

TUGAS AKHIR

**ANALISIS DESAIN GEOMETRI LERENG TAMBANG PIT X DAERAH
KONINIS KECAMATAN BUNTA KABUPATEN BANGGAI PROVINSI
SULAWESI TENGAH**

Disusun dan diajukan oleh :

**HERY ASTAMAN
D061 17 1007**



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS DESAIN GEOMETRI LERENG TAMBANG PIT X DAERAH KONINIS KECAMATAN BUNTA KABUPATEN BANGGAI PROVINSI SULAWESI TENGAH

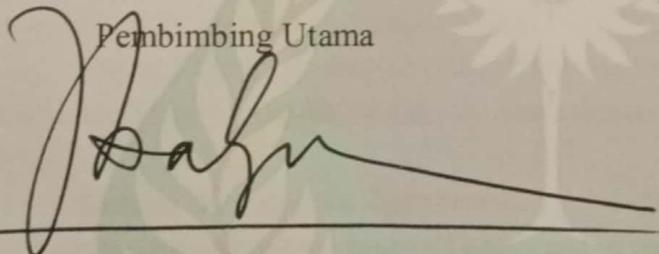
Disusun dan diajukan oleh :

HERY ASTAMAN
D061 17 1007

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 20 Oktober 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

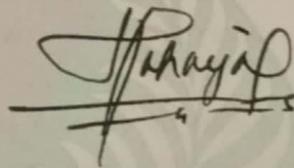
Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T.
NIP. 1959100 8198703 1 001

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Hj. Rohava Langkoke, M.T.
NIP. 19581210 198601 2 001

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng
NIP. 19771214 200501 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Hery Astaman
NIM : D061 17 1007
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Desain Geometri Lereng Tambang Pit X Daerah Koninis Kecamatan
Bunta Kabupaten Banggai Provinsi Sulawesi Tengah

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, 20 Oktober 2023

Yang Menyatakan



Hery Astaman

SARI

Penelitian mengenai mengenai analisis geometri lereng tambang PIT X dilakukan IUP PT. X di Desa Koninis yang secara administrasi termasuk di Kecamatan Bunta, Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah. Secara astronomis $0^{\circ}50'0.38''S$ - $0^{\circ}54'0.86''S$ dan $122^{\circ}14'59.58''E$ - $122^{\circ}19'0.16''E$. Maksud penelitian adalah melakukan analisis geometri lereng tambang dan hubungannya dengan rancangan lereng tambang dengan tujuan dengan mendesain geometri lereng secara statis dan dinamis berdasarkan Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM Tahun 2018 serta membandingkan FK pada zona laterisasi. Analisis dilakukan menggunakan metode Bishop Simplified menggunakan perangkat lunak Slide 6.0 dari Rockscience. Hasil dari analisis lereng statis lereng keseluruhan pada kondisi tanpa muka air tanah adalah **2.00** dan pada lereng keseluruhan yang dipengaruhi oleh muka air tanah adalah **1.77**, inter-ramp bagian limonit adalah **2.53** dan pada lereng inter-ramp bagian saprolite adalah **1.92**, lereng tunggal bagian limonit adalah **5.35** dan pada lereng tunggal bagian saprolit adalah **4.10**. Sedangkan analisis lereng dinamis lereng keseluruhan dengan koefisien gempa adalah **1.11**, inter-ramp bagian limonit dengan koefisien gempa adalah **1.77** dan pada lereng inter-ramp bagian saprolit dengan koefisien gempa adalah **1.35**, lereng tunggal bagian limonit dengan koefisien gempa adalah **2.75** dan pada lereng tunggal bagian saprolite dengan koefisien gempa adalah **4.679**. Berdasarkan data bor, hasil analisis laboratorium sampel UDS, dan data kegempaan maka nilai FK pada zonasi limonit lebih besar dibandingkan dengan nilai FK pada zonasi saprolit. Desain ini untuk mensimulasikan pemodelan desain geometri lereng pada PIT X daerah penelitian.

Kata Kunci : Bishop Simplified, Faktor Keamanan, Statis, Dinamis, Laterit

ABSTRACT

Research on the analysis of the slope geometry of the PIT X mine was carried out by IUP PT. X in Koninis Village which is administratively included in Bunta District, Banggai Regency, Central Sulawesi Province. Astronomically $0^{\circ}50'0.38''S$ - $0^{\circ}54'0.86''S$ and $122^{\circ}14'59.58''E$ - $122^{\circ}19'0.16''E$. The purpose of the research is to analyze the geometry of the mine slope and change it to the design of the mine slope with the aim of static and dynamic design of the slope geometry based on the Decree of the Minister of Energy and Mineral Resources No. 1827 K/30/MEM of 2018 as well as comparing FK in the lateralization zone. Analysis was performed using the Bishop Simplified method using Slide 6.0 software from Rockscience. The results of the static slope analysis for the entire slope on the condition without a groundwater table is 2.00 and on the overall slope affected by the groundwater level is 1.77, the inter-ramp section of limonite is 2.53 and on the slope the inter-ramp section of saprolite is 1.92, the single slope section of limonite is 5.35 and on a single slope of the saprolite section is 4.10. While the dynamic slope analysis of the whole slope with the earthquake coefficient is 1.11, the limonite inter-ramp section with the earthquake coefficient is 1.77 and on the inter-ramp slope the saprolite section with the earthquake coefficient is 1.35, the limonite section of the single slope with the earthquake coefficient is 2.75 and on the single section slope saprolite limonite with an earthquake coefficient of 4,679. Based on drill data, results of laboratory analysis of UDS samples, and seismic data, the FK value in the limonite zoning is greater than the FK value in the saprolite zoning. This design is to simulate the slope geometry design modeling at PIT X in the study area.

Keywords : *Simplified Bishop, Safety Factor, Static, Dynamic, Laterite*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur semoga selalu terpanjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan limpahan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua sehingga penyusunan skripsi dengan judul **Analisis Desain Geometri Lereng Tambang PIT X Daerah Koninis Kecamatan Bunta Kabupaten Banggai Provinsi Sulawesi Tengah** bisa berjalan dengan lancar tanpa ada halangan suatu apapun.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan semangat dan do'a kepada penulis dalam menghadapi setiap tantangan, sehingga sepatutnya pada kesempatan ini penulis menghaturkan rasa terimakasih kepada :

1. Bapak **Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T.** sebagai Dosen Pembimbing Utama pada penelitian ini.
2. Ibu **Dr. Ir. Hj. Rohaya Langkoke, M.T.** sebagai Dosen Pembimbing Pendamping pada penelitian ini.
3. Bapak **Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng** sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Kepada orang tua saya **M Suhendro** dan **Rosdiana** atas segala bantuan materil dan moril yang senantiasa tercurah kepada penulis.
5. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bimbingannya selama perkuliahan.

