satyana, 2000).

2.2 Disposal

Dalam kegiatan penambangan dibutuhkan adanya perencanaan mulai dari tahapan eksplorasi hingga pasca tambang guna mencegah terjadinya kerugian. Upaya yang dilakukan untuk meminimalkan bukaan bekas tambang (*void*) tertuang dalam peraturan perundang-undangan yaitu UU Nomor 4 Tahun 2009 tentang pertambangan Mineral dan Batubara serta Peraturan Pemerintah nomr 7 Tahun 2014 tentang reklamasi dan pascatambang.

Kegiatan penambangan dimulai dari pembersihan lahan dan pengupasan *overburden* yang bertujuan untuk memindahkan lapisan tanah penutup (*overburden*) dengan alat mekanis agar dapat dilakukan proses penambangan batubara. Semakin dalam batubara yang akan ditambang maka semakin besar volume lapisan penutup batubara yang harus dikupas (Hardianto & Heriyandi, 2019).

Material penutup batubara tersebut harus dipindahkan ketempat yang dinamakan *disposal area* agar tidak mengganggu proses penambangan. *Disposal area* merupakan daerah pada lokasi tambang terbuka yang dijadikan tempat untuk menyimpan atau membuang material yang tidak berharga (Yuliana, 2019 dan 2014; dalam Hardianti dan Halim, 2021). *Disposal* juga dapat diartikan



sebagai tempat pembuangan yang dirancang/ direncanakan untuk menampung material buangan *overburden* dan material lain dari tambang (Nurwaskito dkk, 2016).

Disposal sering disebut juga dengan *dump site*, *spoil dump*, *spoil disposal*, dan *disposal dump*. *Disposal* merupakan timbunan material tidak berharga, baik itu material dengan kadar rendah atau lapisan penutup (*overburden*) yang ditempatkan di suatu tempat dekat dengan lokasi penambangan (Arif, 2016).

Disposal biasanya dapat dibuat pada lubang-lubang bekas penambangan ataupun bekas penambangan luar. Ketika lubang tersebut telah penuh, maka permukaan dari *disposal* ini akan ditutupi dengan lapisan tanah penutup (*top soil*) untuk dijadikan daerah reklamasi. Sudah menjadi tanggungjawab perusahaan penambangan untuk melakukan penghijauan kembali setelah area penambangan ditutup. Oleh karena itu, satu area yang berupa lubang atau lereng bekas penambangan harus disiapkan untuk menjadi *disposal area*.

Dalam perencanaan *sequence* penambangan harus diikuti dengan pembuatan *disposal*. Desain *disposal* baik hendaknya dibuat dengan mengikuti rencana produksi yang sudah dibuat dengan mengikuti rencana produksi yang sudah ditetapkan dan mengikuti kaidah geometri atau parameter geoteknikal yang telah ditetapkan, sehingga desain tersebut dapat mengakomodasi produksi dan aman untuk diimplementasikan di lapangan (Prasetya 2011, dalam Hardianti dan Halim, 2021).

2.3 *In Pit Dump*

Aktifitas penambangan batubara dimulai dari kegiatan pembersihan lahan sampai dengan kegiatan reklamasi, salah satu kegiatan yang sangat penting adalah penempatan material hasil dari pembongkaran material atau *overburden* wajib ditentukan dalam perencanaan jangka pendek sampai jangka panjang. Lokasi penimbunan material *overburden* dibedakan atas 2 yaitu *in pit dump* dan *out pit dump*. *Out pit dump* adalah penimbunan material *overburden* yang berada di luar area *pit*, sedangkan *in pit dump* merupakan penimbunan material *overburden* yang

i dalam *pit*. *In pit dump* adalah *disposal* yang dibuat pada bukaan yang sudah tidak ada prospek mineral ekonomi (*mined out*). Sudut lereng pada umumnya mengacu kepada rekomendasi geoteknik, atau bisa juga



dari sudut jatuhnya material (*angel of repose*), yaitu sudut yang terbentuk jika material ditumpuk secara alami (Marit dkk, 2022).



