

SKRIPSI

ANALISIS KESTABILAN LERENG *DISPOSAL* LEMBO EAST 02 PT VALE INDONESIA TBK TIPE *SEMI INDUCED* *FLOW* DAN *INDUCED FLOW* SEBAGAI ACUAN PENENTUANBATAS *DUMPING* YANG AMAN

Disusun dan diajukan oleh:

ALMIRA YOVITA
D111 19 1032



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS KESTABILAN LERENG *DISPOSAL* LEMBO EAST 02 PT VALE INDONESIA TBK TIPE *SEMI INDUCED FLOW* DAN *INDUCED FLOW* SEBAGAI ACUAN PENENTUAN BATAS *DUMPING* YANG AMAN

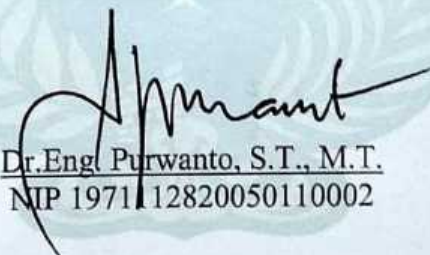
Disusun dan diajukan oleh

Almira Yovita
D111 19 1032

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 30 Juli 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T.
NIP 1971112820050110002

Ketua Program Studi,



Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T.
NIP 197010052008012026



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Almira Yovita
NIM : D111191032
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**ANALISIS KESTABILAN LERENG *DISPOSAL* LEMBO EAST 02 PT VALE
INDONESIA TBK TIPE *SEMI INDUCED FLOW* DAN *INDUCED FLOW*
SEBAGAI ACUAN PENENTUAN BATAS *DUMPING* YANG AMAN**

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

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

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

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

Gowa, 30 Juli 2024

Yang Menyatakan



Almira Yovita



ABSTRAK

ALMIRA YOVITA. ANALISIS KESTABILAN LERENG DISPOSAL LEMBO EAST 02 PT VALE INDONESIA TBK TIPE SEMI INDUCED FLOW DAN INDUCED FLOW SEBAGAI ACUAN PENENTUAN BATAS DUMPING YANG AMAN (dibimbing oleh Purwanto)

Disposal Lembo East 02 merupakan rancangan *disposal* tipe *semi induced flow* PT Vale Indonesia Tbk yang berada pada blok penambangan Sorowako West. Penimbunan material non ekonomis di *disposal* tersebut kerap dilakukan secara berulang-ulang yang menyebabkan tingginya tumpukan suatu timbunan yang tidak teratur sehingga menimbulkan besarnya potensi kelongsoran dimana di atas *disposal* tersebut terdapat alat berat yang sedang bekerja yakni *dump truck* yang sedang menongkang material buangan serta *dozer* yang mendorong timbunan. Oleh karena itu, dibutuhkan perencanaan *disposal* yang lebih baik untuk mencegah kelongsoran dan aktivitas di *disposal* tetap aman maka dilakukan perancangan desain *disposal* tipe *induced flow* untuk menganalisis kestabilan lereng serta menentukan batas *dumping* material di *disposal*. Analisis dilakukan dengan metode Morgentern-Price menggunakan *software Rocscience Slide2*. Analisis kestabilan lereng dilakukan pada dua *section*, yaitu *section A-A'* dan *B-B'* dengan pembenanan dari *dump truck* Cartepillar 777D dan *dozer* D8R. Berdasarkan hasil analisis dari kedua penampang dari pembebanan *dump truck* dan *dozer* didapatkan nilai FK sebagai berikut: *section A-A'* dengan FK 0,724 dan *section B-B'* dengan FK 0,842. Desain *disposal* Lembo East 02 tipe *induced flow* memiliki sudut lereng 70° dengan ketinggian lebih dari 30 m, serta diperoleh nilai FK pada *section A-A'* sebesar 0,321 dan pada *section B-B'* sebesar 0,323. *Disposal semi induced flow* lebih layak rekomendasi dibanding *disposal induced flow*, setelah dilakukan rekomendasi pada *disposal semi induced flow*, diperoleh FK dan batas *dumping* yang aman sebagai berikut: *section A-A'* batas *dumping* 8,9 m dari *crest* dengan FK 1,338 dan *section B-B'* batas *dumping* 10,8 m dari *crest* dengan FK 1,311.

Kata Kunci: Desain, *Disposal*, *Semi Induced Flow*, *Induced Flow*, Analisis Kestabilan Lereng, Faktor Keamanan, *Batas Dumping*.



ABSTRACT

ALMIRA YOVITA. ANALYSIS OF SLOPE STABILITY OF LEMBO EAST 02 PT VALE INDONESIA TBK DISPOSAL SEMI INDUCED FLOW AND INDUCED FLOW TYPES AS A GUIDE FOR DETERMINING SAFE DUMPING LIMITS (supervised by Purwanto)

Disposal Lembo East 02 is a semi-induced flow type disposal design for PT Vale Indonesia Tbk which is located in the Sorowako West mining block. The dumping of non-economic materials at the disposal is often carried out repeatedly, which causes irregular piles to be high, giving rise to a large potential for landslides where above the disposal there is heavy equipment at work, namely dump trucks carrying the discarded material and dozers pushing it. heap. Therefore, better disposal planning is needed to prevent landslides and activities at the disposal to remain safe, so an induced flow type disposal design is designed to analyze slope stability and determine limits for dumping material at the disposal. Analysis was carried out using the Morgenstern-Price method using Rocscience Slide2 software. Slope stability analysis was carried out on two sections, namely sections A-A' and B-B' with loading from a Cartepillar 777D dump truck and a D8R dozer. Based on the results of the analysis of the two cross-sections of dump truck and dozer loading, the FK values were obtained as follows: section A-A' with FK 0.724 and section B-B' with FK 0.842. The induced flow type Lembo East 02 disposal Design has a slope angle of 70o with a height of more than 30 m, and the FK value obtained in section A-A' is 0.321 and in section B-B' is 0.323. Disposal semi induced flow is more worthy of recommendation than disposal induced flow, after making recommendations on disposal semi induced flow, the FK and safe dumping limits are obtained as follows: section A-A' dumping limit 8.9 m from the crest with FK 1.338 and section B -B' dumping limit 10.8 m from the crest with FK 1.311.

Keywords: Design, Disposal, Semi Induced Flow, Induced Flow, Slope Stability Analysis, Factor of Safety, Dumping Limit.



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
KATA PENGANTAR	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Definisi dan Jenis-jenis Lereng.....	5
2.2 Prinsip Dasar Analisis Kestabilan Lereng.....	6
2.3 Faktor – Faktor yang Memengaruhi Kestabilan Lereng	8
2.4 Klasifikasi Gerakan Massa Tanah.....	11
2.5 Faktor Keamanan Lereng.....	18
2.6 Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan	20
2.7 <i>Disposal</i>	26
2.8 Stabilisasi Lereng.....	29
BAB III METODE PENELITIAN.....	34
3.1 Lokasi Penelitian.....	34
3.2 Alat Penelitian.....	35
3.3 Teknik Pengumpulan Data.....	35
3.4 Teknik Analisis dan Pengolahan Data	35
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	51
4.1 Perhitungan <i>Ground Pressure</i> Alat Berat	51
4.2 Kestabilan Lereng <i>Disposal</i> Lembo East 02 Tipe <i>Semi Induced Flow</i>	53
4.3 Desain dan Kestabilan Lereng <i>Disposal</i> Tipe <i>Induced Flow</i>	57
4.4 Rekomendasi Desain Ulang Lereng dan Batas <i>Dumping</i> pada <i>Disposal</i>	61
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN.....	68



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Faktor keamanan sederhana oleh Romana 1993 (Sumber: Geoteknik Tambang)	8
Gambar 2 Proses terjadinya gerakan massa tanah dan komponen yang mempengaruhi.....	12
Gambar 3 Longsoran yang terjadi di PTFI Desember 2003 (PT Freeport Indonesia, 2003., dalam Arif, 2016).....	14
Gambar 4 Runtuhan di Pennington point (Sumber: British Geological Survey, 2009., dalam Arif, 2016).....	15
Gambar 5 Gerakan tanah berupa nendatan/ <i>slump</i> (Schwert, 1988., dalam Arif, 2016).....	15
Gambar 6 Amblesan yang terjadi di Ridgeway, New South Wales (Rolinator, 2006., dalam Geoteknik Tambang).....	16
Gambar 7 Rayapan (Sumber: British Columbia, 1993., dalam Arif, 2016)	17
Gambar 8 Aliran (<i>Flow</i>) (Sumber: United States Geological Survey, 1999., dalam Arif, 2016).....	18
Gambar 9 Model lereng dengan bidang runtuh yang berbentuk sebuah busur lingkaran (Sumber: Arief, 2008).....	22
Gambar 10 Model lereng dengan bidang runtuh yang berupa gabungan dari sebuah busur lingkaran dengan segmen garis lurus (Sumber: Arief, 2008).....	22
Gambar 11 Model lereng dengan bidang runtuh yang berupa gabungan dari beberapa segmen garis lurus (<i>multilinier</i>) (Sumber: Arief, 2008).....	23
Gambar 12 <i>Disposal Induce Flow</i> (DIF) (Sumber: Management Diposal PT Vale Indonesia Tbk, 2018).....	27
Gambar 13 <i>Disposal Semi Induced Flow</i> (DSIF) (Sumber: Managemen Diposal PT Vale Indonesia Tbk, 2018).....	28
Gambar 14 <i>Disposal Finger</i> (DF) (Sumber: Managemen Diposal PT Vale Indonesia Tbk, 2018).....	29
Gambar 15 Skema perubahan geometri lereng (Sumber: Andriyan <i>et al.</i> , 2018)	31
Gambar 16 Kondisi air tanah pada lereng (Sumber: Read & Stacey, 2017).....	32
Gambar 17 Peta tunjuk lokasi penelitian	34
Gambar 18 Peta penampang <i>disposal</i> Lembo East 02.....	37
Gambar 19 Tampilan <i>section</i> dua dimensi dari Vulcan format .emf.....	37
Gambar 20 Pembebanan <i>dump truck</i> pada <i>software</i> Rocscience Slide2.....	38
Gambar 21 Pembebanan <i>dozer</i> pada <i>software</i> Rocscience Slide2.....	39
Gambar 22 Topografi area <i>disposal</i>	39
Gambar 23 Tampilan awal membuat poligon	40
Gambar 24 Tampilan <i>project setting</i>	40
Gambar 25 Tampilan <i>bench projecting</i>	41
Gambar 26 Tampilan desain <i>disposal</i>	41
Gambar 27 Tampilan membuat triangulasi.....	42
Gambar 28 Tampilan <i>tools triangulation</i>	42
Gambar 29 Tampilan <i>Triangulation Name</i>	43
Gambar 30 Triangulasi desain <i>disposal</i>	43