6. Staf Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang selama ini selalu membantu dalam pengurusan administrasi di kampus.
7. Rekan-rekan mahasiswa Geologi angkatan 2017 (R17PTORZ).
8. Himpunan Mahasiswa Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (HMG FT-UH).
9. Satuan Komando Lapangan (SKL BE-HMG FT-UH)

Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas segala bantuan dan dorongan yang diberikan selama ini. Seperti kata pepatah bahwa “Tak ada gading yang tak retak dan bukanlah gading kalau tak retak”. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum mendekati kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan koreksi dan saran yang sifatnya membangun sebagai bahan masukan yang bermanfaat demi perbaikan dan peningkatan diri dalam bidang ilmu pengetahuan.

Akhir kata semoga Tugas Akhir ini dapat dimanfaatkan dan dapat memberikan sumbangsih pemikiran untuk perkembangan pengetahuan bagi penulis maupun bagi pihak yang berkepentingan.

Wasalamu'alaikum Warahmatullah.Wabarakatuh.

Gowa, 20 Oktober 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
SARI	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan.....	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Letak, Luas dan Kesampaian Daerah.....	3
1.6 Alat dan Bahan.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian.....	5
2.1.1 Geomorfologi.....	5
2.1.2 Stratigrafi	6
2.1.3 Struktur Geologi	9
2.2 Laterisasi	9
2.3 Pengertian Lereng	13
2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng.....	20
2.4.1 Kekuatan Massa Tanah dan Batuan.....	20
2.4.2 Geometri Lereng	21
2.4.3 Kondisi Air Tanah	23
2.5 Pengertian tanah longsor.....	23

2.6	Jenis – Jenis Longsor	23
2.7	Analisis Lereng Dengan Metode Keseimbangan Batas.....	28
2.7.1	Metode <i>Bishop Simplified</i>	29
2.7.2	Faktor Keamanan.....	31
2.7.2.1	Faktor Keamanan Statis.....	31
2.7.2.2	Faktor Keamanan Dinamis.....	31
BAB III METODE PENELITIAN		35
3.1	Metode Penelitian	35
3.2	Tahapan Penelitian.....	35
3.2.1	Studi Pustaka.....	35
3.2.2	Analisis Data.....	36
3.2.3	Penyusunan Laporan.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		39
4.1	Analisis Geologi Teknik	39
4.1.1	Faktor Keamanan Statis	40
4.1.1.1	Faktor Keamanan Statis Lereng Keseluruhan	43
4.1.1.2	Faktor Keamanan Statis <i>Inter-Ramp</i>	45
4.1.1.3	Faktor Keamanan Statis Lereng Tunggal	47
4.1.2	Faktor Keamanan Dinamis	49
4.2.2.1	Faktor Keamanan Dinamis Lereng Keseluruhan	52
4.2.2.2	Faktor Keamanan Dinamis <i>Inter-Ramp</i>	53
4.2.2.3	Faktor Keamanan Dinamis Lereng Tunggal	55
4.2	Perbandingan Faktor Keamanan.....	57
BAB V PENUTUP.....		60
5.1	Kesimpulan	60
5.2	Saran	61
DAFTAR PUSTAKA		62
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Peta tunjuk lokasi daerah penelitian	3
Gambar 2.	Peta Geologi Lembar Luwuk, Sulawesi (Rusmana, dkk., 1993).....	7
Gambar 3.	Kolom stratigrafi regional (Rusmana, dkk. 1993).....	8
Gambar 4.	Profil penampang nikel laterit dan distribusi Ni serta unsur-unsur lainnya (Adi Maulana, 2017).....	12
Gambar 5.	Bagian-bagian dari suatu lereng (Hoek & Bray, 1981).....	15
Gambar 6.	Berbagai macam definisi faktor keamanan (Abramson, dkk., 2002).....	17
Gambar 7.	Grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser (Wyllie & Mah, 2004)	20
Gambar 8.	Penampang lereng tunggal dan lereng keseluruhan (Hoek & Bray, 1981).....	22
Gambar 9.	Gerakan tanah rockfall (Varnes, 1978).....	24
Gambar 10.	Gerakan tanah jatuhan (Varnes, 1978).....	24
Gambar 11.	Gerakan tanah jenis longSORAN rotasi (Varnes, 1978).....	25
Gambar 12.	Gerakan tanah jenis longSORAN translasi (Varnes, 1978)	26
Gambar 13.	Gerakan tanah jenis <i>spread lateral</i> (Varnes, 1978)	26
Gambar 14.	Gerakan tanah <i>debris flow</i> (Varnes, 1978).....	27
Gambar 15.	Gerakan tanah <i>debris avalanche</i> (Varnes, 1978).....	27
Gambar 16.	Klasifikasi gerakan tanah (Varnes, 1978).....	28
Gambar 17.	Distribusi gaya-gaya dan momen pada metode bishop (Bishop, 1954).....	30
Gambar 18.	Distribusi gaya akibat pengaruh beban seismik (Arif, 2016).....	33
Gambar 19.	Peta Sumber dan Bahaya Gempabumi Indonesia Tahun 2017 (Kementrian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2017).....	34
Gambar 20.	Diagram alir tahapan penelitian.....	38
Gambar 21.	Lokasi pengambilan data bor.....	39
Gambar 22.	Perbandingan faktor keamanan dengan nilai kohesi pada zona limonit.....	41
Gambar 23.	Perbandingan faktor keamanan dengan nilai kohesi pada zona saprolit	41
Gambar 24.	Perbandingan faktor keamanan dengan nilai sudut geser pada zona limonit	42
Gambar 25.	Perbandingan faktor keamanan dengan nilai sudut geser pada zona saprolit.....	42
Gambar 26.	Analisis faktor keamanan lereng keseluruhan	44
Gambar 27.	Analisis faktor keamanan lereng keseluruhan yang dipengaruhi muka air tanah	45