Gambar 5 Proses Penimbunan Material *Overburden* pada *In pit Dump*

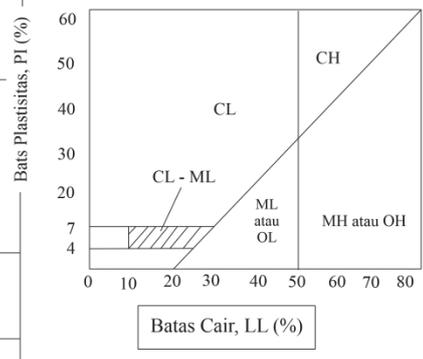
2.4 Sifat Fisik Tanah

Berdasarkan kegunaan untuk kegiatan rekayasa, Das (2002) mendefinisikan tanah sebagai agregat atau butiran mineral-mineral dan sisa material organik dalam kondisi padat yang tidak tersementasi serta terisi oleh zat cair atau gas pada rongga antar partikel padat tersebut. Berkaitan dengan kegiatan rekayasa, penentuan jenis tanah harus dilakukan lebih dahulu. Secara umum, jenis tanah dapat diklasifikasikan berdasarkan ukuran butir. Pemberian ukuran butir sekunder dalam klasifikasi tanah merupakan faktor yang penting karena dapat memengaruhi karakteristik keteknikannya (Price, 2009). Klasifikasi tanah yang umum digunakan adalah *Unified Soil Classification System (USCS)*. Klasifikasi tanah system ini diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation (USBR)* dan *United State Army Corps of Engineer (USEACE)* seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah. Klasifikasi ini memerlukan sifat plastisitas tanah untuk penentuan yang lebih rinci. Adapun sifat-sifat yang perlu diuji untuk mengetahui sifat tanah, yaitu berat isi alami, kadar air alami, plastisitas, distribusi plastisitas, dan kuat geser tanah.



Tabel 1 Klasifikasi tanah menurut USCS (Casagrande, 1942 dalam Hardiyatmo, 2002)

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Laboratorium		
Tanah berbutir kasar ≥ 50 % butiran tertahan saringan No.200	Kerikil Kerikil kasarnya tertahan saringan No.4	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW		
		GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus			
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai doble simbol		
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung			
	Pasir Pasir kasarnya lolos saringan No.4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
			SP	Kerikil bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai doble simbol Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
			Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No.200			Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasikan kadar butir halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar, Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah diarsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol
			Lanau dan lempung batas cair ≤ 50%	ML		
CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang, berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)					
OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah					
Lanau dan lempung batas cair ≥ 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis				
	CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)				
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi				
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		



Sifat Mekanik Tanah

Ji geser langsung (*direct shear test*) merupakan pengujian yang 1 untuk mengetahui sifat mekanik tanah. Uji ini menunjukkan nilai kuat

geser tanah yang merupakan salah satu parameter dalam keteknikan. Kuat geser tanah merupakan faktor yang penting pada pembangunan infrastruktur dan dibutuhkan dalam penentuan kestabilan lereng (Das, 2010).

Pengujian ini mengaju pada standar ASTM D3080-72 untuk kondisi sampel yang terkonsolidasi. Menurut Das (2010), kuat geser tanah merupakan ketahanan suatu material (tanah) terhadap deformasi akibat adanya gaya yang bekerja pada bidangnya. Secara matematis, kuat geser tanah dapat diasumsikan sebagai fungsi linear dari tegasan normal (Coulom, 1776 dalam Das, 2010) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\tau = \sigma (\tan \varphi) + c$$

dimana:

τ = tegangan geser (N/m^2 atau kg/cm^2)

c = kohesi (N/m^2 atau kg/cm^2)

σ = tegangan normal (N/m^2 atau kg/cm^2)

φ = sudut geser tanah ($^\circ$)

2.6 Lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal dan tidak terlindungi (Das, 2010). Berdasarkan cara terbentuknya, lereng dapat dibedakan menjadai dua yaitu lereng alami dan lereng buatan. Lereng alami seperti lereng lereng bukit dan tebing sungai, sedagndan lereng buatan seperti lereng tambang dan/atau timbunan, lereng jalan raya dan kereta api, bentungan, tanggul dan kanal (Azizi dkk, 2018).