Gambar 31 Tampilan awal 3D <i>solid volume</i>	44
Gambar 32 Tampilan 3D <i>solid volume</i>	44
Gambar 33 Hasil volume dan tonase dari desain <i>disposal</i>	45
Gambar 34 Tampilan awal <i>software Rocscience Slide2</i>	46
Gambar 35 <i>Import file</i>	46
Gambar 36 Mengatur <i>scale image</i>	47
Gambar 37 Membuat model lereng	47
Gambar 38 Memasukkan data material penyusun lereng	48
Gambar 39 Memasukkan <i>load</i>	48
Gambar 40 <i>Compute and Interpret</i>	49
Gambar 41 Diagram alir penelitian	50
Gambar 42 Tampilan topografi dan <i>section</i> desain <i>disposal semi induced flow</i> pada Vulcan	55
Gambar 43 Tampilan <i>section 2</i> dimensi desain <i>disposal semi induced flow</i>	56
Gambar 44 Hasil analisis <i>section A-A'</i> <i>disposal semi induced flow</i>	57
Gambar 45 Hasil analisis <i>section B-B'</i> <i>disposal semi induced flow</i>	57
Gambar 46 Desain <i>disposal induced flow</i>	58
Gambar 47 Desain <i>disposal induced flow</i>	59
Gambar 48 Tampilan topografi penampang desain <i>disposal induced flow</i> pada Vulcan	59
Gambar 49 <i>Section A-A'</i> desain <i>disposal induced flow</i>	59
Gambar 50 <i>Section B-B'</i> desain <i>disposal induced flow</i>	60
Gambar 51 Hasil analisis <i>section A-A'</i> <i>disposal induced flow</i>	60
Gambar 52 Hasil analisis <i>section B-B'</i> <i>disposal induced flow</i>	61
Gambar 53 Rekomendasi desain lereng <i>disposal semi induced flow A-A'</i>	62
Gambar 54 Rekomendasi desain lereng <i>disposal semi induced flow B-B'</i>	63



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta Lokasi Penelitian	69
Lampiran 2 <i>Section Disposal Semi Induced Flow</i>	71
Lampiran 3 Spesifikasi Alat Berat	74
Lampiran 4 Kartu Konsultasi Tugas Akhir	81



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Faktor keamanan lereng (FK) dan probabilitas longsor (PoF)	19
Tabel 2 Asumsi – asumsi yang digunakan dalam beberapa metode irisan	23
Tabel 3 Kondisi kesetimbangan yang dipenuhi	24
Tabel 4 Tipe <i>Disposal</i>	29
Tabel 5 Spesifikasi <i>dump truck</i> Caterpillar 777D	51
Tabel 6 Parameter <i>dump truck</i>	53
Tabel 7 Parameter material penyusun <i>Disposal</i>	56
Tabel 8 Hasil analisis	63



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur ke hadirat Allah *Subhanahu Wata'ala* atas rahmat, hidayah dan kesempatan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul Analisis Kestabilan Lereng *Disposal* Lembo East 02 PT Vale Indonesia Tbk Tipe *Semi Induced Flow* dan *Induced Flow* Sebagai Acuan Penentuan Batas *Dumping* Yang Aman. Sholawat dan salam yang selalu dipanjatkan kepada sang tauladan bagi seluruh ummat di muka bumi ini adalah Rasulullah Muhammad *Shallallahu 'Alaihi Wasallam* yang telah mengantarkan umat manusia dari peradaban hidup yang jahiliyah menuju pada peradaban hidup yang modern. Skripsi ini merupakan hasil dari perjalanan panjang penulis dalam mengejar ilmu di Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin. Dalam proses penelitian ini, penulis mendapatkan banyak ilmu dan pengalaman berharga yang tidak hanya membentuk pemahaman penulis tentang subjek ini, tetapi juga membantu penulis dalam perkembangan pribadi dan profesional.

Penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Bapak Dosen Pembimbing Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dorongan yang sangat berarti. Bapak adalah pilar utama dalam perjalanan penulis menuju pencapaian ini.

Terima kasih juga kepada keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan moral, doa, dan cinta tanpa batas. Kalian adalah sumber inspirasi penulis, dan tanpa dukungan kalian, pencapaian ini tidak akan mungkin terwujud.

Kepada teman-teman Teknik Pertambangan 2019 yang telah berbagi perjalanan ini, terima kasih atas kerja sama, dukungan, dan semangat yang kalian berikan. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam proses ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, dan penulis sangat terbuka terhadap kritik, saran, dan masukan yang membangun. Semua ini penulis lakukan dengan harapan agar penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan menjadi kontribusi kami dalam masyarakat.

Akhir kata, penulis berharap agar penelitian ini dapat memberikan inspirasi bagi generasi mahasiswa yang akan datang dan memberikan landasan bagi penelitian selanjutnya dalam bidang ini. Terima kasih atas segala dukungan dan doa yang telah penulis terima dalam perjalanan ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua yang membacanya.

Gowa, 27 April 2024



Almira Yovita

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permukaan tanah tidak selalu membentuk bidang datar atau mempunyai perbedaan elevasi antara tempat yang satu dengan yang lain sehingga membentuk suatu lereng (*slope*). Lereng merupakan suatu kondisi topografi yang banyak dijumpai pada berbagai pekerjaan konstruksi sipil. Lereng dapat terjadi secara alami maupun sengaja dibuat oleh manusia dengan tujuan tertentu (Pangemanan *et al.*, 2014).

Gaya gravitasi cenderung menggerakkan material tanah atau batuan ke bawah. Jika komponen gravitasi atau gaya penggerak pada lereng lebih besar dibanding gaya penahan, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Longsor merupakan bencana alam yang terjadi pada lereng alami atau buatan. Suatu lereng akan longsor apabila keseimbangan gaya yang bekerja terganggu yaitu gaya pendorong melampaui gaya penahan (Hardiyatmo, 2014).

PT Vale Indonesia Tbk adalah salah satu perusahaan tambang nikel yang berada di daerah Sorowako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia. Metode yang digunakan PT Vale Indonesia Tbk adalah tambang terbuka dengan sistem penambangan berupa *open cast mining*. Dalam sistem penambangannya material *overburden*, *waste*, dan material lain ditimbun pada areal *disposal* salah satunya *Disposal Lembo East 02*. *Disposal* adalah tempat pembuangan yang dirancang/direncanakan untuk menampung material *overburden*, *waste* dan material lain dari tambang. *Disposal* biasanya dibuat pada lubang-lubang bekas penambangan.

PT Vale Indonesia Tbk saat ini menggunakan jenis *disposal* berdasarkan ketinggian lereng, yaitu *disposal semi induced flow* dan *induced flow*. *Disposal semi induced flow* merupakan *disposal* yang memanfaatkan ketinggian lereng tempat penimbunan 15-30 meter untuk mengalirkan material ke kaki *disposal* (Amalia *et al.*, 2019), sedangkan *disposal induced flow* merupakan *disposal* yang

akan ketinggian lereng lebih dari 30 m dengan sudut kemiringan akhir vitas penimbunan material *Disposal Lembo East 02* yang berlangsung terus menerus dengan menggunakan bantuan alat berat berupa *dump truck*



dan *dozer* dapat menyebabkan adanya kemungkinan penggelinciran atau kelongsoran pada lereng *disposal* sehingga perlu dilakukan analisis kestabilan lereng untuk mengetahui kestabilan lereng *disposal*.

Analisis stabilitas lereng mempunyai peran yang sangat penting pada perencanaan penimbunan material *disposal* yang membentuk sebuah lereng. Selain itu pembebanan alat berat yang bekerja pada proses penimbunan sangat berpengaruh terhadap kestabilan lereng. Lereng yang tidak stabil sangatlah berbahaya terhadap lingkungan sekitarnya, oleh sebab itu analisis stabilitas lereng sangat diperlukan. Ukuran kestabilan lereng diketahui dengan menghitung besarnya faktor keamanan. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan analisis mengenai kestabilan lereng *disposal* mengenai sejauh mana *dump truck* dapat maju menongkang. Sehingga, dari hasil analisis dapat diberikan rekomendasi batas *dumping*.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dikaji dalam penelitian tugas akhir ini yakni mengenai kemungkinan terjadinya kelongsoran pada *Disposal* Lembo East 02 yang disebabkan oleh aktivitas penimbunan material *overburden* secara terus-menerus akibat pembebanan yang diberikan oleh *dump truck* dan *dozer*. Oleh karena itu, perlunya pemberian batas *dumping* berdasarkan nilai FK dengan jarak yang tidak jauh dari *crest* sesuai dengan standar *geotechnical assessment* PT Vale Indonesia Tbk. Rumusan permasalahan dalam penelitian yang dilakukan yaitu:

1. Bagaimana nilai faktor keamanan lereng *Disposal* Lembo East 02 tipe *semi induced flow*.
2. Bagaimana desain dan nilai faktor keamanan lereng *Disposal* Lembo East 02 tipe *induced flow*.
3. Bagaimana rekomendasi desain lereng dan batas maksimum *dumping* pada *disposal*.



1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis nilai faktor keamanan lereng *Disposal* Lembo East 02 tipe *semi induced flow*.
2. Menganalisis desain dan nilai faktor keamanan lereng *Disposal* Lembo East 02 tipe *induced flow*
3. Memberikan rekomendasi desain lereng dan batas maksimum *dumping* pada *disposal*

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi Perusahaan

Hasil dari penelitian yang dilakukan dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan kepada perusahaan dalam menentukan batas *dumping* berdasarkan nilai FK dari desain lereng *disposal* yang efektif sehingga dapat mengurangi risiko kelongsoran.

2. Bagi Akademik

Penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam menambah wawasan mengenai analisis kestabilan lereng khususnya bagi mahasiswa Teknik Pertambangan.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup wilayah penelitian ini adalah daerah *Disposal* Lembo East 02 PT Vale Indonesia Tbk. *Disposal* Lembo East 02 secara administrasi terletak di Desa Sorowako Kecamatan Nuha Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan. *Disposal* Lembo East 02 dipilih karena memiliki risiko paling tinggi longsor daripada *disposal* lainnya.

Ruang lingkup materi dari penelitian ini berfokus pada kestabilan lereng Lembo East 02, PT Vale Indonesia Tbk. Analisis kestabilan lereng akan dilakukan dikarenakan pada *disposal* tersebut memiliki potensi longsor begitu besar disebabkan adanya aktivitas alat berat berlalu lalang seperti penongkangan *overburden* dan pendorongan material. Selain itu, juga dilakukan



penentuan batas *dumping* agar alat berat *dump truck* tidak menongkang material berjarak dengan bibir lereng. Adapun penelitian dimulai dari bulan Januari 2023 - Februari 2023.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi dan Jenis-jenis Lereng

Lereng adalah suatu permukaan yang menghubungkan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah, dan stabilitas lereng erat kaitannya dengan longsor atau gerakan tanah yang merupakan proses perpindahan massa tanah secara alami dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah (Tri *et al.*, 2019).

Lereng adalah suatu bidang di permukaan tanah yang menghubungkan permukaan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah. Lereng dapat terbentuk secara alami dan dapat juga dibuat oleh manusia dengan tujuan tertentu. Dalam bidang Teknik Sipil, ada tiga jenis lereng yaitu:

1. Lereng alam, yaitu lereng yang terbentuk karena proses-proses alam, misalnya lereng suatu bukit.
2. Lereng yang dibuat dengan tanah asli, misalnya apabila tanah dipotong untuk pembuatan jalan atau saluran air untuk keperluan irigasi.
3. Lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan, sebagai tanggul untuk jalan atau bendungan tanah.