Gambar 28.	Analisis faktor keamanan <i>inter-ramp</i> bagian limonit.....	46
Gambar 29.	Analisis faktor keamanan <i>inter-ramp</i> bagian saprolit	47
Gambar 30.	Analisis faktor keamanan lereng tunggal bagian limonit	48
Gambar 31.	Analisis faktor keamanan lereng tunggal bagian saprolit.....	49
Gambar 32.	Perbandingan faktor keamanan dengan nilai kohesi pada zona limonit.....	50
Gambar 33.	Perbandingan faktor keamanan dengan nilai kohesi pada zona saprolit	51
Gambar 34.	Perbandingan faktor keamanan dengan nilai sudut geser pada zona limonit	51
Gambar 35.	Perbandingan faktor keamanan dengan nilai sudut geser pada zona saprolit.....	52
Gambar 36.	Analisis faktor keamanan untuk lereng keseluruhan dengan koefisien gempu.....	53
Gambar 37.	Analisis faktor keamanan <i>inter-ramp</i> bagian limonit dengan koefisien gempu.....	54
Gambar 38.	Analisis faktor keamanan <i>inter-ramp</i> bagian saprolit dengan koefisien gempu.....	55
Gambar 39.	Analisis faktor keamanan untuk lereng tunggal bagian limonit dengan koefisien gempu	56
Gambar 40.	Analisis faktor keamanan untuk lereng tunggal bagian saprolit dengan koefisien gempu	57
Gambar 41.	Profil laterit daerah penelitian berdasarkan data bor	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Sistem klasifikasi derajat pelapukan batuan (Azikin, dkk., 2020)	13
Tabel 2.	Nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor tambang (KEPMEN ESDM No.1827 K/30/MEM Tahun 2018)	18
Tabel 3.	Paramter tanah yang digunakan untuk analisis FK berdasarkan hasil laboratorium mekanika tanah (Hasil Analisa Lab. Sucofindo, 2022) ...	40
Tabel 4.	Paramter tanah yang digunakan untuk analisis FK berdasarkan hasil laboratorium mekanika tanah (Hasil Analisa Lab. Sucofindo, 2022) ...	50

DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH

Singkatan/Symbol dan Istilah	Keterangan
PIT	Tempat Penambangan
FK	Faktor Keamanan
IUP	Izin Usaha Pertambangan
UDS	<i>Undisturbed Sample</i>
Ni	Nikel
MPa	Megapascal
kPa	Kilopascal
GPS	<i>Global Positioning System</i>
m	Meter
m ²	Meter Persegi
m ³	Meter Kubik
°	Derajat
PGA	<i>Peak Ground Acceleration</i>
Kg	Kilogram
kN	Kilonewton
KEPMEN	Keputusan Menteri
ESDM	Energi Sumber Daya Mineral
<i>Bench</i>	Skala Tubuh Lereng Pada Tambang
<i>Ramp</i>	Tubuh Lereng Yang Datar
<i>Inter-ramp</i>	Lereng Yang Tersusun Oleh <i>Bench</i> dan <i>Ramp</i>
<i>Toe</i>	Patahan Lereng Bagian Bawah
<i>Crest</i>	Patahan Lereng Bagian Atas

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Usaha pengembangan sumberdaya alam dan energi, khususnya sumberdaya alam Bijih Nikel yang akhir-akhir ini kebutuhannya semakin meningkat dan menjadi primadona. Bahan galian Bijih pada saat ini selain untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri juga merupakan komoditi ekspor dan juga menjadikan salah satu potensi sumberdaya alam yang ada disektor pertambangan. Untuk memenuhi kebutuhan permintaan pangsa pasar yang makin hari makin meningkat, potensi bahan galian bijih nikel tersebut perlu diusahakan dan dikembangkan secara optimal.

Kegiatan penambangan sering mengalami permasalahan yang bersumber pada masalah geoteknik. Penggalian pada suatu massa tanah dan batuan akan menyebabkan terjadinya perubahan distribusi tegangan pada lereng tersebut yang mengakibatkan terganggunya kestabilan lereng dan pada akhirnya dapat menyebabkan longsor. Faktor lain seperti kondisi air tanah juga dapat mempengaruhi tingkat kerawanan terjadinya longsor. Adanya longsor pada suatu lereng tambang akan menimbulkan kerugian, diantaranya kerusakan alat – alat berat yang beroperasi, kerusakan sarana dan prasarana di tambang, terganggunya kegiatan produksi dan kehilangan nyawa manusia. Oleh karena itu dibutuhkan suatu kajian analisis stabilitas lereng yang akan diterapkan berupa rancangan geometri lereng tunggal (*single slope*) dan rancangan geometri lereng keseluruhan (*overall slope*) yang optimum dan menciptakan kondisi kerja yang lebih aman.

1.2 Batasan Masalah

Penelitian mengenai rancangan lereng penambangan dibatasi oleh beberapa hal berikut:

1. Ruang lingkup penelitian yang dilakukan hanya merancang serta menganalisis geometri lereng pada PIT X.
2. Permodelan geoteknik rancangan geometri lereng dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Rockscience Slide* v.6.0., menggunakan metode Bishop dengan konsep kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium*).
3. Berdasarkan KEPMEN ESDM No.1827 K/30/MEM Tahun 2018, nilai faktor keamanan yang dianalisis untuk menentukan geometri lereng pada kondisi statis dan dinamis.

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud penelitian adalah melakukan analisis geometri lereng tambang dan hubungannya dengan rancangan lereng tambang dengan tujuan adalah:

1. Mendesain geometri lereng tambang dengan faktor keamanan statis.
2. Mendesain geometri lereng tambang dengan faktor keamanan dinamis.
3. Mengetahui perbandingan FK pada zona laterisasi daerah penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

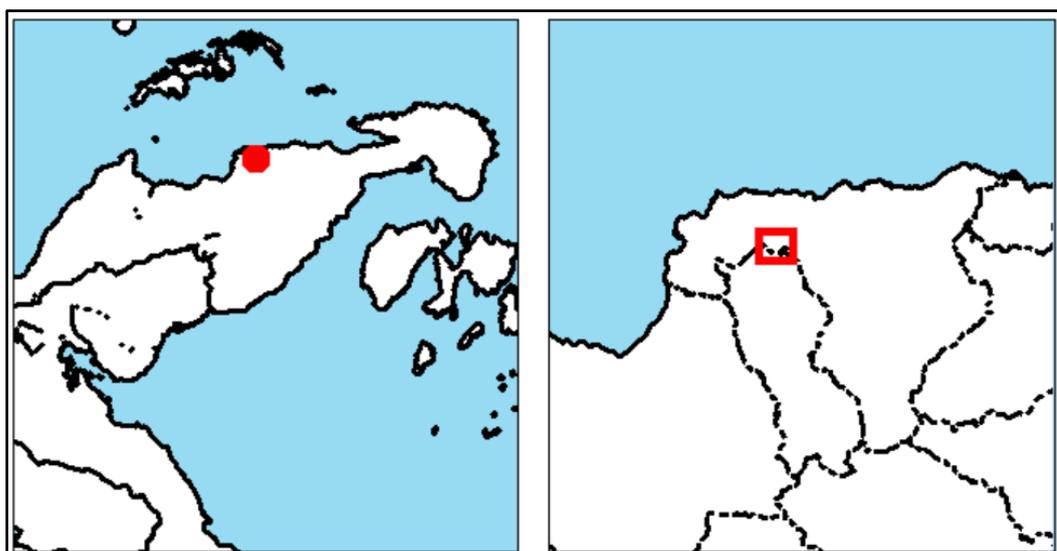
1. Mengetahui geometri lereng tunggal dan lereng keseluruhan yang stabil sehingga memungkinkan dilakukan penambangan bijih nikel laterit.