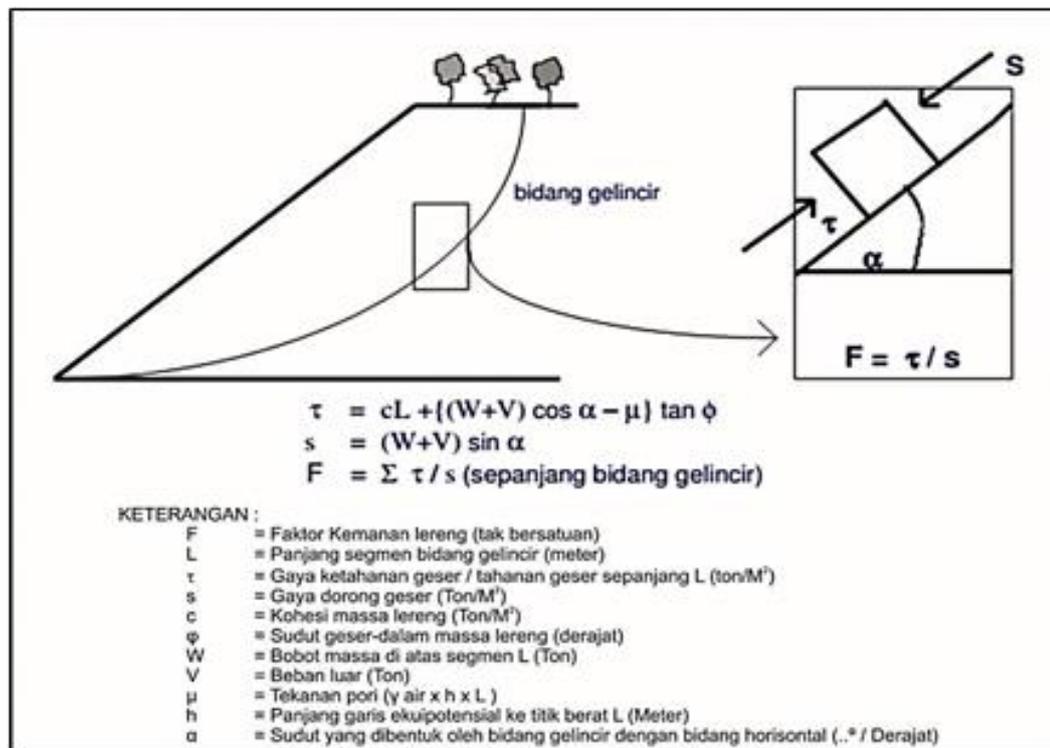
2.7 Stabilitas Lereng

Kestabilan suatu lereng tergantung pada gaya penggerak dan gaya penahan yang ada pada bidang gelincir di dalam lereng tersebut. Gaya penggerak berupa gaya berat, gaya akibat percepatan peledakan dan/atau gempa bumi, sedangkan gaya-gaya penahan berupa gaya geser, kohesi dan kuat geser. Apabila gaya penggerak lebih besar dibandingkan dengan gaya penahan maka lereng tidak stabil dan akan longsor. Tetapi bila gaya penahan ini lebih besar daripada gaya

k , maka lereng tersebut dalam keadaan stabil dan tidak akan longsor (14).



Pada tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggiannya, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak ke arah bawah. Di samping gaya yang mendorong ke bawah terdapat pula gaya-gaya dalam tanah yang bekerja menahan/melawan sehingga kedudukan tanah tersebut tetap stabil. Gaya-gaya pendorong berupa gaya berat, gaya tiris/muatan dan gaya-gaya inilah yang menyebabkan kelongsoran. Gaya-gaya penahan berupa gaya gesekan/geseran, lekatan (dari kohesi), kekuatan geser tanah. Curah hujan yang turun akan mempengaruhi kondisi air tanah. Tanah yang kandungan airnya meningkat maka akan meningkatkan massanya dan semakin rendah kepadatan dan kekompakannya (Pangemanan dkk, 2014).



Gambar 6 Sketsa Lereng dan Gaya yang Bekerja (Parcher & Means, 1974)

Dalam keadaan alamiah, tanah dan batuan umumnya berada dalam keadaan seimbang terhadap gaya-gaya yang bekerja padanya, baik gaya dari dalam maupun dari luar. Jika tanah dan batuan mengalami perubahan dengan akibat pengangkatan, penurunan, penggalian, penimbunan, erosi, vitas lain, tanah dan batuan tersebut secara alamiah akan berusaha untuk keseimbangan yang baru. Proses ini biasanya berupa degradasi atau gan beban, terutama dalam bentuk perpindahan dengan besaran tertentu



sampai kepada bentuk longsor atau gerakan-gerakan lain, sampai tercapai keseimbangan (Arif, 2016).

Berdasarkan Abramson, et al (2002) tujuan analisis stabilitas lereng adalah:

1. Memahami perkembangan dan bentuk lereng alami dan proses yang terjadi pada kondisi alam yang berbeda.
2. Menentukan stabilitas lereng pada kondisi jangka pendek (selama konstruksi) dan jangka panjang.
3. Menentukan kemungkinan terjadinya keruntuhan pada lereng.
4. Menganalisa keruntuhan dan pengaruhnya terhadap factor lingkungan.
5. Dapat melaukan desain ulang pada lereng yang telah runtuh dan merencanakan serta melakukan desain pencegahan serta perhitungan perbaikan yang diperlukan.
6. Mempelajari pengaruh beban gempa pada lereng dan timbunan.

2.8 Faktor Penyebab Ketidakstabilan Lereng

Mengingat lereng terbentuk oleh banyaknya variabel dan banyaknya faktor ketidakpastian antara lain parameter-parameter tanah seperti kuat geser tanah, kondisi tekanan air pori maka dalam menganalisis selalu dilakukan penyederhanaan dengan berbagai asumsi. Secara teoritis massa yang bergerak dapat dihentikan dengan peningkatan kekuatan gesernya (Sugesti 2019). Faktor-faktor yang menyebabkan longsor secara umum diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Faktor-faktor yang menyebabkan naiknya tegangan geser, yaitu: naiknya berat unit tanah karena pembasahan, adanya tambahan beban eksternal, bertambahnya kecuraman lereng karena erosi alami/penggalian, dan bekerjanya beban guncangan.
2. Faktor-faktor yang menyebabkan turunnya kekuatan geser, yaitu : adanya absorpsi air, naiknya tekanan air, beban guncangan, pengaruh pembekuan dan pencairan, dan hilangnya kekuatan karena regangan berlebihan pada lempung sensitif.