Ketiga jenis lereng ini kemungkinan untuk terjadi longsor selalu ada, karena dalam setiap kasus tanah yang tidak rata akan menyebabkan komponen gravitasi dari berat memiliki kecenderungan untuk menggerakkan massa tanah dari elevasi lebih tinggi ke elevasi yang lebih rendah. 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



geseran, lekatan (dari kohesi), kekuatan geser tanah. Tanah akan mulai runtuh jika gaya-gaya pendorong lebih besar dari gaya-gaya penahan, dan akhirnya terjadi runtuhnya tanah sepanjang bidang yang menerus dan massa tanah di atas

bidang yang menerus ini akan longsor. Peristiwa ini disebut sebagai keruntuhan lereng dan bidang yang menerus ini disebut bidang gelincir (Pangemanan *et al.*, 2014)

2.2 Prinsip Dasar Analisis Kestabilan Lereng

Tipe Kestabilan lereng, baik lereng alami maupun lereng buatan serta lereng timbunan, dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penahan dan gaya-gaya penggerak yang bertanggung jawab terhadap kestabilan lereng tersebut. Pada kondisi gaya penahan (terhadap longsor) lebih besar dari gaya penggerak, lereng tersebut akan berada dalam kondisi yang stabil (aman). Namun, apabila gaya penahan lebih kecil dari gaya penggerak, lereng tersebut tidak stabil dan akan terjadi longsor. Sebenarnya, longsor merupakan suatu proses alami yang terjadi untuk mendapatkan kondisi kestabilan lereng yang baru (keseimbangan baru), dimana gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak (Arif, 2016).

Tanah longsor atau longsor merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan pergerakan massa tanah atau batuan yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Dimana gerakan ini sangat berbahaya sehingga dapat menimbulkan bencana alam. Oleh karena itu tanah longsor merupakan masalah yang sangat penting dan selalu menjadi perhatian utama insinyur geoteknik dan ahli geologi teknik di seluruh dunia (Das, 1995).

Gerakan tanah merupakan suatu gerakan menuruni lereng oleh massa tanah dan atau bantuan penyusun lereng akibat terganggunya kestabilan tanah atau bantuan penyusun lereng tersebut. Definisi di atas menunjukkan bahwa massa yang bergerak dapat berupa massa tanah, massa batuan atau pencampuran antara massa tanah dan batuan penyusun lereng. Apabila massa yang bergerak ini didominasi oleh massa tanah dan gerakannya melalui suatu bidang pada lereng, baik berupa bidang miring ataupun lengkung, maka proses pergerakan tersebut disebut sebagai longsor tanah. Analisis stabilitas tanah pada permukaan tanah ini disebut dengan

tabilitas lereng (Das, 1995).

alisis stabilitas lereng meliputi konsep kemantapan lereng yaitu penerapan uan mengenai kekuatan geser tanah. Keruntuhan geser pada tanah dapat



terjadi akibat gerak relatif antar butirnya. Karena itu kekuatannya tergantung pada gaya yang bekerja antar butirnya, sehingga dapat disimpulkan bahwa kekuatan geser terdiri atas:

1. Bagian yang bersifat kohesif, tergantung pada macam tanah dan ikatan butirnya.
2. Bagian yang bersifat gesekan, yang sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang geser (Das, 1995).

Untuk menyatakan tingkat kestabilan suatu lereng dikenal istilah faktor keamanan (*safety factor*). Faktor keamanan diperlukan untuk mengetahui kemantapan suatu lereng sehingga dapat mencegah bahaya longsor di waktu – waktu yang akan datang (Arif, 2016).

Gaya yang bekerja pada suatu lereng adalah gaya berat, kemudian dihasilkan gaya penggerak dan gaya penahan. Untuk menjaga agar benda dilereng tidak jatuh (*failure*), diperlukan perhitungan terhadap kemiringan sesuai dengan faktor keamanan yang diinginkan. Secara mekanik sederhana, faktor keamanan (FK) dapat dirumuskan sebagai berikut (Arif, 2016):

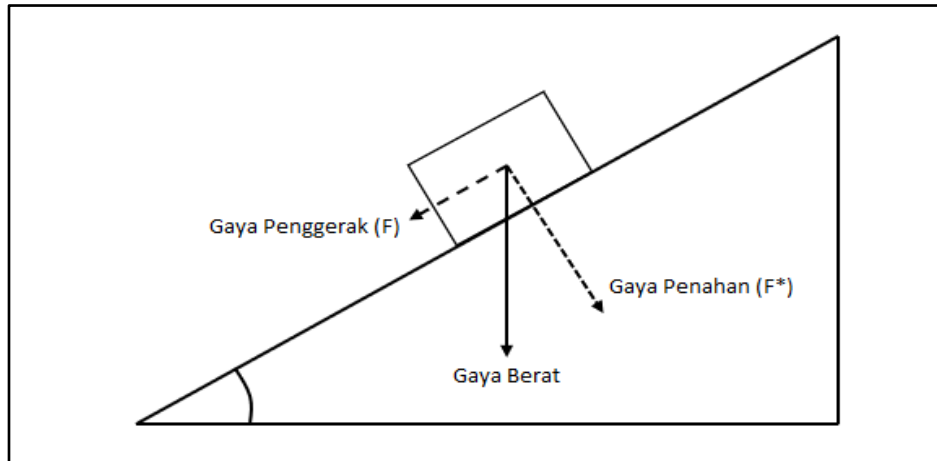
$$\begin{aligned} \text{Faktor keamanan} &= \frac{\text{gaya penahan}}{\text{gaya penggerak}} = \frac{F'}{F} \\ &= \frac{\text{momen penahan}}{\text{momen penggerak}} = \frac{F'x r}{F x r} \\ &= \frac{\text{Gaya geser}}{\text{Gaya penggerak}} = \frac{F'/A}{F/A} = \frac{\tau'}{\tau} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{Kekuatan geser} = c + \sigma_n \tan \emptyset \quad (2)$$

Dengan perhitungan lebih rinci didapatkan faktor keamanan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Faktor Keamanan (FK)} &= \frac{c.A + \sigma.A \tan \emptyset}{W \sin \sigma} \\ &= \frac{c.A + W \cos \sigma \tan \emptyset}{W \sin \sigma} \end{aligned} \quad (3)$$





Gambar 1 Faktor keamanan sederhana oleh Romana 1993 (Sumber: Geoteknik Tambang)

Apabila nilai FK untuk suatu lereng $> 1,0$ (Gaya Penahan $>$ Gaya Penggerak), lereng tersebut dalam kondisi stabil. Namun, apabila harga FK $< 1,0$ (Gaya Penahan $<$ Gaya Penggerak), lereng tersebut berada dalam kondisi tidak stabil dan mungkin akan terjadi longsor pada lereng tersebut (Arif, 2016).

2.3 Faktor – Faktor yang Memengaruhi Kestabilan Lereng

Keruntuhan pada lereng alami atau buatan disebabkan karena adanya perubahan antara lain topografi, seismik, aliran air tanah, kehilangan kekuatan, perubahan tegangan, dan musim/iklim/cuaca. Akibat adanya gaya-gaya luar yang bekerja pada material pembentuk lereng menyebabkan material pembentuk lereng mempunyai kecenderungan untuk menggelincir. Kecenderungan menggelincir ini ditahan oleh kekuatan geser material sendiri. Meskipun suatu lereng telah stabil dalam jangka waktu yang lama, lereng tersebut dapat menjadi tidak stabil karena beberapa faktor seperti (Pangemanan *et al.*, 2014):

1. Struktur geologi regional dan lokal
2. Jenis dan keadaan lapisan tanah / batuan pembentuk lereng
3. Geometri lereng
4. Sifat fisik dan mekanik batuan
5. Bentuk geometris penampang lereng (misalnya tinggi dan kemiringan lereng)



m dan curah hujan
 at dan distribusi beban
 aran atau gempa

Faktor-faktor yang memengaruhi kestabilan lereng dapat menghasilkan tegangan geser pada seluruh massa tanah, dan suatu gerakan akan terjadi kecuali tahanan geser pada setiap permukaan runtuh yang mungkin terjadi lebih besar dari tegangan geser yang bekerja (Pangemanan *et al.*, 2014)

Lereng tambang yang tidak stabil akan mengalami longsoran sampai lereng tersebut menemukan keseimbangan yang baru dan menjadi stabil. Longsoran dapat terjadi pada hampir setiap kemungkinan, perlahan-lahan ataupun secara tiba-tiba dan dengan atau tanpa adanya suatu peringatan yang nyata (Pane & Anaperta, 2020).

Menurut Karyono (2004) Kemantapan lereng pada lereng batuan selalu dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

1. Geometri lereng. Kemiringan dan tinggi suatu lereng sangat memengaruhi kemantapannya. Semakin besar kemiringan dan tinggi suatu lereng, maka kemantapannya semakin kecil.
2. Struktur batuan. Struktur batuan yang sangat memengaruhi kemantapan lereng adalah bidang-bidang sesar, perlapisan dan rekahan. Struktur batuan tersebut merupakan bidang-bidang lemah dan sekaligus sebagai tempat merembesnya air, sehingga batuan lebih mudah longsor.
3. Sifat Fisik dan Mekanik batuan. Sifat fisik batuan yang memengaruhi kemantapan lereng adalah : bobot isi (*density*), porositas dan kandungan air. Kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, kohesi dan sudut geser dalam merupakan sifat mekanik batuan yang juga mempengaruhi kemantapan lereng.
 - a. Bobot isi, Bobot isi batuan akan mempengaruhi besarnya beban pada permukaan bidang longsor. Sehingga semakin besar bobot isi batuan, maka gaya penggerak yang menyebabkan lereng longsor akan semakin besar. Dengan demikian, kemantapan lereng tersebut semakin berkurang.
 - b. Porositas, Batuan yang mempunyai porositas besar akan banyak menyerap air. Dengan demikian bobot isinya menjadi lebih besar, sehingga akan memperkecil kemantapan lereng.

Kandungan air, Semakin besar kandungan air dalam batuan, maka tekanan air pori menjadi besar juga. Dengan demikian kuat geser



batuannya akan menjadi semakin kecil, sehingga kemantapannya pun berkurang.

- d. Kekuatan batuan biasanya dinyatakan dengan kuat tekan (*confined & unfinid compressive strength*), kuat tarik (*tensile strength*) dan kuat geser (*shear strength*). Batuan yang mempunyai kekuatan besar, akan lebih mantap.
 - e. Kohesi dan sudut geser dalam, semakin besar kohesi dan sudut geser dalam, maka kekuatan geser batuan akan semakin besar juga. Dengan demikian akan lebih mantap.
4. Pengaruh gaya, Biasanya gaya-gaya dari luar yang dapat memengaruhi kemantapan lereng antara lain : getaran alat-alat berat yang bekerja pada atau sekitar lereng, peledakan, gempa bumi dll. Semua gaya-gaya tersebut akan memperbesar tegangan geser sehingga dapat mengakibatkan kelongsoran pada lereng.

Menurut (Zakaria, 2009) dan (Safruddim *et al.*, 2019), faktor penyebab ketidakamanan lereng pada tanah adalah sebagai berikut:

1. Pelapukan dan erosi, Pelapukan dan erosi sangat dipengaruhi oleh iklim yang diwakili oleh kehadiran hujan di daerah setempat, curah hujan kadar air (*water content; %*) dan kejenuhan air (*saturation; Sr, %*). Pada beberapa kasus longsor, hujan sering sebagai pemicu karena hujan meningkatkan kadar air tanah yang menyebabkan kondisi fisik/mekanik material tubuh lereng berubah. Kenaikan kadar air akan memperlemah sifat fisik-mekanik tanah dan menurunkan faktor keamanan lereng
2. Ketidak seimbangan beban puncak di kaki lereng, Beban tambahan di tubuh lereng bagian atas (puncak) mengikutsertakan peranan aktivitas manusia. Pendirian atau peletakan bangunan, terutama memandang aspek estetika belaka, misalnya dengan membuat perumahan (*real estate*) atau villa di tepi-tepi lereng atau di puncak-puncak bukit merupakan tindakan ceroboh yang dapat mengakibatkan longsor. Kondisi tersebut menyebabkan berubahnya keseimbangan tekanan dalam tubuh lereng. Sejalan dengan kenaikan beban puncak lereng, maka keamanan lereng akan menurun. Pengurangan beban daerah kaki lereng berdampak menurunkan faktor keamanan. Makin



besar pengurangan beban di kaki lereng, makin besar pula penurunan faktor keamanan lerengnya, sehingga lereng makin labil atau makin rawan longsor. Aktivitas manusia berperan dalam kondisi seperti ini. Pengurangan beban di kaki lereng diantaranya oleh aktivitas penambangan bahan galian, pemangkasan (*cut*) kaki lereng untuk perumahan, dan jalan.