2. Meminimalisir terjadinya kecelakaan akibat longsor pada lereng penambangan.
3. Dapat dijadikan bahan perbandingan bagi penelitian yang ada kaitannya dengan masalah perancangan lereng yang stabil.

1.5 Letak, Luas dan Kesampaian Daerah

Wilayah penelitian ini berada di wilayah IUP PT. X di Desa Koninis yang secara administrasi termasuk di Kecamatan Bunta, Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah. Dari Palu (Ibukota Provinsi Sulawesi Tengah) lokasi tersebut berjarak sekitar 471 km dan kurang lebih 150 km dari Luwuk (Ibukota Kabupaten Banggai). Daerah rencana penambangan terletak pada posisi geografis $0^{\circ}50'0.38''\text{S}$ - $0^{\circ}54'0.86''\text{S}$ dan $122^{\circ}14'59.58''\text{E}$ - $122^{\circ}19'0.16''\text{E}$ meliputi area seluas 2738 Ha.

Pencapaian lokasi bisa ditempuh melalui jalan darat dengan menggunakan kendaraan roda empat maupun roda dua dengan rute Makassar-Luwuk- Bunta-Salabenda.



Gambar 1. Peta tunjuk lokasi daerah penelitian

1.6 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan selama penelitian berlangsung adalah sebagai berikut :

1. Peta Topografi berskala 1 : 25.000 yang merupakan hasil pembesaran dari peta rupa bumi skala 1 : 50.000 terbitan Bakosurtanal.
2. Laptop
3. Aplikasi *ArcGIS 10.8*
4. *Rockscience Slide v.6.0*
5. Kompas Geologi
6. Palu Geologi
7. *Global Positioning System (GPS)*
8. Tabung *Undisturbed Soil (UDS)*
9. *Loupe*
10. Pita Meter
11. Buku catatan lapangan
12. Kamera foto
13. Alat tulis menulis
14. *Clipboard*
15. Ransel lapangan
16. Busur dan penggaris
17. Perlengkapan pribadi

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

Rusmana, dkk (1993) menjelaskan bahwa berdasarkan sifat geologi regionalnya Pulau Sulawesi dan sekitarnya dapat dibagi menjadi beberapa mandala geologi yakni salah satunya adalah mandala geologi Sulawesi Timur. Mandala ini meliputi lengan Tenggara Sulawesi, Bagian Timur Sulawesi Tengah dan Lengan Timur Sulawesi. Lengan Timur dan Lengan Tenggara Sulawesi tersusun atas batuan malihan, batuan sedimen penutupnya dan ofiolit yang terjadi dari hasil proses pengangkatan (*obduction*) selama Miosen. Sulawesi dan sekitarnya merupakan daerah yang kompleks karena merupakan tempat pertemuan tiga lempeng besar yaitu lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara, lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat dan lempeng Eurasia yang bergerak ke arah selatan-tenggara serta lempeng yang lebih kecil yaitu lempeng Filipina.

Geologi Regional daerah penelitian berdasarkan himpunan batuan dan pencirinya, termasuk dalam peta geologi regional Lembar Luwuk yang tersusun atas endapan kerak samudra/ofiolit dan endapan alluvial (Rusmana, dkk., 1993).

2.1.1 Geomorfologi

Menurut Rusmana, dkk., (1993) dalam peta geologi regional lembar Luwuk membagi dalam tiga satuan morfologi yaitu karst, perbukitan dan satuan dataran rendah.

Daerah penyelidikan termasuk ke dalam satuan perbukitan. Satuan perbukitan dicirikan memiliki ketinggian 50 meter sampai 700 meter di atas muka laut. Umumnya tersusun atas batuan ultramafik dan sedimen klastika. Satuan ini umumnya membentuk pola aliran sungai yang *parallel*.

2.1.2 Stratigrafi

Formasi batuan penyusun daerah penelitian ini yaitu Formasi Meluhu (TRJm), Kompleks Mafik (Ku), Formasi Kinton (TmPk), Terumbu Koral Kuarter (QI) dan Aluvium (Qa). (Rusmana, dkk., 1993)

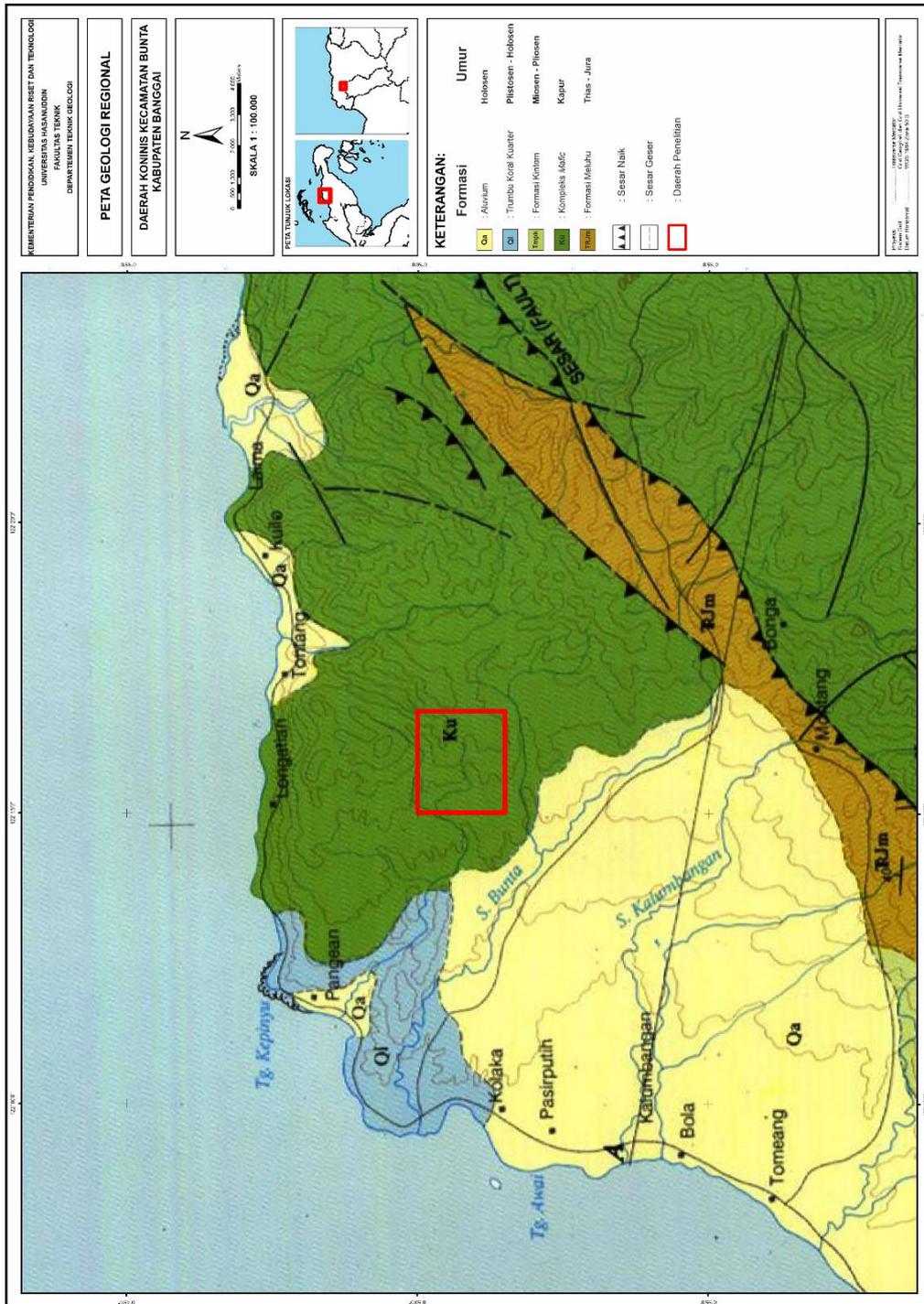
Formasi Meluhu (TRJm) secara umum formasi ini mengalami pemalihan lemah – sedang, terdiri atas batusabak, filit, sekis dan batupasir malihan. Sekis berwarna kelabu tua sampai kehijauan. Formasi diperkirakan berumur Trias sampai Jura Akhir.