Menurut Kusuma dkk, (2008) dalam Aprilia, dkk (2019) terdapat beberapa

ng mempengaruhi kestabilan lereng antara lain:

geometri Lereng



Pada geometri lereng, ketinggian dan besar sudut sangat mempengaruhi kestabilan lereng. Semakin tinggi dan terjal suatu lereng maka tingkat kestabilannya akan semakin rendah.

2. Sifat Fisik dan Mekanik Material

Sifat fisik yang berpengaruh yaitu bobot isi (*unit weight*) dan porositas, sedangkan sifat mekanik berupa kohesi, sudut geser dalam, kuat tekan dan kuat tarik batuan.

3. Struktur Geologi

Struktur batuan yang sangat mempengaruhi kestabilan lereng adalah bidang-bidang sesar, perlapisan dan rekahan. Struktur batuan tersebut merupakan bidang-bidang lemah (diskontinuitas) dan sekaligus sebagai tempat merembesnya air, sehingga batuan lebih mudah longsor.

4. Cuaca/ Iklim

Curah hujan akan mempengaruhi kadar air (*water content*) dan tingkat kejenuhan air.

5. Pengaruh Air Tanah

Semakin tinggi muka air tanah akan menurunkan nilai factor keamanan lereng.

6. Faktor Getaran

Faktor getaran dapat diakibatkan oleh aktifitas penambangan seperti operasi alat berat dan peledakan (*blasting*). Selain itu dapat pula berasal dari gempa.

7. Ketidakseimbangan Beban di Puncak dan Kaki Lereng

Adanya pembebanan di puncak lereng seperti bangunan atau *stockpile* batubara akan menurunkan nilai keamanan lereng.

2.9 Rekayasa Geoteknik

Rekayasa geoteknik merupakan aplikasi rekayasa teknologi yang diterapkan kepada bumi (Holtz dan Kovacs, 1981). Dalam mempelajari geoteknik, akan selalu berkaitan dengan material alam seperti tanah dan batuan. Untuk

1 teknik, tanah diartikan sebagai lepasan aglomerasi mineral, material dan sedimen dengan cairan dan gas yang mengisi rongga (Das, 2002), n batuan adalah kumpulan dari bermacam-macam mineral yang kompak



(Giani, 1992). Dalam disiplin ilmu yang lain, definisi dari kedua material tersebut dapat berbeda-beda, tetapi dalam mempelajari rekayasa geoteknik digunakan definisi yang telah disebutkan sebelumnya. Dalam geoteknik, hal-hal terpenting dalam mempelajari material tersebut adalah memahami bagaimana perilaku masing-masing material (Arif, 2016).

Lebih jauh lagi, perilaku material tanah dan batuan dikontrol oleh adanya kekar, sesar, serta bidang diskontinu lainnya. Selain itu masih ada pengaruh air, getaran, dan panas. Rekayasa geoteknik yang baik bergantung pada keputusan dan pengalaman orang yang merancang (*engineering judgement*). Selain itu faktor-faktor lain seperti keekonomian dan keselamatan merupakan hal yang sangat penting dalam merancang lereng. Dengan memiliki pemahaman geoteknik yang baik, seseorang akan dapat membuat desain lereng tambang yang aman dan ekonomis, melakukan pemantauan (*monitoring*) terhadap lereng, mengevaluasi desain lereng tambang, dan menganalisis serta mengambil keputusan yang tepat terkait kondisi lereng yang ada di lapangan (Arif, 2016).

2.10 Gerakan Massa Tanah

Gerakan tanah menurut Hadiwijoyo M. M. P (2002) dapat didefinisikan sebagai berpindahnya massa tanah dan batuan pada arah tegak, mendatar, atau miring dari kedudukannya semula. Istilah yang paling banyak digunakan untuk gerakan tanah dan batuan yang terjadi pada lereng-lereng alamiah adalah longoran (Arif, 2016).

Pada umumnya longoran atau luncuran terjadi pada suatu material yang rapuh. Gerakan ini terjadi satu atau beberapa bidang luncuran. Gerakan ini bisa berupa rotasi atau translasi yang tergantung pada keadaan material serta strukturnya. Jika gerakannya merupakan rotasi, biasanya akan menghasilkan longoran busur atau lingkaran. Tetapi jika gerakan ini merupakan translasi, akan menghasilkan longoran bidang. Gabungan kedua gerakan ini akan menghasilkan longoran bidang dan busur (Arif, 2016).