3. Vegetasi/tumbuh-tumbuhan, Hilangnya tumbuhan penutup, dapat menyebabkan alur-alur pada beberapa daerah tertentu. Penghanyutan makin meningkat dan akhirnya terjadilah longsor. Dalam kondisi tersebut berperan pula faktor erosi. Letak atau posisi penutup tanaman keras dan kerapatannya mempengaruhi faktor keamanan lereng. Penanaman vegetasi tanaman keras di kaki lereng akan memperkuat kestabilan lereng, sebaliknya penanaman tanaman keras di puncak lereng justru akan menurunkan faktor keamanan lereng sehingga memperlemah kestabilan lereng.
4. Naiknya muka air tanah, Kehadiran air tanah dalam tubuh lereng biasanya menjadi masalah bagi kestabilan lereng. Kondisi ini tak lepas dari pengaruh luar, yaitu iklim (diwakili oleh curah hujan) yang dapat meningkatkan kadar air tanah, derajat kejenuhan, atau muka airtanah. Kehadiran air tanah akan menurunkan sifat fisik dan mekanik tanah. Kenaikan muka air tanah meningkatkan tekanan pori (μ) yang berarti memperkecil ketahanan geser dari massa lereng, terutama pada material tanah (*soil*). Kenaikan muka air tanah juga memperbesar debit air tanah dan meningkatkan erosi di bawah permukaan (*piping* atau *subaqueous erosion*). Akibatnya lebih banyak fraksi halus (lanau) dari masa tanah yang dihanyutkan, ketahanan massa tanah akan menurun.
5. Gempa atau getaran, banyak kejadian longsor terjadi akibat gempa bumi selain itu getaran dari aktivitas manusia juga dapat mengakibatkan kelongsoran seperti peledakan pada tambang terbuka dan getaran kendaraan yang sedang beraktivitas.

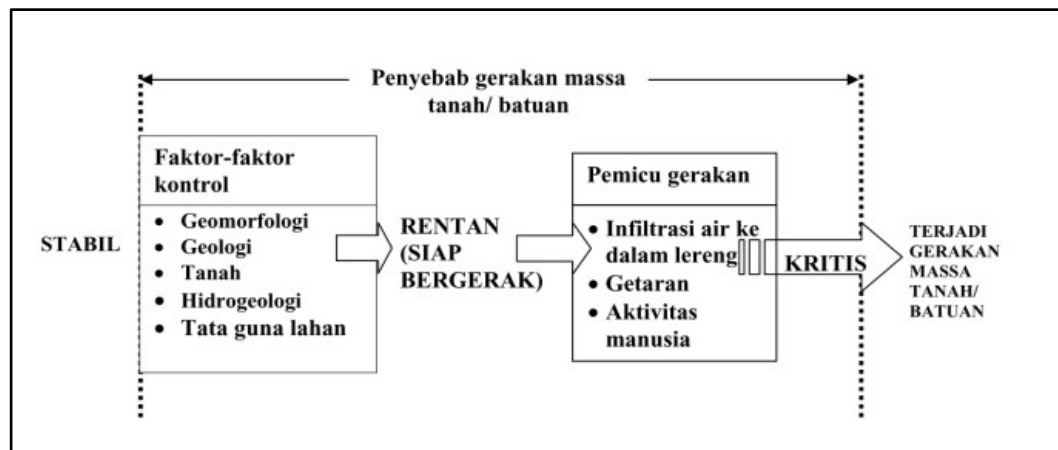
2.4 Klasifikasi Gerakan Massa Tanah



hal yang perlu diketahui, dipelajari, dan dimengerti sebelumnya agar rancang lereng tambang yang baik adalah klasifikasi gerakan massa tanah

dan batuan, metode penambangan terbuka yang diterapkan, dan rancangan teknik secara umum (Arif, 2016).

Varnes (1978) membuat klasifikasi jenis gerakan massa tanah/ batuan dapat berdasarkan mekanisme gerakan serta tipe material yang bergerak. Sementara itu, Karnawati (1996) menyusun klasifikasi gerakan massa tanah/batuan di Indonesia, berdasarkan mekanisme gerakan dengan meninjau faktor-faktor kontrol gerakan tersebut (Gambar 2). Dari pemahaman klasifikasi dan mekanisme gerakan massa tersebut, maka tinjauan dan analisis geologi terhadap penyebab dan mekanisme suatu kejadian gerakan tanah/ batuan dapat dilakukan secara tepat (Karnawati, 2007).



Gambar 2 Proses terjadinya gerakan massa tanah dan komponen yang mempengaruhi

2.4.1. Longsoran (*Sliding*)

Secara umum longsor adalah proses tergelincir atau berpindahnya suatu bagian tanah atau batuan (Alfat *et al.*, 2019). Istilah yang paling banyak digunakan untuk gerakan tanah dan batuan yang terjadi pada lereng-lereng alamiah adalah longsor dalam arti yang luas (Arif, 2016). Agar pengertian longsor dapat diperjelas, Coates (1970) dan Hansen (1984) membuat daftar beberapa faktor penting yang telah disetujui diantara 28 penulis yang telah menyumbangkan pikirannya untuk subjek ini. Daftar ini sangat menarik saat kita mencoba memutuskan elemen apa yang menyusun suatu longsor dan gerakan mana yang dapat atau tidak dapat didefinisikan ke dalam kategori longsor. Daftar tersebut adalah sebagai berikut.



Longsor mewakili satu kategori dan suatu fenomena termasuk didalamnya secara umum dari pergerakan tanah dan batuan.

Infiltrasi adalah gaya utama yang terlibat.

3. Gerakan harus cukup cepat karena rayapan (*creep*) begitu untuk dikategorikan sebagai longsor.
4. Gerakan dapat berupa keruntuhan (*falling*), longsor/luncuran (*sliding*), dan aliran (*flow*).
5. Bidang atau daerah gerakan tidak sama dengan patahan.
6. Gerakan akan mengarah ke bawah dan menghasilkan bidang bebas, jadi *subsidence* tidak termasuk.
7. Material yang tetap di tempat dapat meliputi sebagian dari *regolith* dan/atau *bedrock*.

Klasifikasi dari longsor pada umumnya dapat didasarkan pada faktor-faktor sebagai berikut: jenis material, karakteristik geomekanik, kecepatan dan lamanya gerakan, bentuk permukaan longsor (bidang, baji, busur), volume yang dilibatkan, umur longsor, penyebab longsor, dan mekanisme longsor (Arif, 2016).

Longsor pada suatu lereng dapat terjadi dengan beberapa bentuk atau cara. Hal ini yang membuat analisa dari kemantapan lereng sangat penting menurut Hoek & Bray (1981., dalam Aprilia *et al.*, 2014). Secara umum, longsor pada tambang terbuka dibagi menjadi empat yaitu:

1. Longsor bidang (*plane failure*), merupakan suatu longsor batuan yang terjadi di sepanjang bidang luncur yang dianggap rata. Bidang luncur tersebut dapat berupa rekahan, sesar maupun bidang perlapisan batuan.
2. Longsor baji merupakan suatu longsor batuan yang terjadi di sepanjang bidang luncur yang dianggap rata. Bidang luncur tersebut dapat berupa rekahan, sesar maupun bidang perlapisan batuan.
3. Longsor guling (*toppling failure*), umumnya terjadi pada lereng yang terjal dan pada batuan yang keras dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom.



4. Longsoran busur (*circular failure*), umumnya terjadi pada material yang bersifat lepas (*lose material*) seperti material tanah. Sesuai dengan namanya, bidang longsorannya berbentuk busur.



Gambar 3 Longsoran yang terjadi di PTFI Desember 2003 (PT Freeport Indonesia, 2003., dalam Arif, 2016)

2.4.2. Runtuhan (*falling*)

Intensitas Arif (2016), disebut runtuhan jika gerakan tanah dan batuan ibarat jatuh bebas, seperti batuan pada dinding yang curam (mendekati tegak) yang tiba-tiba jatuh. Runtuhan dapat terjadi akibat adanya bidang-bidang diskontinu pada suatu lereng yang relatif tegak, pada rayapan dari lapisan lunak (misalnya *marl*) atau gulingan blok seperti runtuhan yang terjadi di Gunung Granier en Savoie pada tahun 1248.

Jatuhan (*Fall*) adalah jatuhan atau massa batuan bergerak melalui udara, termasuk gerak jatuh bebas, meloncat dan menggelindingan bongkah batu dan bahan rombakan tanpa banyak bersinggungan satu dengan yang lain. Termasuk jenis gerakan ini adalah runtuhan batu, bahan rombakan maupun tanah (Zakaria, 2009).





Gambar 4 Runtuhan di Pennington point (Sumber: British Geological Survey, 2009., dalam Arif, 2016)

2.4.3. Nendatan (*Slump*)

Slump, atau dikenal juga sebagai nendatan (KBBI, 2023), merupakan gerakan tanah yang terjadi karena merosot, terputus-putus atau tersendat-sendat dari massa tanah dan batuan ke arah bawah dalam jarak yang relatif pendek, melalui bidang lengkung dengan kecepatan ekstrem lambat sampai agak cepat (*moderate*). Sesuai dengan prosesnya yang terputus-putus, nendatan mempunyai lebih dari satu bidang longsor yang kurang lebih sejajar atau searah satu sama lain.



Gambar 5 Gerakan tanah berupa nendatan/*slump* (Schwert, 1988., dalam Arif, 2016)



2.4.4. Amblesan (*Subsidence*)

Amblesan atau *subsidence* merupakan proses penurunan muka air tanah yang terjadi secara alamiah karena konsolidasi pada lapisan tanah dangkal dan lapisan tanah lunak, ataupun karena penurunan tekanan air tanah pada sistem akuifer di bawahnya akibat pengaruh kegiatan manusia di atas permukaan dan pengambilan air tanah. Amblesan juga dapat terjadi pada permukaan di atas tambang bawah tanah (Arif, 2016).