Kompleks Mafik (Ku) terdiri atas peridotit, dunit dan serpentinit. Serpentinit berwarna kelabu tua sampai kehitaman; padu dan pejal. Formasi ini diperkirakan berumur Kapur.

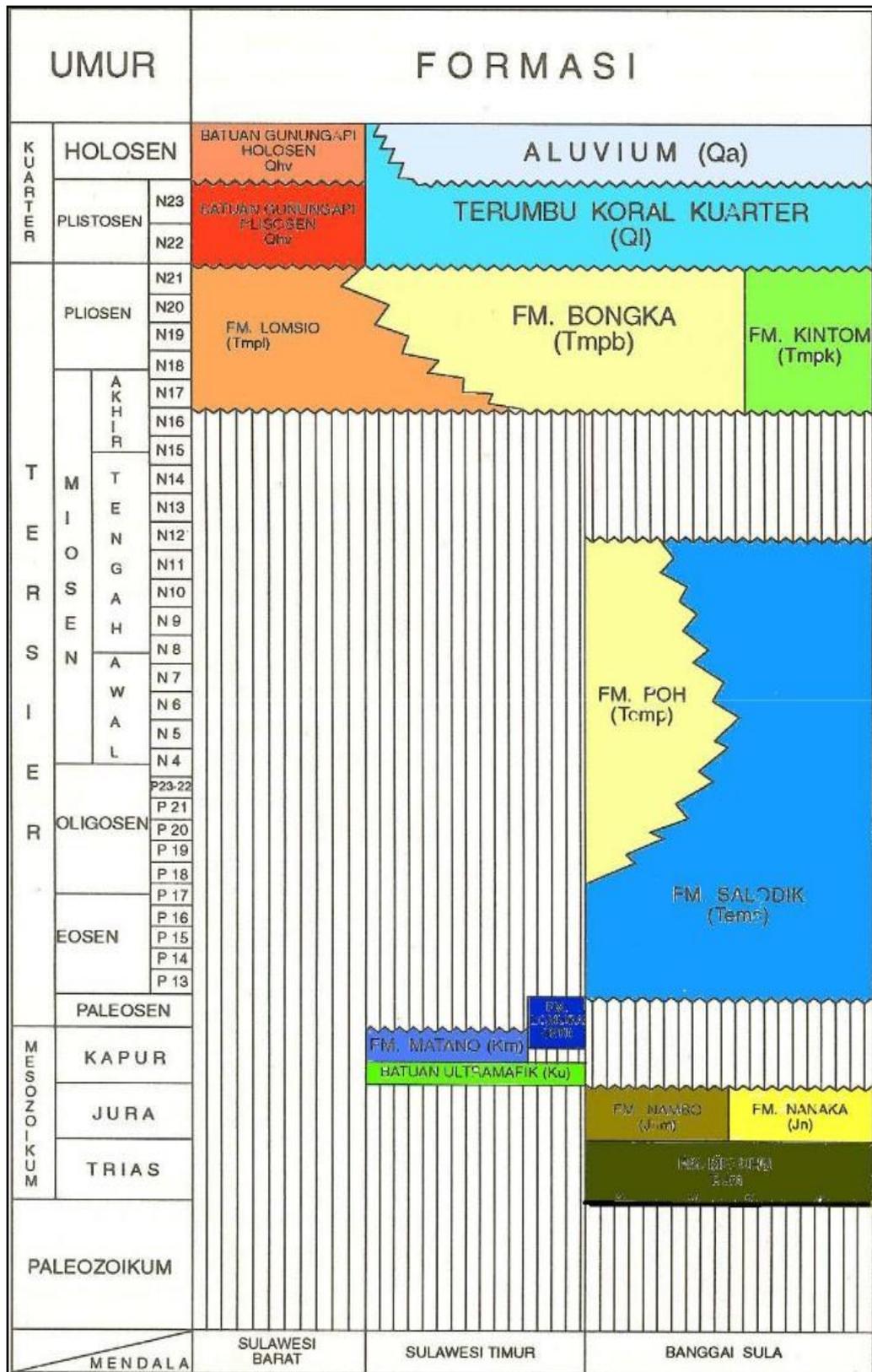
Formasi Kinton (TmPk) terdiri dari konglomerat, batupasir dan napal. Formasi ini diperkirakan berumur Miosen sampai Pliosen.

Terumbu Koral Kuarter (QI) terdiri dari batugamping terumbu dan sedikit napal. Batugamping terumbu berwarna kelabu sampai berwarna kekuningan. Formasi ini diperkirakan berumur Plistosen sampai Holosen.

Aluvium (Qa) didominasi oleh material endapan berukuran lempung, pasir, dan kerikil.