Lereng tambang yang tidak stabil akan menghasilkan longoran sampai tersebut menemukan keseimbangan yang baru dan menjadi stabil. macam longoran yang sering terjadi pada lereng tambang adalah 1 busur, longoran bidang, longoran baji, dan longoran guling serta

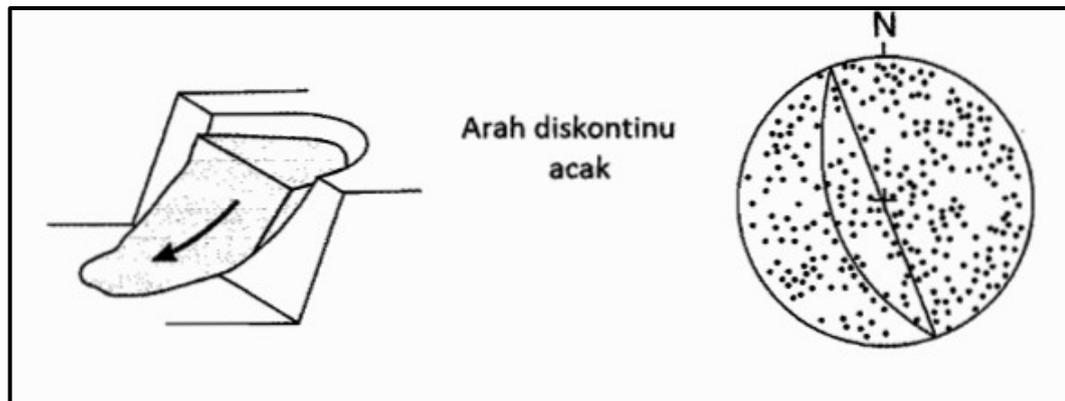


kombinasi dari dua atau lebih jenis longsoran yang sudah disebutkan sebelumnya (longsoran kompleks).

Menurut Hoek dan Bray (1981), longsor dibedakan menjadi 4 jenis seperti berikut ini:

1. Longsoran Busur (*Circular Failure*)

Longsoran busur merupakan longsoran batuan yang terjadi sepanjang bidang luncur yang berbentuk busur. Longsoran busur paling umum terjadi di alam, terutama pada batuan yang lunak (tanah). Pada batuan yang keras longsoran busur hanya dapat terjadi jika batuan tersebut sudah mengalami pelapukan dan mempunyai bidangbidang lemah (rekahan) yang sangat rapat dan tidak dapat dikenal lagi kedudukannya. Longsoran busur akan terjadi jika partikel individu pada suatu tanah atau massa batuan sangat kecil dan tidak saling mengikat. Penurunan sebagian permukaan atas lereng yang berada disamping rekahan menandakan adanya gerakan lereng yang pada akhirnya akan menimbulkan kelongsoran lereng.

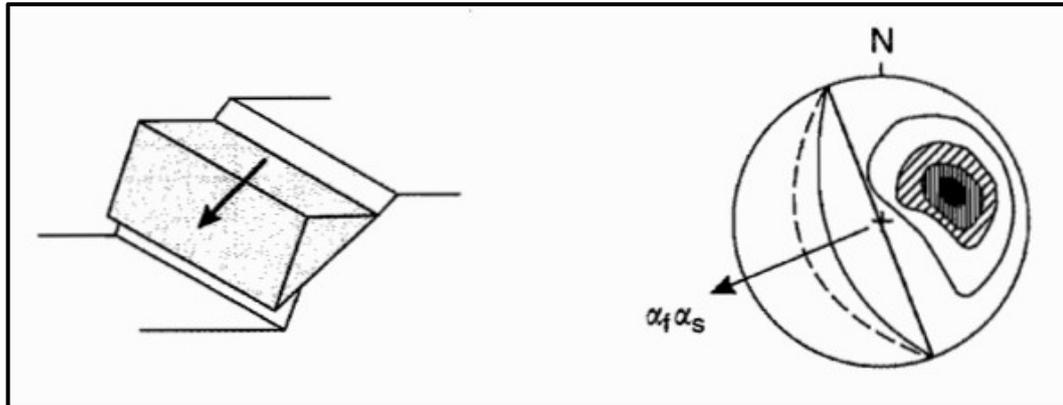


Gambar 7 Longsoran Busur (Hoek dan Bray, 1981)

2. Longsoran Bidang (*Planar Sliding Failure*)

Longsoran bidang merupakan suatu longsoran batuan yang terjadi sepanjang bidang luncur yang dianggap rata. Bidang luncur tersebut dapat berupa bidang besar, rekahan (*joint*) maupun bidang perlapisan batuan.





Gambar 8 Longsor Bidang (Hoek dan Bray, 1981)

Longsor bidang dapat terjadi jika ditemukan tiga kondisi antara lain (Hoek dan Bray, 1981):

- Kemiringan dari bidang diskontinuitas harus melebihi sudut geser dalam.
- Kemiringan dari bidang diskontinuitas harus lebih kecil dari kemiringan muka lereng.