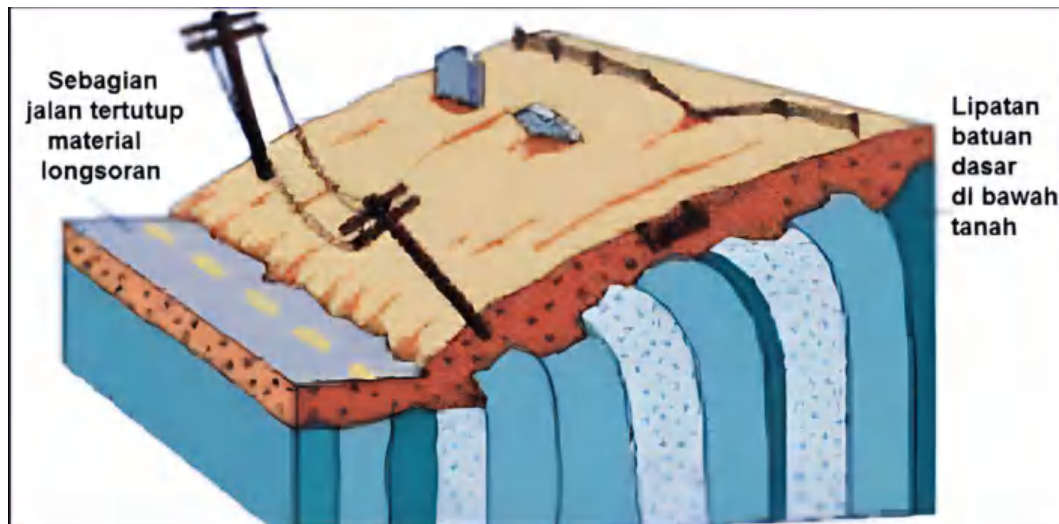


Gambar 6 Amblesan yang terjadi di Ridgeway, New South Wales (Rolinator, 2006., dalam Geoteknik Tambang).

2.4.5. Rayapan (*Creep*)

Menurut Permen PU No. 22/PRT/M/ 2007 tentang Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor dan Arif (2016), rayapan tanah merupakan jenis longsor butiran baik kasar maupun halus, tidak mudah dikenali, kontinu dan relatif lambat. Namun, dapat dilihat dari timbulnya kemiringan pada tiang listrik, telepon, pagar ataupun pohon. Dalam Permen PU tersebut juga dijelaskan bahwa longsor dengan tipe rotasi merupakan pergerakan massa tanah dan batuan pada bidang gelincir dengan bentuk cekung, sedangkan tipe aliran merupakan tipe longsor yang disebabkan oleh air, dengan kecepatan aliran tergantung pada kemiringan, volume air, tekanan air dan jenis material yang dibawanya.





Gambar 7 Rayapan (Sumber: British Columbia, 1993., dalam Arif, 2016)

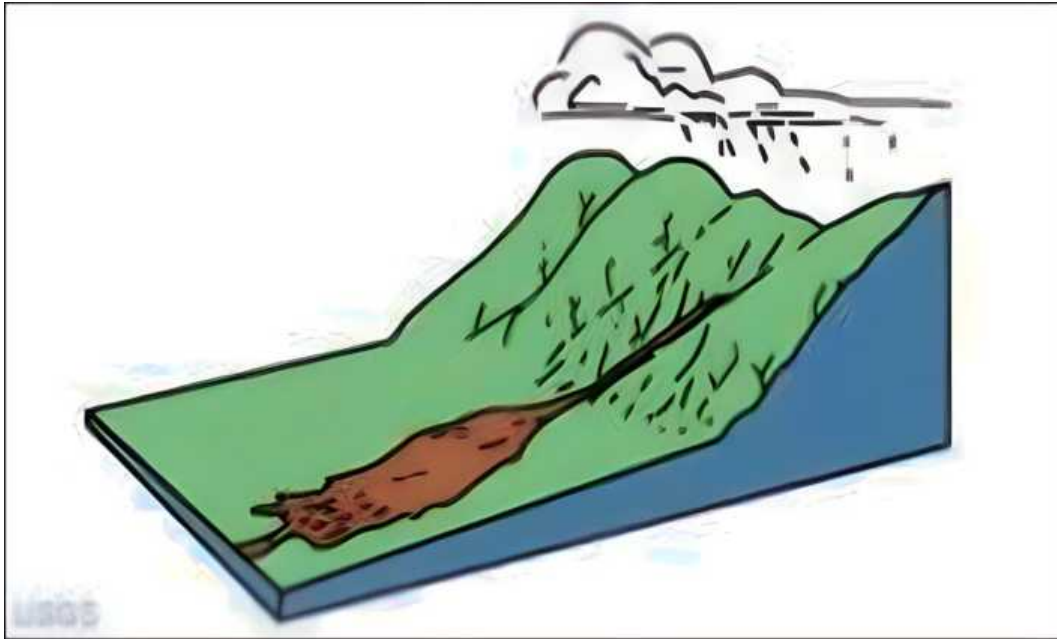
Tipe longsor rayapan tersebar pada kemiringan agak curam (8–15%) banyak dijumpai pada kebun campuran dan permukiman. Mekanisme longsor rayapan melalui perpindahan material batuan atau tanah ke arah kaki lereng memiliki pergerakan yang lambat, sehingga cukup waktu dalam mempersiapkan mitigasi sebelum menimbulkan kerusakan lebih parah. Hal senada juga dapat dilihat dalam penjelasan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (2013), bahwa tipe tanah rayapan merupakan tipe longsor dengan pergerakan yang lambat, sedangkan tipe longsor aliran merupakan tipe longsor yang dapat mencapai ratusan meter dengan korban yang ditimbulkan cukup banyak. Hidayat (2018) menambahkan bahwa tipe longsor rotasi sering terjadi di Indonesia pada wilayah-wilayah yang memiliki kontak antara batuan dasar dengan zona pelapukan (Susanti & Miardini, 2019).

2.4.6. Aliran (*Flow*)

Aliran (*flow*) adalah gerakan yang dipengaruhi oleh jumlah kandungan atau kadar air tanah, terjadi pada material tak terkonsolidasi dan dipicu oleh Gerakan longsorannya sebelumnya. Bidang longsor antara material yang bergerak umumnya tidak dapat dikenali. Termasuk dalam jenis gerakan aliran kering adalah sandrun (larian pasir), aliran fragmen batu, aliran loess. Sedangkan jenis gerakan aliran

alah aliran pasir-lanau, aliran tanah cepat, aliran tanah lambat, aliran lan aliran bahan rombakan (Arif, 2016 dan Zakaria, 2011).





Gambar 8 Aliran (*Flow*) (Sumber: United States Geological Survey, 1999., dalam Arif, 2016)

2.4.7. Gerakan Kompleks (*Complex Movement*)

Gerakan tanah dan batuan yang merupakan gabungan lebih atau sama dengan dua gerakan tanah dan batuan yang disebutkan sebelumnya sehingga sulit diidentifikasi sebagai salah satu jenis gerakan yang telah didefinisikan sebelumnya (Arif, 2016). Longsoran majemuk (*complex landslide*) adalah gabungan dari dua atau tiga jenis gerakan di atas. Pada umumnya longsoran majemuk terjadi di alam, tetapi biasanya ada salah satu jenis gerakan yang menonjol atau lebih dominan (Zakaria, 2009).

2.5 Faktor Keamanan Lereng

Dalam menentukan kestabilan lereng, dikenal istilah Faktor Keamanan (*Safety Factor*), yang merupakan perbandingan antara gaya-gaya yang menahan, terhadap gaya-gaya yang menggerakkan tanah tersebut. Bila faktor keamanan lebih tinggi dari satu, umumnya lereng tersebut dianggap stabil. Kemantapan suatu lereng dinyatakan dengan Faktor Keamanan (FK), yang merupakan perbandingan antara besarnya gaya penahan dengan gaya penggerak longsoran. Longsoran suatu lereng umumnya terjadi melalui suatu bidang tertentu yang disebut dengan bidang gelincir (*slip surface*). Kestabilan lereng tergantung pada gaya penggerak dan gaya penahan yang bekerja pada bidang gelincir tersebut. Gaya penahan (*resisting force*) adalah gaya yang menahan agar tidak terjadi longsoran, sedangkan



gaya penggerak (*driving force*) adalah gaya yang menyebabkan terjadinya longsor. Perbandingan antara gaya-gaya penahan terhadap gaya-gaya yang menggerakkan tanah inilah yang disebut dengan faktor keamanan (FK) lereng penambangan.

Mengingat banyaknya faktor yang mempengaruhi tingkat kestabilan lereng penambangan maka hasil analisis dengan $FK = 1,00$ belum dapat menjamin bahwa lereng tersebut dalam keadaan stabil. Hal ini disebabkan karena ada beberapa faktor yang perlu diperhitungkan dalam analisa faktor keamanan lereng penambangan seperti kekurangan dalam pengujian contoh di laboratorium, contoh batuan yang diambil belum mewakili keadaan sebenarnya di lapangan, tinggi muka air tanah pada lereng tersebut.

Dengan demikian, diperlukan suatu nilai faktor keamanan minimum dengan suatu nilai tertentu yang disarankan sebagai batas faktor keamanan terendah yang masih aman sehingga lereng dapat dinyatakan stabil atau tidak. Sehingga pada penelitian ini, faktor keamanan minimum yang digunakan adalah $FK \geq$ (sama dengan atau lebih besar) dari 1,25, sesuai prosedur dari Bowles (2000, dalam (Ali *et al.*, 2018) dengan ketentuan:

1. $FK \geq 1,25$: Lereng Aman
2. $FK = 1,07-1,25$: Lereng Tidak Aman.
3. $FK < 1,07$: Lereng kritis

Tabel 1 Faktor keamanan lereng (FK) dan probabilitas longsor (PoF)

Jenis Lereng	Keparahan Longsor	Kriteria dapat diterima (<i>Acceptance Criteria</i>)		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (min)	Faktor keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (PoF) (maks) PoF ($FK \leq 1$)
Lereng Tunggal	Rendah	1,1	Tidak ada	25-50%
	Tinggi			
amp	Rendah	1,15–1,2	1,0	25%
	Menengah	1,2–1,3	1,0	20%



Jenis Lereng	Keparahan Longsor	Kriteria dapat diterima (<i>Acceptance Criteria</i>)		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (min)	Faktor keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (PoF) (maks) PoF (FK≤1)
Lereng Keseluruhan	Tinggi	1,2–1,3	1,1	10%
	Rendah	1,2–1,3	1,0	15–20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3–1,5	1,1	5%

Sumber: Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827/K30/MEM/2018

2.6 Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan

Sistem analisis kestabilan lereng didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastisitas, yang dimaksudkan adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Salah satu metode yang sering digunakan untuk menentukan faktor keamanan lereng adalah metode irisan (Soesilo, 2016).

Metode irisan merupakan metode yang sangat populer dalam analisis kestabilan lereng. Metode ini telah terbukti sangat berguna dan dapat diandalkan dalam praktik rekayasa serta membutuhkan data yang relatif sedikit dibandingkan dengan metode lainnya, seperti metode elemen hingga (*finite element*), metode beda hingga (*finite difference*) atau metode elemen diskrit (*discrete element*).

Ide untuk membagi massa di atas bidang runtuh ke dalam sejumlah irisan telah digunakan sejak awal abad 20. Pada tahun 1916, Peterson melakukan analisis kestabilan lereng pada beberapa dinding dermaga di Gothenberg, Swedia, dimana bidang runtuh dianggap berbentuk sebuah busur lingkaran dan kemudian massa di atas bidang runtuh dibagi ke dalam sejumlah irisan vertikal.

Terdapatnya beberapa macam variasi dari metode irisan disebabkan oleh



perbedaan asumsi-asumsi yang digunakan dalam perhitungan faktor aman. Asumsi tersebut dipergunakan karena analisis kestabilan lereng merupakan persoalan statika tak tentu (*indefinite statics*) sehingga diperlukan

beberapa asumsi tambahan yang diperlukan dalam perhitungan faktor keamanan (Arief, 2008).