Gambar 2. Peta Geologi Lembar Luwuk, Sulawesi (Rusmana, dkk., 1993)



Gambar 3. Kolom stratigrafi regional (Rusmana, dkk. 1993)

2.1.3 Struktur Geologi

Secara regional wilayah Kabupaten Banggai pada lembar geologi regional merupakan daerah subduksi yang berasosiasi dengan batuan mafik dan ultramafik. Struktur geologi di daerah ini dicerminkan oleh sesar, lipatan dan kekar. (Rusmana, dkk., 1993).

1. Sesar

Sesar yang dijumpai berupa sesar naik, sesar bongkah dan sesar geser jurus. Sesar naik diwakili oleh Sesar Poh, Sesar Batui dan Sesar Lobu. Kesemuanya diduga mempunyai arah gaya dari tenggara. Gaya tersebut menyebabkan terbentuknya sesar naik dan struktur pergentengan di bagian tengah serta sesar geser jurus mengiri di bagian timurnya. Sesar bongkah yang utama adalah Sesar Salodik, berarah barattimur, melibatkan batuan sedimen Tersier.

2. Lipatan

Struktur lipatan yang ditemukan di daerah ini digolongkan menjadi jenis lipatan lemah terbuka yaitu lipatan dengan kemiringan lapisan maksimum 30° dan lipatan kuat tertutup dengan kemiringan lapisan lebih dari 30° . Struktur lipatan di daerah ini membentuk antiklin dan sinklin dengan sumbu berarah timurlaut-baratdaya.

2.2 Laterisasi

Endapan nikel terbentuk dari hasil pelapukan dihasilkan melalui proses pelapukan yang sangat intensif di daerah tropis pada batuan yang mengandung nikel seperti peridotit dan serpentinit yaitu sebanyak 0,25 % Ni. Selama proses pelapukan pada batuan tersebut (laterisasi) nikel berubah menjadi larutan dan diserap oleh

mineral-mineral oksida besi yang membentuk garnierit pada batuan lapuk dibawah laterit tersebut. Selain nikel, kobal juga terkonsentrasi juga pada lapisan ini pada jumlah terbatas. Adapun grade dari nikel yang dihasilkan berkisar 1,5-3 % Ni. (Adi Maulana, 2017)

Profil laterit dapat dibagi menjadi beberapa zona seperti pada (Gambar 2.6) yang memperlihatkan profil endapan nikel laterite di Sorowako, Sulawesi Selatan Indonesia. Profil nikel laterit tersebut dideskripsikan dan diterangkan oleh daya larut mineral dan kondisi aliran air tanah.

Lapisan-lapisan pada profil laterit dari endapan nikel laterit dibedakan menjadi 4 yaitu (Adi Maulana, 2017) :

1. Lapisan Tanah Penutup (*Overburden*)

Lapisan ini terletak di bagian atas permukaan, lunak dan berwarna coklat kemerahan hingga gelap dengan kadar air antara 25% sampai 35%, kadar nikel maksimal 1,3% dan di permukaan atas dijumpai lapisan *iron capping*. Lapisan ini mempunyai ketebalan berkisar antara 1 – 12 meter, merupakan kumpulan massa goethite dan limonite. *Iron capping* mempunyai kadar besi yang tinggi tapi kadar nikel yang rendah. Terkadang terdapat mineral-mineral hematit.

2. Lapisan Limonit berkadar menengah (*Medium Grade Limonite*)

Lapisan ini terletak di bawah lapisan tanah penutup *fine-grained*, merah-coklat atau kuning, agak lunak, berkadar air antara 30% - 40%, kadar nikel 1,5%, Fe 44%, MgO 3%, SiO₂%, lapisan kaya besi dari limonit soil menyelimuti seluruh area dengan ketebalan rata-rata 3 meter. Lapisan ini tipis pada lereng yang terjal, dan setempat hilang karena erosi. Sebagian dari nikel pada zona ini hadir di dalam

mineral manganese oxide, dan lithiophorit. Terkadang terdapat mineral talc, tremolit, chromiferous, kuarsa, gipsit, maghemit. Limonite di daerah *west block (Unserpentinized)* umumnya mempunyai nikel lebih tinggi di bandingkan dengan limonit di daerah *East block (Serpentinized)*. Limonit dibedakan menjadi 2, yaitu: *Red limonit* yang biasa disebut hematit dan *yellow limonit* yang disebut goethit. Biasanya pada goethit nikel berasosiasi dengan Fe dan mengganti unsur Fe sehingga pada zona limonit terjadi pengayaan unsur Ni.

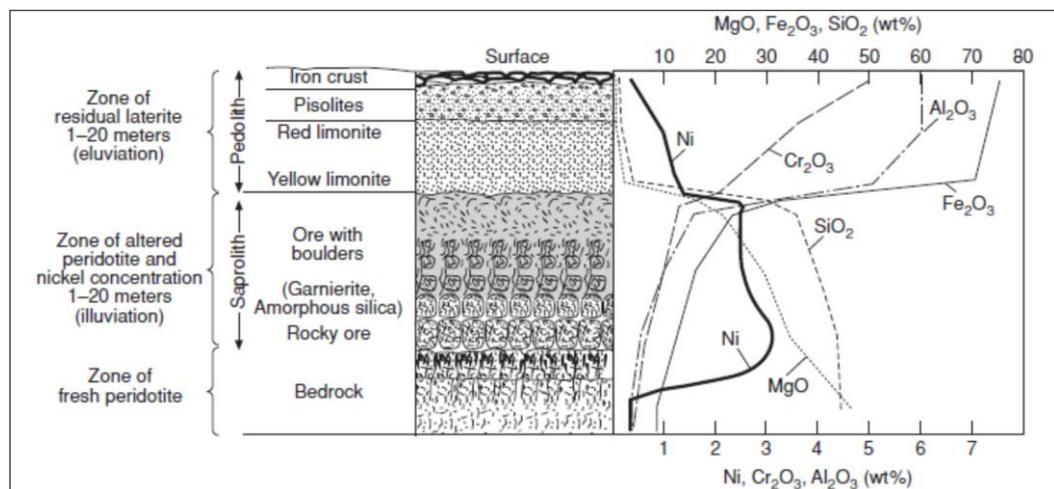
3. Lapisan Bijih (*Saprolite*)

Lapisan ini merupakan hasil pelapukan batuan peridotit, berwarna kuning kecoklatan agak kemerahan, terletak di bagian bawah dari lapisan limonit berkadar menengah, dengan ketebalan rata-rata 7 meter. Campuran dari sisa-sisa batuan, butiran halus limonit, *saprolitic rims*, *vein* dari endapan garnierit, *nickeliferous quartz*, mangan dan pada beberapa kasus terdapat *silica boxwork*, bentukan dari suatu zona transisi dari limonit ke *bedrock*. Terkadang terdapat mineral kuarsa yang mengisi rekahan, mineral-mineral primer yang terlapukan, clorit. Garnierit dilapangan biasanya diidentifikasi sebagai *colloidal talc* dengan lebih atau kurang *nickeliferous serpentin*. Struktur dan tekstur batuan asal masih terlihat. Lapisan ini terdapat bersama batuan yang keras atau rapuh dan sebagian saprolit. Kadar Ni 1,85%, Fe 16%, MgO 25%, SiO₂ 35%. Lapisan ini merupakan lapisan yang bernilai ekonomis untuk ditambang sebagai bijih.