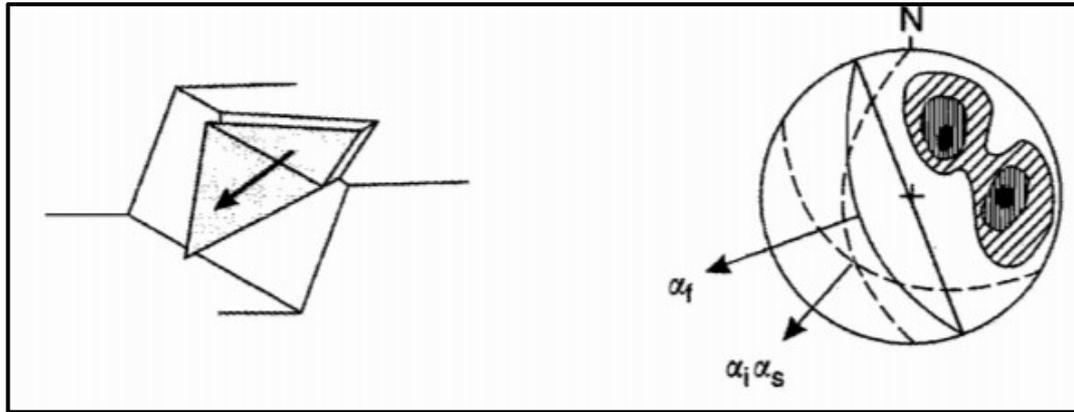
3. Longsor Baji (*Wedge Failure*)

Longsor ini hanya bisa terjadi pada batuan yang mempunyai lebih dari satu bidang lemah yang saling berpotongan membentuk baji (*plane A dan plane B*), dalam kondisi yang sangat sederhana longsor baji terjadi pada sepanjang garis potong kedua bidang lemah tersebut (*line of intersection*).

Syarat umum terjadinya longsor geser baji adalah sebagai berikut :

- Terdapat dua bidang lemah atau lebih yang berpotongan sedemikian rupa sehingga membentuk baji terhadap lereng
- Sudut lereng lebih besar daripada sudut garis potong kedua bidang lemah
- Sudut garis potong kedua bidang lemah lebih besar daripada sudut geser dalamnya

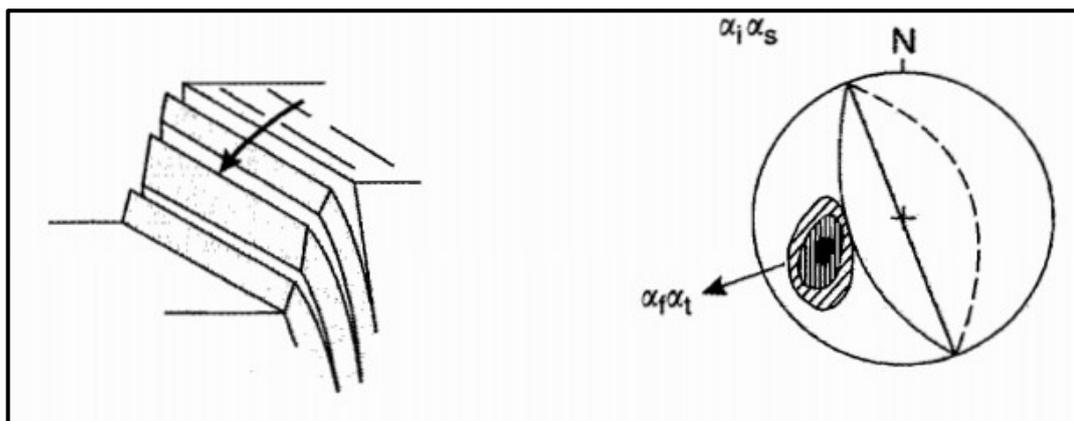




Gambar 9 Longsor Baji (Hoek dan Bray, 1981)

4. Longsor Guling (*Toppling Failure*)

Longsor guling terjadi pada lereng terjal untuk batuan yang keras dengan bidang-bidang lemah tegak atau hampir tegak dan arahnya berlawanan dengan arah kemiringan lereng.



Gambar 10 Longsor Guling (Hoek dan Bray, 1981)

2.11 Faktor Keamanan

Analisis kestabilan lereng dengan metode keseimbangan batas hanya menggunakan kondisi kesetimbangannya statik, dan mengabaikan adanya hubungan tegangan-regangan yang ada di dalam lereng dan geometri bidang longsor harus diketahui atau ditentukan terlebih dahulu (Herlambang dkk, 2020). Penentuan geometri bidang longsor sangat mempengaruhi hasil perhitungan analisa kestabilan lereng. Sehingga untuk menyatakan bahwa suatu lereng stabil

ak dapat dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK) yang kan sebagai Perbandingan antara gaya penahan dengan gaya penggerak



disebut dengan Faktor Keamanan (FK). Upaya antisipasi longsor dilakukan dengan mengambil nilai FK yang terkecil (Rohman, 2022).