2.6.1 Prinsip metode irisan

Semua metode irisan menyatakan kondisi kestabilan suatu lereng dinyatakan dalam suatu indeks yang disebut faktor keamanan (F), yang didefinisikan sebagai berikut (Arief, 2008):

$$F = \frac{s}{\tau} = \frac{\text{Kekuatan geser material yang tersedia}}{\text{Kekuatan geser material yang diperlukan agar tepat seimbang}} \quad (4)$$

Faktor keamanan diasumsikan mempunyai nilai yang sama untuk setiap irisan. Kekuatan geser material yang tersedia untuk menahan material sehingga lereng tidak longsor dinyatakan dalam kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb sebagai berikut:

$$s = c' + (\sigma_n - u) \tan \phi' \quad (5)$$

dimana,

s = Kekuatan geser

c' = kohesi efektif

ϕ' = sudut gesek efektif

σ_n = tegangan normal total

u = tekanan air pori

Kekuatan geser tersebut dianggap tidak tergantung pada kondisi tegangan-regangan yang ada pada lereng. Besarnya tahanan geser yang diperlukan agar lereng berada dalam kondisi tepat setimbang (S_m) dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

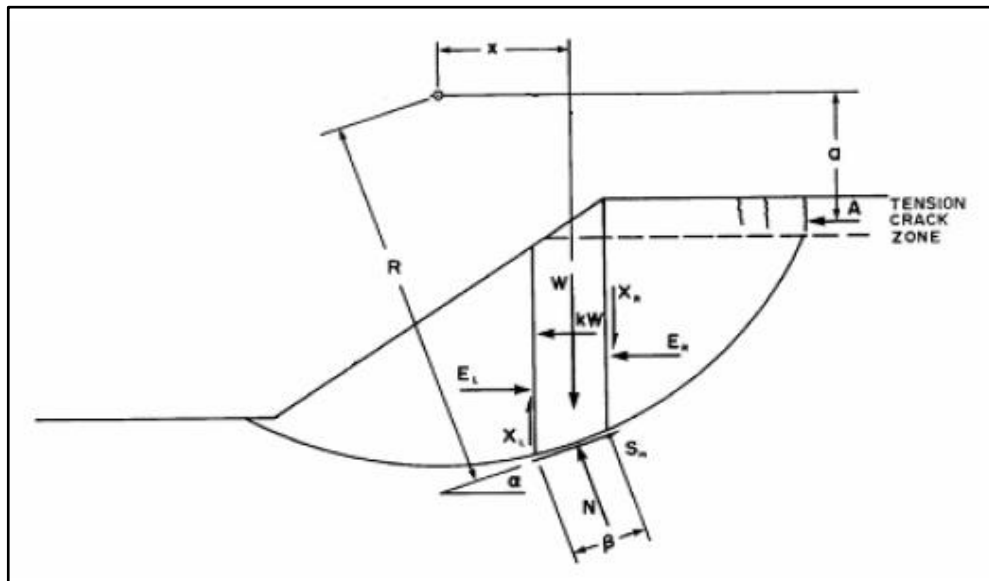
$$S_m = \frac{s \beta}{F} = \frac{(c' + (\sigma_n - u) \tan \phi') \beta}{F} \quad (6)$$

$$S_m = \frac{(c' \beta + (\sigma_n - u) \beta \tan \phi')}{F} \quad (7)$$

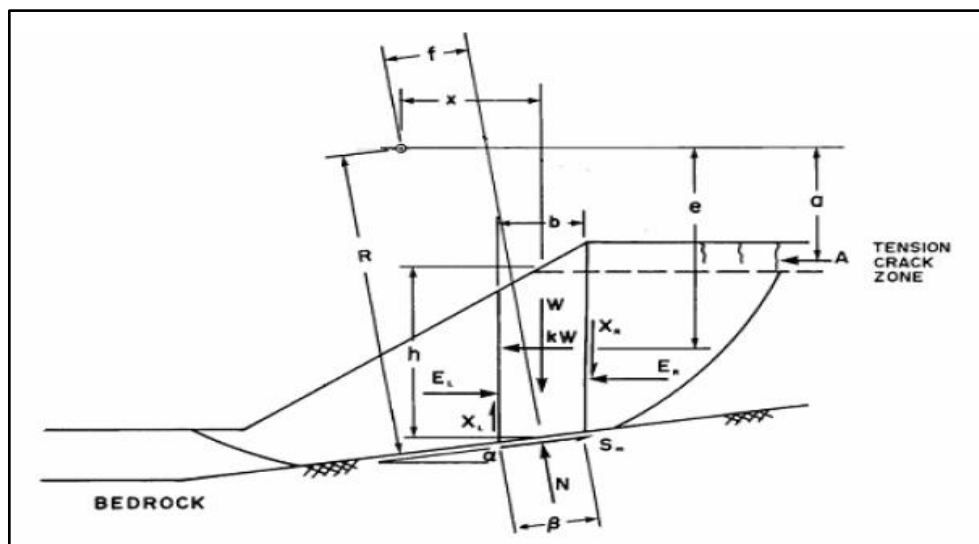
Karakteristik lainnya yaitu geometri dari bidang gelinciran harus ditentukan atau diasumsikan terlebih dahulu. Untuk menyederhanakan perhitungan, bidang runtuh biasanya dianggap berbentuk sebuah busur lingkaran, gabungan busur lingkaran dengan garis lurus, atau gabungan dari beberapa segmen garis lurus.



Setelah geometri dari bidang runtuh ditentukan kemudian selanjutnya massa di atas bidang runtuh dibagi ke dalam sejumlah irisan tertentu. Tujuan dari pembagian tersebut adalah untuk mempertimbangkan terdapatnya variasi kekuatan geser dan tekanan air pori sepanjang bidang runtuh. Ilustrasi beberapa bentuk bidang runtuh tersebut dan gaya-gaya yang bekerja pada setiap irisan ditunjukkan gambar berikut.

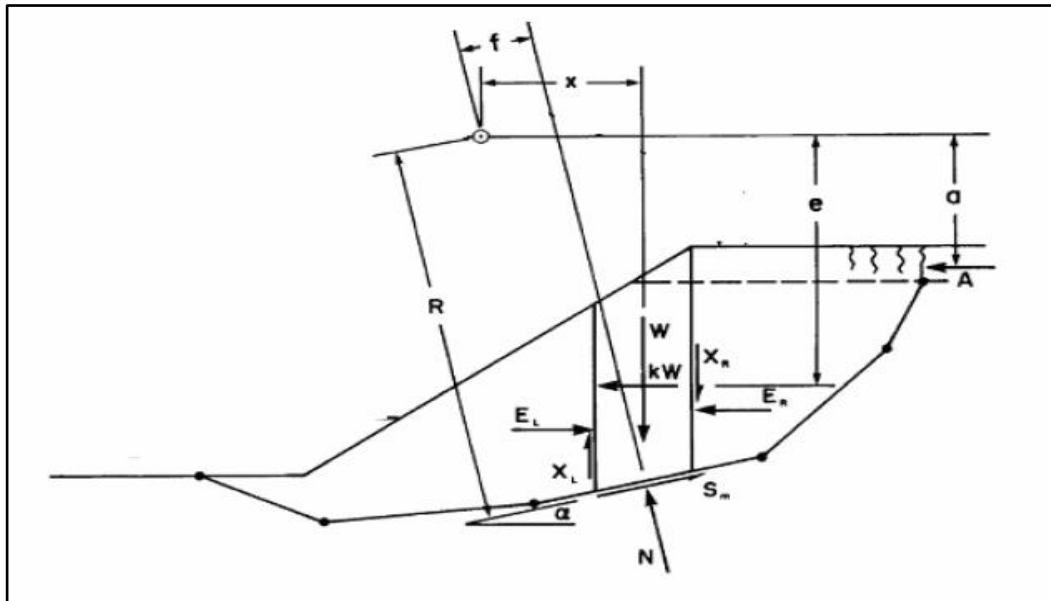


Gambar 9 Model lereng dengan bidang runtuh yang berbentuk sebuah busur lingkaran (Sumber: Arief, 2008)



0 Model lereng dengan bidang runtuh yang berupa gabungan dari sebuah busur lingkaran dengan segmen garis lurus (Sumber: Arief, 2008)





Gambar 11 Model lereng dengan bidang runtuh yang berupa gabungan dari beberapa segmen garis lurus (*multilinier*) (Sumber: Arief, 2008)

Tabel 2 Asumsi – asumsi yang digunakan dalam beberapa metode irisan

Nama Metode	Asumsi
Irisan biasa (Fellenius)	Resultan gaya antar irisan sama dengan nol dan bekerja sejajar dengan permukaan bidang runtuh
Bishop yang disederhanakan	Gaya geser antar irisan sama dengan nol ($X=0$)
Janbu yang disederhanakan	Gaya geser antar irisan sama dengan nol ($X=0$) faktor koreksi digunakan sebagai faktor empiris untuk memasukkan gaya geser antar irisan
Janbu yang umum	Letak gaya antar irisan didefinisikan oleh garis gaya yang diasumsikan
Lowe-kaafiah	Kemiringan dari gaya resultan gaya geser dan normal antar irisan sama dengan rata-rata dari kemiringan permukaan lereng dan kemiringan bidang runtuh Kemiringan gaya geser dan normal antar irisan besarnya sama dengan
id engineers	1. kemiringan permukaan lereng 2. kemiringan dari bidang runtuh ke puncak bidang runtuh



Nama Metode	Asumsi
Spencer	Kemiringan dari resultan gaya geser dan normal adalah sama untuk semua irisan
Morgenstern-Price	Kemiringan gaya geser antar irisan besarnya sebanding dengan fungsi tertentu yang diasumsikan
Kesetimbangan batas umum	Sudut gaya antar irisan besarnya sama dengan fungsi tertentu yang diasumsikan.

Sumber: Arief (2008)

Tabel 3 Kondisi kesetimbangan yang dipenuhi

Nama Metode	Kesetimbangan gaya		Kesetimbangan momen
	Vertikal	Horizontal	
Irisan biasa (Fellenius)	Vertikal	Horizontal	Ya
Bishop yang disederhanakan	Tidak	Tidak	Ya
Janbu yang disederhanakan	Ya	Tidak	Tidak
Janbu yang umum	Ya	Ya	Tidak
Lowe - Karafiah	Ya	Ya	Tidak
Corps of Engineers	Ya	Ya	Tidak
Spencer	Ya	Ya	Ya
Morgenstern-Price	Ya	Ya	Ya
Kesetimbangan batas umum	Ya	Ya	Ya

Sumber: Arief (2008)

Bidang runtuh yang tidak diketahui harus diasumsikan terlebih dahulu dan dilakukan perhitungan pada sejumlah bidang runtuh, untuk mencari bidang runtuh yang memberikan faktor keamanan terkecil. Bidang runtuh yang menghasilkan faktor keamanan terkecil dinamakan sebagai bidang runtuh kritis. Penentuan bidang runtuh kritis dapat dilakukan secara coba-coba atau dengan menggunakan metode optimasi.

2.6.2 Jenis-jenis metode irisan

Menurut Arief (2008) berikut ini adalah jenis-jenis metode irisan dalam analisis kestabilan lereng.



Metode irisan biasa (*Fellenius method*)

Metode irisan biasa (Fellenius, 1936) merupakan metode yang paling sederhana diantara beberapa metode irisan. Metode ini juga dinamakan

sebagai metode lingkaran Swedia. Asumsi yang digunakan dalam metode ini adalah resultan gaya antar irisan sama dengan nol dan bekerja sejajar dengan permukaan bidang runtuh, serta bidang runtuh berupa sebuah busur lingkaran. Kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi oleh metode ini hanya kesetimbangan momen untuk semua irisan pada pusat lingkaran runtuh.