4. Lapisan Batuan Dasar (*Bed Rock*)

Bagian terbawah dari profil laterit, lapisan ini merupakan batuan peridotit yang tidak atau belum mengalami pelapukan. Blok peridotit (batuan dasar) dan secara

umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis lagi (kadar logam sudah mendekati atau sama dengan batuan dasar). Berwarna kuning pucat sampai abu-abu kehijauan. Zona ini terfrakturisasi kuat, kadang membuka, terisi oleh mineral garnierit dan silika. Frakturisasi ini diperkirakan menjadi penyebab adanya *root zone* yaitu zona *high grade* Ni, akan tetapi posisinya tersembunyi.



Gambar 4. Profil penampang nikel laterit dan distribusi Ni serta unsur-unsur lainnya (Adi Maulana, 2017)

Ketebalan dari masing-masing lapisan tidak merata, tergantung dari morfologi dan relief, umumnya endapan laterit terakumulasi banyak pada bagian bawah bukit dengan relief yang landai. Sedang relief yang terjal endapan semakin menipis, di samping adanya kecenderungan akumulasi mineral yang berkadar tinggi dijumpai pada zona-zona retakan, zona sesar dan rekahan pada batuan. (Adi Maulana, 2017)

Penggolongan derajat pelapukan didasarkan atas perbedaan karakteristik yang diperoleh melalui pengamatan perubahan fisik akibat disintegrasi fisik mekanik maupun dekomposisi mineral penyusun batuan, dan pengujian kekerasan dengan *Schmidt hammer*. Selanjutnya, hasil penggolongan tersebut disusun

menjadi profil pelapukan menurut derajat perkembangan pelapukan, mulai dari batuan segar hingga tanah residu, dan hasil pengujian sifat keteknikan diverifikasi dengan *point load* untuk menentukan nilai estimasi kuat tekan. (Setiadji, dkk., 2006)

Ada 3 jenis pelapukan, yaitu pelapukan fisik (mekanis), pelapukan kimiawi, dan pelapukan yang disebabkan oleh aktivitas organisme. *Grade* pelapukan dibagi menjadi 6 kelas, dari batuan segar (tidak lapuk) hingga tanah sisa. (Busthan, dkk., 2020)

Tabel 1. Sistem klasifikasi derajat pelapukan batuan (Azikin, dkk., 2020)

Grade	Derajat	Deskripsi/Penciri Utama
Segar	I	Tidak terlihat tanda-tanda pelapukan material batuan; mungkin sedikit perubahan warna pada permukaan diskontinuitas utama.
Sedikit Lapuk	II	Perubahan warna menunjukkan pelapukan material batuan dan permukaan diskontinuitas. Semua bahan batuan mungkin berubah warna oleh pelapukan dan eksternal daripada dalam kondisi segar, mungkin agak lebih lemah.
Sedang Lapuk	III	Kurang dari separuh material batuan telah terdekomposisi dan/atau hancur menjadi tanah. Batuan segar berubah warna baik sebagai kerangka kerja berkelanjutan atau sebagai batuan utama.
Sangat Lapuk	IV	Lebih dari separuh material batuan telah terdekomposisi dan/atau hancur menjadi tanah. Batuan segar berubah warna baik sebagai kerangka kerja terputus-putus atau sebagai batu utama.
Lapuk Sempurna	V	Semua batuan terdekomposisi dan/atau hancur menjadi tanah. Struktur massa asli batuan sebagian besar masih utuh
Tanah Residu	VI	Semua material batuan diubah menjadi tanah. Struktur massa dan kemas (fabric) hancur. Ada perubahan besar di volume, tetapi tanah belum diangkut secara signifikan.

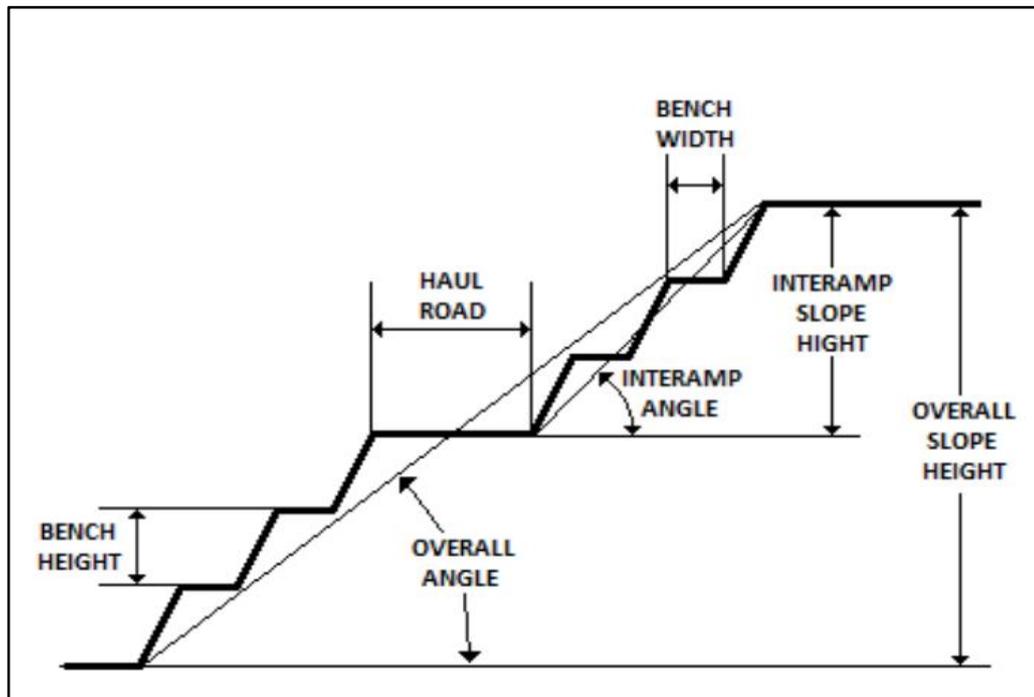
2.3 Pengertian Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami atau buatan manusia. Lereng yang terbentuk secara alami misalnya: lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain: galian dan timbunan untuk