Dalam Arif (2016), untuk menjaga agar benda di lereng tidak jatuh (*failure*), diperlukan perhitungan terhadap kemiringan sesuai dengan faktor keamanan yang diinginkan. Secara mekanik sederhana, Faktor Keamanan (FK) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Faktor Keamanan (FK)} &= \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} = \frac{F^*}{F} \\ &= \frac{\text{Momen Penahan}}{\text{Momen Penggerak}} = \frac{F^* x r}{F x r} \\ &= \frac{\text{Kekuatan Geser}}{\text{Gaya Penggerak}} = \frac{F^*/A}{F/A} = \frac{\tau^*}{\tau} \end{aligned}$$

$$\text{Kekuatan Geser} = c + \sigma_n \tan \theta$$

Faktor keamanan dibagi menjadi 3 ditinjau dari intensitas kelongsorannya berdasarkan penelitian dan studi yang menyeluruh tentang keruntuhan lereng (Bowles, 1989 dalam Zakaria, 2009).

Tabel 2 Hubungan Nilai FK dan Kemungkinan Kelongsoran Lereng (Bowles, 1989)

Faktor Keamanan	Kejadian/Intensitas Longsor
< 1.07	Labil (longsor sering terjadi)
1.07 – 1.25	Kritis (longsor pernah terjadi)
> 1.25	Stabil (longsor jarang terjadi)

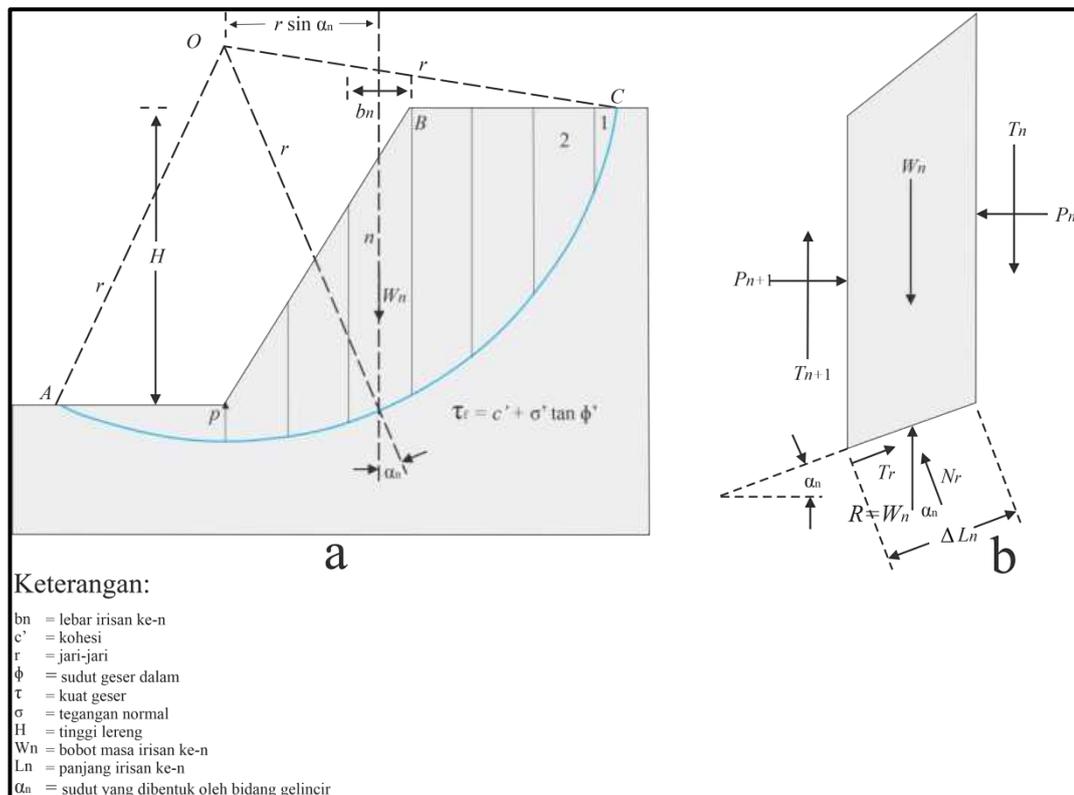
Perhitungan FK menggunakan metode kesetimbangan batas terdiri dari: metode ordinary (Fellenius), Janbu Disederhanakan, Bishop Disederhanakan, Spencer, Morgenstern-Price, Corps of Engineers, Lowe-Karafiath, dan Sarma (Krahn, 2004 dalam Zakaria, 2009).

2.12 Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Kesetimbangan Batas

Metode kesetimbangan batas merupakan metode yang paling sering digunakan dalam analisis geologi teknik, dimana sebuah bidang gelincir dibagi beberapa irisan kemudian diperhitungkan kesetimbangan antara gaya dan tahanan geser. Nilai faktor keamanan pada penelitian ini dihitung dengan cara yang disederhanakan (Bishop, 1955 dalam Das, 2010), dimana bidang



gerakan tanah diasumsikan berbentuk busur lingkaran yang berpusat di titik O dan berjari-jari r (Gambar 11).



Gambar 11 Analisis kestabilan lereng metode kesetimbangan batas dengan cara Bishop yang disederhanakan (Bhisop, 1955 dalam Das, 2010): (a) bidang gelincir yang dibagi menjadi beberapa irisan; (b) gaya yang bekerja pada tiap irisan.