2. Metode Bishop yang disederhanakan

Diantara metode irisan lainnya, metode Bishop yang disederhanakan (Bishop, 1955) merupakan metode yang paling populer dalam analisis kestabilan lereng. Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu besarnya gaya geser antar-irisan sama dengan nol ($X=0$) dan bidang runtuh berbentuk sebuah busur lingkaran. Kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi oleh metode ini adalah kesetimbangan gaya dalam arah vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh untuk semua irisan, sedangkan kesetimbangan gaya dalam arah horisontal tidak dapat dipenuhi. Metode Bishop yang disederhanakan merupakan metode sangat populer dalam analisis kestabilan lereng dikarenakan perhitungannya yang sederhana, cepat dan memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup teliti. Kesalahan metode ini apabila dibandingkan dengan metode lainnya yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan seperti Metode Spencer atau Metode Kesetimbangan Batas Umum, jarang lebih besar dari 5%. Metode ini sangat cocok digunakan untuk pencarian secara otomatis bidang runtuh kritis yang berbentuk busur lingkaran untuk mencari faktor keamanan minimum.

3. Metode Janbu yang disederhanakan

Metode Janbu yang disederhanakan (Janbu, 1954, 1973) juga termasuk salah satu metode yang populer dan sering digunakan dalam analisis kestabilan lereng. Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu gaya geser antar irisan sama dengan nol. Metode ini memenuhi kesetimbangan gaya dalam arah vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan gaya dalam arah horisontal untuk semua irisan, namun kesetimbangan momen tidak



dapat dipenuhi. Sembarang bentuk bidang runtuh dapat dianalisis dengan metode ini.

4. Metode kesetimbangan batas umum

Metode Kesetimbangan Batas Umum dikembangkan oleh Fredlund di tahun 70-an (Fredlund dan Krahn 1977; Fredlund dkk 1981). Metode ini dapat memenuhi semua kondisi kesetimbangan dan dapat digunakan untuk gelinciran dengan bidang runtuh sembarang. Asumsi yang digunakan oleh metode kesetimbangan batas umum yaitu terdapat hubungan antara gaya geser antar-irisan dan gaya normal antar-irisan.

5. Metode Spencer

Spencer (1967) menganggap resultan gaya antar irisan pada semua irisan mempunyai sudut kemiringan tertentu yang sama. Oleh karena itu metode Spencer dapat dianggap sebagai kasus khusus dari metode Morgenstern-Price dimana $f(x) = 1$. Metode Spencer dapat digunakan untuk sembarang bentuk bidang runtuh dan memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan kesetimbangan momen pada setiap irisan.

6. Metode Morgenstern-Price

Metode Morgenstern-Price (Morgenstern & Price, 1965) dikembangkan terlebih dahulu daripada metode kesetimbangan batas umum. Metode ini dapat digunakan untuk semua bentuk bidang runtuh dan telah memenuhi semua kondisi kesetimbangan. Metode Morgenstern-Price menggunakan asumsi yang sama dengan metode kesetimbangan batas umum yaitu terdapat hubungan antara gaya geser antar-irisan dan gaya normal antar-irisan.

2.7 Disposal

Disposal adalah lokasi pada suatu operasi tambang terbuka yang dijadikan tempat penimbunan material bukan bijih dan/atau material kadar rendah. *Disposal* adalah tempat pembuangan yang dirancang/direncanakan untuk menampung material

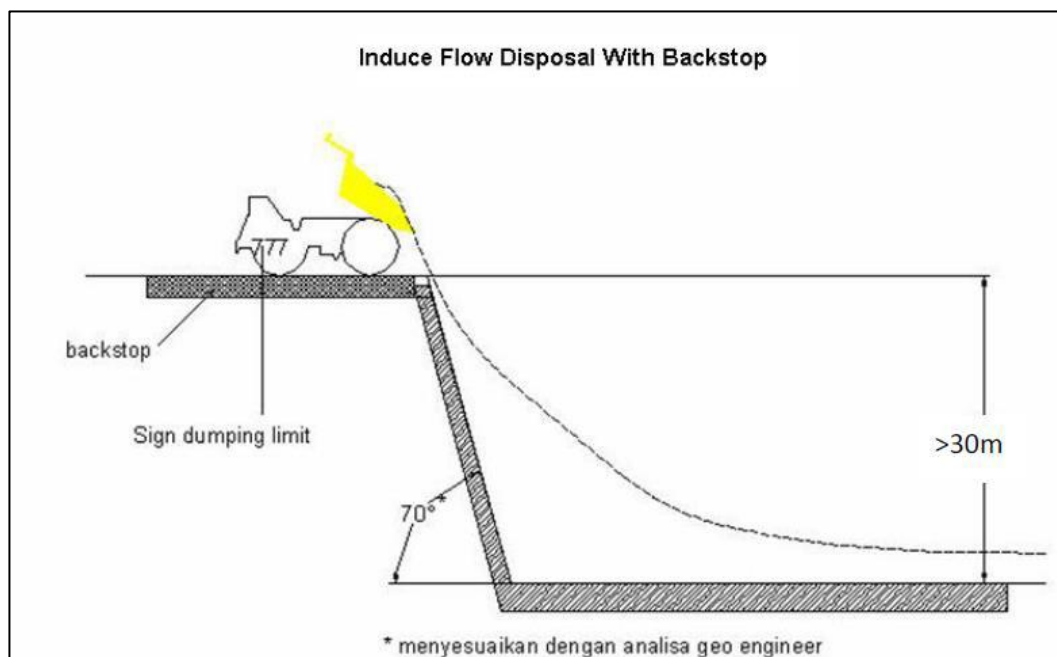
overburden dan material lain dari tambang. *Disposal* biasanya dibuat pada tambang bekas penambangan ataupun bekas penambangan *quarry* yang apabila lubangnya sudah penuh, maka permukaan dari *disposal* ini akan



ditutupi dengan lapisan tanah penutup untuk dijadikan daerah penghijauan. Tujuan dari perancangan *disposal* adalah mencegah terjadinya kecelakaan pada saat pengoperasian *disposal* berupa tabrakan antar alat berat maupun terjatuh dari ketinggian karena kegagalan kestabilan di *disposal* (PT Vale, 2018).

2.7.1 *Disposal Induce Flow* (DIF)

Disposal Induce Flow adalah *disposal* yang memanfaatkan ketinggian lereng tempat penongkangan (*dumping point*) untuk mengalirkan material ke kaki *disposal*. Agar efektif, ketinggian awal lereng tempat *dumping*-nya harus lebih dari 30 m. Persyaratan utama untuk *disposal* ini adalah tempat penongkangan harus stabil berupa batuan yang kokoh dengan nilai faktor keamanan lerengnya minimal 1,30. Pada tipe ini, *dump truck* melakukan penongkangan material *overburden* atau *waste* pada tepi lereng. Oleh karena itu tempat penongkangan harus dihadang *back stop* pada batas *dumping*-nya sebagai batas *dumping* tetap/*final* dengan koordinat yang sudah ditentukan dari hasil kajian *geotechnical* (PT Vale, 2018).

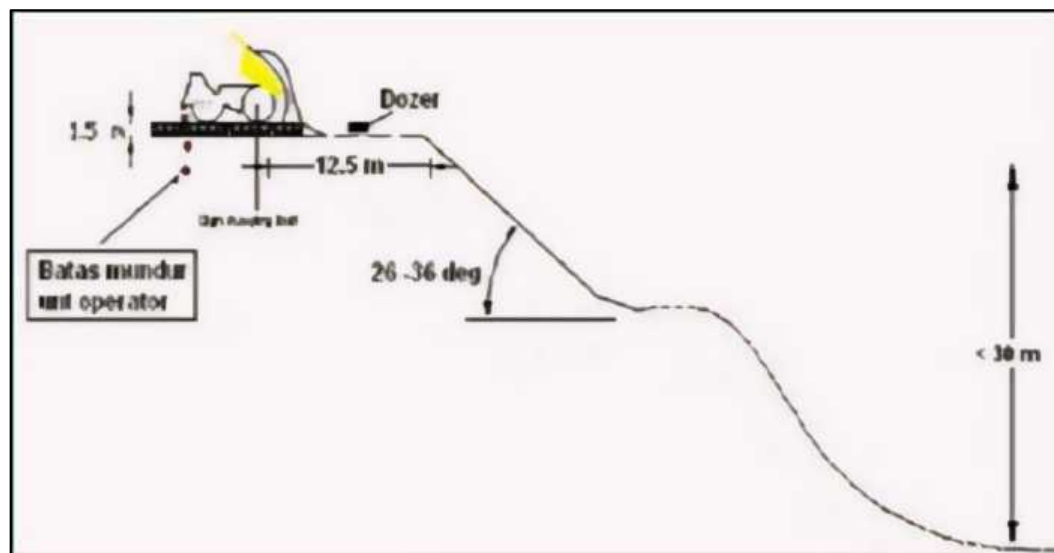


Gambar 12 *Disposal Induce Flow* (DIF) (Sumber: Management Diposal PT Vale Indonesia Tbk, 2018)



2.7.2 Disposal Semi Induced Flow (DSIF)

Disposal semi induced flow adalah *disposal* yang memanfaatkan ketinggian lereng tempat penongkangan (*dumping point*) untuk mengalirkan material ke kaki *disposal* dengan bantuan *bulldozer*. Agar efektif, ketinggian awal lereng tempat *dumping*-nya harus lebih dari 15 m dan kurang dari 30 m. *Disposal* tipe *semi induced flow* tempat *dumping*-nya harus berupa tanah asli (*original*) atau batuan yang kokoh dengan nilai faktor keamanan lerengnya minimal 1,30. Pada saat mulai digunakan, jarak minimum antara ujung lereng dan batas *dumping* minimal 7,5 m. Apabila *disposal* ini melakukan penimbunan pada lereng yang berjenjang maka timbunannya dapat mengisi jenjang pertama. Untuk kasus ini batas *dumping* dapat dimajukan dengan menganggap timbunan pada jenjang pertama berada dalam kondisi yang stabil dengan kemiringan 26° dan maksimum ketebalan timbunan adalah 10 m. Penentuan batas *dumping* harus berdasarkan kajian geoteknik



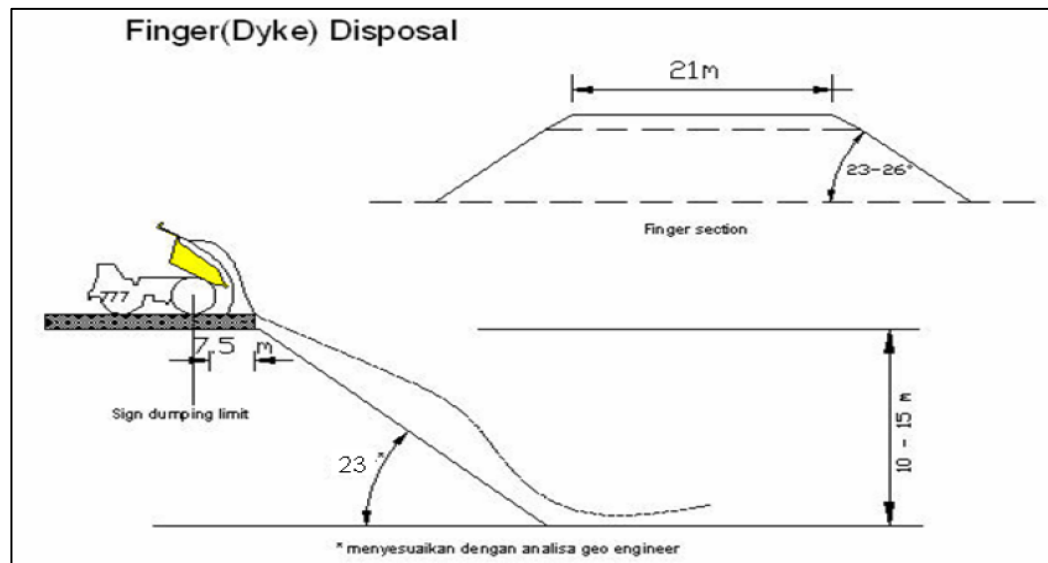
Gambar 13 *Disposal Semi Induced Flow* (DSIF) (Sumber: Manajemen Dipsal PT Vale Indonesia Tbk, 2018)

2.7.3 Disposal Finger (DF)

Disposal Finger adalah *disposal* yang dibuat maju dengan bantuan *bulldozer* dan membutuhkan kontinuitas dari material sipil sebagai landasan tempat penongkangan truk dan memanfaatkan beda ketinggian kurang dari 15 m dengan

niringan final $26-30^{\circ}$ (PT Vale., 2018).