Nilai faktor keamanan dalam cara ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$FK = \frac{\sum (c_n b_n + [W_n - u L_n] \tan \phi) \frac{\sec \alpha_n}{1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha_n}{FK}}}{\sum W_n \sin \alpha}$$

Dimana :

c = kohesi (kN/m^2)

b_n = lebar irisan ke-n (m)

W_n = gaya akibat beban tanah irisan ke-n (N)

α_n = sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat busur bidang gelincir ($^\circ$)

ϕ = sudut geser dalam tanah ($^\circ$)



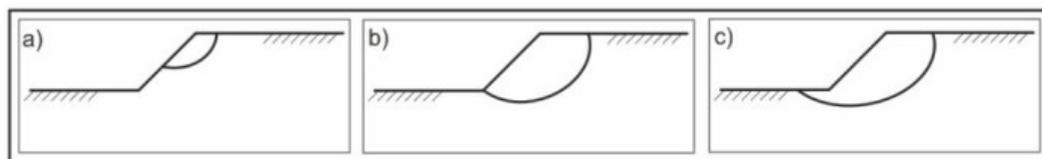
u = tekanan air pori (kN/m^2)

Pada cara ini terdapat beberapa asumsi yang digunakan. Berikut adalah asumsi yang digunakan dalam cara ini:

- Keruntuhan diasumsikan akibat pengaruh dari gerakan rotasi pada atnah dengan ketentuan berbentuk lingkaran, sehingga cara ini tidak bias digunakan untuk menghitung factor keamanan dari sebuah keruntuhan yang tidak berbentuk lingkaran.
- Nilai dari gaya gesek pada kedua sisi irisan (gaya vertikal) dapat diabaikan.
- Gaya normal diasumsikan bekerja ditengah bidang irisan dan diperoleh dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam arah horizontal.

Metode Bishop (1955, dalam Hardiyatmo 2006) menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Metode ini paling banyak digunakan dalam analisis kestabilan lereng. Selain sederhana dan cepat, nilai FK yang diperoleh dengan menggunakan metode Bishop (1995) dalam Hardiyatmo (2006) mendekati nilai FK yang diperoleh dengan perhitungan yang lebih rumit.

Dari perhitungan nilai faktor keamanan di atas, maka akan didapat model keruntuhan yang menunjukkan bentuk model saat keruntuhan itu terjadi. Ada tiga jenis keruntuhan yaitu keruntuhan pada lereng itu sendiri (*slope failure*), keruntuhan pada kaki lereng (*toe failure*) dan keruntuhan pada bagian dasar lereng (*base failure*) seperti yang terlihat pada gambar berikut (Rockscience, 2003).



Gambar 12 Model-model keruntuhan pada lereng yaitu (a) *slope failure* (b) *toe failure* dan (c) *base failure* (Rockscience, 2003)

2.13 Analisis Lereng Tanah

Analisis stabilitas lereng tanah pada umumnya dilakukan berdasarkan pendekatan kesetimbangan batas (*limit equilibrium*), teori batas plastis, dan numerical seperti metode elemen hingga. Pada pendekatan kesetimbangan biasanya hanya dimodelkan pelapisan tanah yang sederhana dan tidak dapat dilakukan tahapan konstruksi, sedangkan pada metode numeric seperti elemen



hingga yang dibantu dengan menggunakan program, pemodelan dapat dilakukan secara kompleks serta dapat menampilkan tahapan konstruksi. Factor keamanan dari kedua metode ini dapat memberikan hasil yang berbeda karena perbedaan metode pendekatan yang digunakan (SNI 8460, 2017).

Pada umumnya, metode elemen hingga menggunakan pengukuran kuat geser, sedangkan metode kesetimbangan batas menggunakan perbandingan antara gaya-gaya yang menahan lereng terhadap gaya-gaya yang bekerja (SNI 8460, 2017).

Stabilitas lereng dapat dievaluasi dengan 4 (empat) kondisi perancangan atau kondisi pembebanan disesuaikan dengan kondisi yang dapat terjadi di lapangan, yaitu:

1. Kondisi pada saat konstruksi dan pada akhir konstruksi;
2. Kondisi *steady state seepage*;
3. Kondisi *sudden drawdown*;
4. Kondisi gempa (*earthquake*)

2.14 Kriteria Pembebanan

Analisis stabilitas lereng harus mempertimbangkan beban hidup (*live load*), mati (*dead load*) dan gempa sesuai peruntukan lereng galian dan timbunan. Beban tambahan (*surcharge load*) 10 kN/m^2 harus diterapkan untuk memperhitungkan beban yang bekerja pada permukaan atas lereng kecuali ada persyaratan lain sesuai peruntukannya (SNI 8460, 2017).

Untuk analisis pseudo-statik dari lereng galian, maupun timbunan, beban gempa yang lebih spesifik disarankan sesuai dengan kondisigeologi dan area kegempaan serta kepentingan lereng (SNI 8460, 2017).