Gambar 14 *Disposal Finger* (DF) (Sumber: Manajemen Dipsal PT Vale Indonesia Tbk, 2018)

Tabel 4 Tipe *Disposal*

Tipe <i>Disposal</i>	Tinggi Lereng (m)	Sudut Kemiringan Lereng (°)
<i>Finger</i>	10 – 15	23 – 30
<i>Semi Induced Flow</i>	> 15 – 30	36 – 45
<i>Induce Flow</i>	> 30	70

Sumber: PT Vale Indonesia Tbk (2018)

2.8 Stabilisasi Lereng

Stabilisasi lereng merupakan kegiatan yang dilakukan dengan tujuan untuk menjaga stabilitas lereng. Menurut Abramson (2001, dalam Andriyan *et al.*, 2018) dalam menentukan metode yang akan diterapkan dalam upaya menjaga stabilitas lereng perlu dipertimbangkan beberapa faktor, seperti :

1. Waktu dan biaya

Waktu dan biaya merupakan hal sangat penting dalam menentukan metode stabilisasi yang sesuai. Hal ini sejalan dengan prinsip industri pertambangan yang menggunakan metode yang paling ekonomis dan juga efektif, sehingga metode yang dipertimbangkan adalah metode yang membutuhkan waktu relatif singkat, namun dengan biaya yang relatif murah pula.



2. Batasan Teknis (*Technical Constraint*)

Batasan teknis meliputi faktor-faktor antara lain tipe material penyusun lereng, rayapan pada permukaan tanah, tingkat korosi (*corrosivity*) material, dan faktor-faktor lainnya (Arif, 2016). Selain masalah karakteristik bahan faktor-faktor seperti ketersediaan material, alat, serta tenaga kerja juga perlu diperhitungkan karena akan berhubungan dengan waktu dan biaya.

3. Batasan lokasi

Batasan lokasi berhubungan dengan luasan area yang akan dilakukan stabilisasi. Sebagai contoh apabila stabilisasi lereng menggunakan beton tembak (*shotcrete*) maka luas area yang dilakukan stabilisasi akan lebih luas apabila menggunakan baut batuan (*rockbolt*). Namun batasan lokasi harus dipertimbangkan kembali terhadap faktor waktu dan biaya.

4. Batasan lingkungan

Batasan lingkungan merupakan masalah yang sangat penting dalam industri pertambangan, sehingga perlu diperhatikan apakah selama atau sesudah kegiatan stabilisasi memiliki dampak terhadap lingkungan atau tidak.

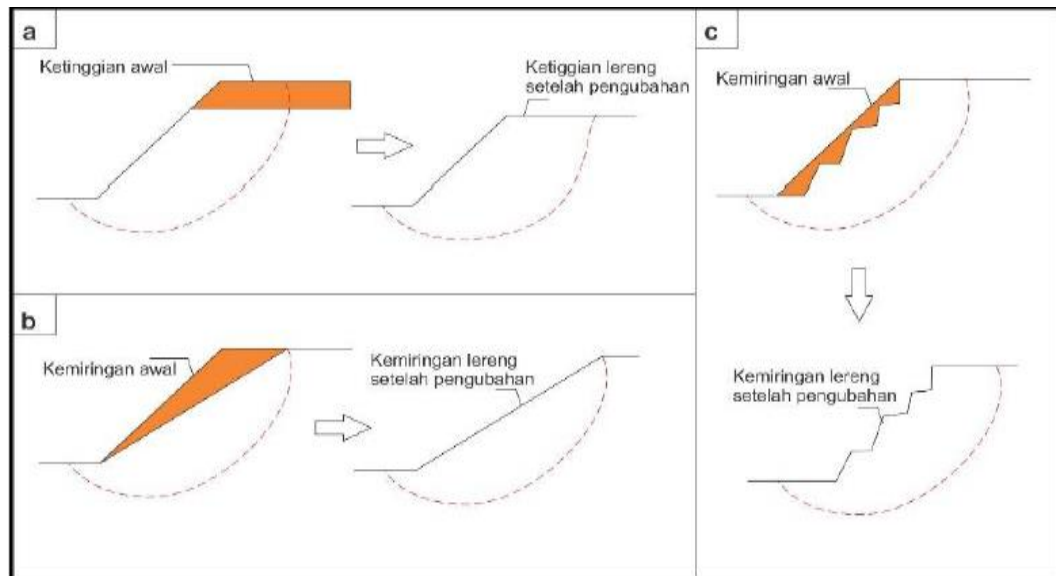
Menurut Hoek dan Bray (1981, dalam Andriyan *et al.*, 2018), metode stabilisasi lereng dapat dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Metode penanggulangan longsor dengan mengurangi daya dorong

a. Perubahan geometri lereng

Merubah geometri lereng merupakan hal paling sering dilakukan dalam kegiatan stabilisasi lereng karena mudah dilakukan dan tidak memerlukan biaya, namun akan berdampak terhadap rencana penambangan serta perolehan bahan galian yang akan di tambang. Metode ini biasanya melakukan perubahan terhadap ketinggian atau kemiringan lereng





Gambar 15 Skema perubahan geometri lereng (Sumber: Andriyan *et al.*, 2018)

b. Drainase air permukaan

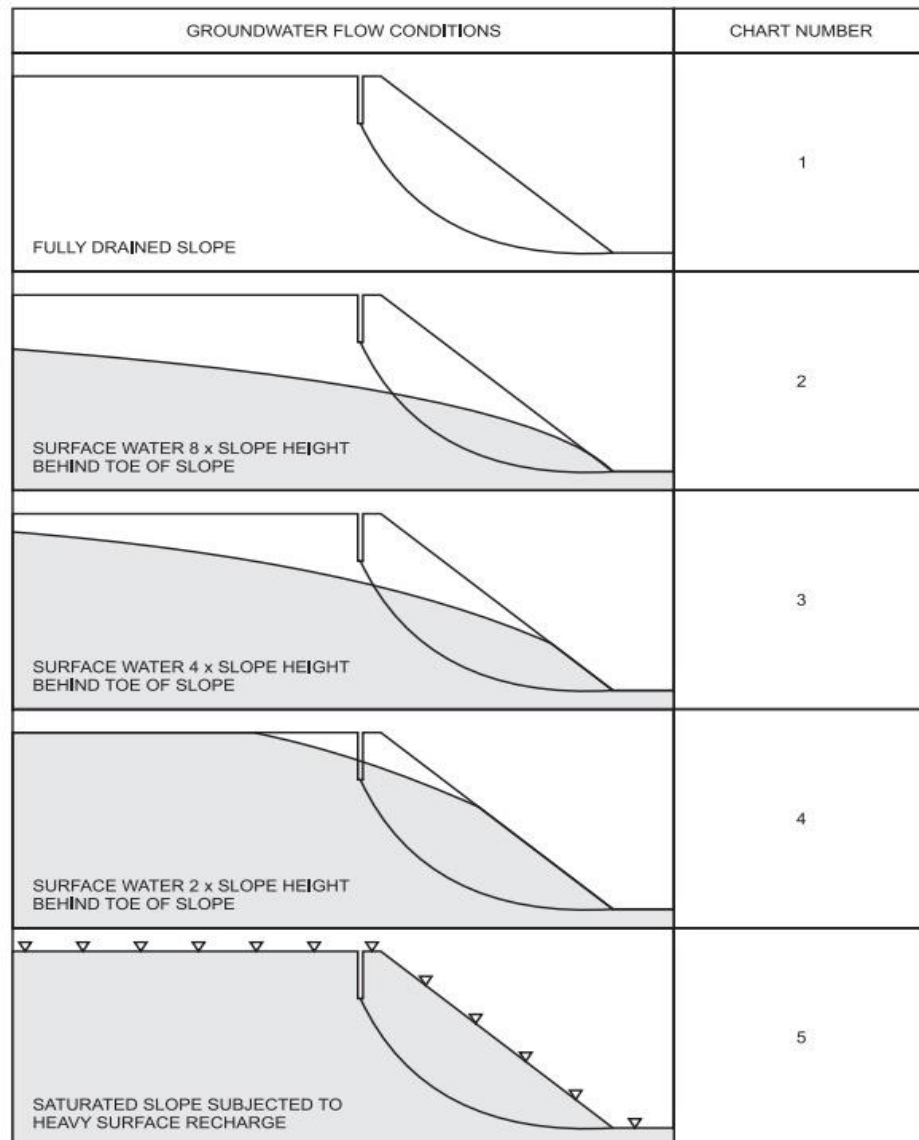
Air merupakan salah satu faktor penyebab longsor karena dapat menambah berat (massa) material longsor yang akan bergerak serta meningkatkan gaya pendorong. Mengalirkan air permukaan merupakan langkah awal yang dapat dilakukan dalam kegiatan stabilisasi dan cukup mudah dilakukan karena pergerakan air permukaan dapat dilihat dan di prediksi dengan kajian hidrologi.

2. Metode penanggulangan longsoan dengan memperbesar gaya tahan

a. Penirisan air rembesan

Air bawah tanah (Gambar 16) merupakan masalah yang cukup serius karena dapat meningkatkan tekanan air pori pada lereng (gaya pendorong), sehingga dapat menurunkan faktor keamanan. Metode yang biasa digunakan dalam melakukan penirisan air rembesan berupa saluran horizontal pada lereng dan terowongan penirisan (*drainage tunnel*)





Gambar 16 Kondisi air tanah pada lereng (Sumber: Read & Stacey, 2017)

b. Penguatan

Setelah melakukan perubahan geometri lereng dan pengendalian air hal yang dilakukan untuk memperbesar gaya penahan pada lereng adalah penguatan (*reinforcement*). Dalam melakukan penguatan harus memperhatikan jenis material yang dihadapi (lereng tanah atau batuan), jenis keruntuhan yang mungkin timbul, dan faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya keruntuhan lereng (Arif, 2016). Metode yang biasa dilakukan dalam melakukan penguatan lereng tambang dapat berupa tanah bertulang (*soil nailing*), baut batuan (*rock bolt*), beton tembak (*shotcrete*) (Andriyan *et al.*, 2018)



3. Proteksi terhadap material lepas

Proteksi terhadap material lepas diperlukan untuk mengantisipasi terjadinya jatuhnya batuan atau bahkan longsor sehingga dampak yang di timbulkan tidak meluas. Pada kegiatan pertambangan proteksi yang biasa dilakukan adalah membentuk *ramp* ataupun tanggul penahan.