membuat bendungan, tanggul dan kanal sungai serta dinding tambang terbuka (Arief, 2016). Kestabilan dari suatu lereng dipengaruhi oleh parameter - parameter seperti kondisi geologi, kondisi air tanah, bentuk keseluruhan lereng serta sifat fisik dan mekanik dari material pembentuk lereng seperti kohesi, bobot isi dan sudut gesek dalam. Oleh karena itu dalam perancangan geometri lereng sangat penting untuk memberikan batas - batas keamanan untuk merancangya hingga diperoleh rancangan optimum suatu lereng yang cukup terjal supaya secara ekonomi dapat diterima dan aman seperti lereng yang datar. Rancangan lereng perlu dilakukan karena keberhasilan dalam suatu proses penambangan turut ditentukan oleh adanya kondisi tempat kerja yang aman. Lereng yang tidak aman akan menimbulkan gangguan terhadap tambang, setidaknya dalam hal (Wibisono, 2020) :

- A. Dapat menimbulkan hilangnya nyawa manusia.
- B. Kerugian hilangnya harta benda.
- C. Terganggunya kegiatan produksi.

Berdasarkan pertimbangan diatas maka perlu adanya suatu tahapan rancangan lereng yang aman beserta analisis kestabilannya.



Gambar 5. Bagian-bagian dari suatu lereng (Hoek & Bray, 1981)

Menganalisis kestabilan lereng, parameter awal yang harus diperhatikan terlebih dahulu adalah material pembentuk lereng yaitu tanah atau batuan. Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Diantara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori (*void space*) yang berisi air dan/atau udara (Craig & Soepandji, 1989). Menurut Bieniawski (1973) tanah merupakan suatu material bentukan alam yang mempunyai kuat tekan uniaksial kurang dari 1 MPa atau 10.1972 Kg/cm² sedangkan batuan lebih dari 1 MPa.

Kestabilan lereng didefinisikan sebagai suatu kondisi seimbang pada lereng yang memiliki gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak. Tetapi bila terjadi gangguan tertentu yang menyebabkan lereng mengalami perubahan keseimbangan misalnya akibat aktivitas penggalian, peledakan, erosi atau aktivitas lain, maka tanah/batuan tersebut akan berusaha untuk mencapai keadaan keseimbangan yang

baru secara alamiah dengan cara mengurangi beban atau degradasi berbentuk longsor. 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 penahan berupa sudut gesek dalam, kohesi atau kuat geser. Apabila gaya penggerak lebih besar dibandingkan dengan gaya penahan maka lereng tidak stabil dan akan longsor. Tetapi bila gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak, maka lereng tersebut dalam keadaan stabil dan tidak longsor. Menentukan bahwa suatu lereng stabil atau tidak dapat dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK) yang didefinisikan sebagai berikut (Wyllie & Mah, 2004):

$$\boxed{FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}}} \quad (1)$$

FK : Faktor Keamanan

FK > 1.0 : Kondisi lereng dianggap stabil

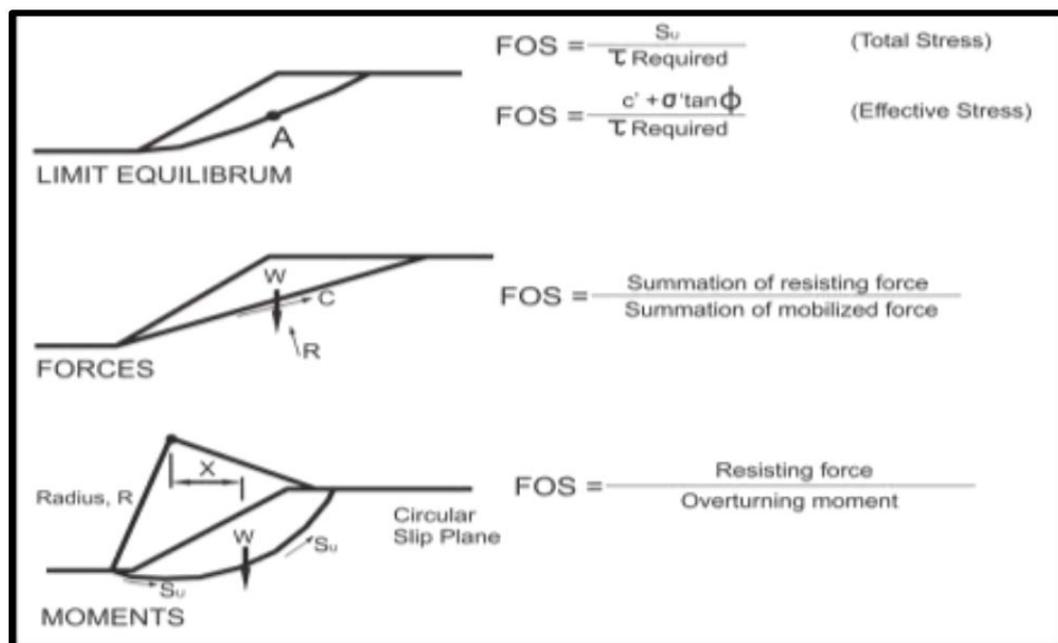
FK = 1.0 : Kondisi lereng dalam keadaan seimbang dan siap untuk bergerak apabila ada sedikit gangguan

FK < 1.0 : Kondisi lereng dianggap tidak stabil

Fungsi faktor keamanan adalah menjelaskan ketidakpastian dan tingkat kepercayaan hal-hal yang dimasukkan dalam analisis, seperti parameter kekuatan, distribusi tekanan pori dan jenis lapisan tanah/batuan. Semakin rendah kualitas hasil penyelidikan di lokasi, semakin tinggi harga faktor keamanan yang diharapkan. Nilai faktor keamanan yang akan dipakai didalam rancangan akan bervariasi sesuai dengan jenis material dan hasil yang dibutuhkan. Kekuatan gesek yang dibutuhkan

untuk mempertahankan kestabilan permukaan yang potensial mengalami keruntuhan dihitung dan dibandingkan dengan besarnya kekuatan gesek yang tersedia. (Wyllie & Mah, 2004)

Besarnya faktor keamanan dianggap konstan untuk seluruh permukaan yang mengalami keruntuhan. Misalnya, pada titik A di bidang luncur seperti pada (Gambar 6), faktor keamanan akan didapat dari perbandingan antara kuat gesek yang tersedia dan kuat gesek yang dibutuhkan. Kekuatan yang tersedia yang bersifat konstan diterapkan pada setiap titik di bidang longsor yang mengalami keruntuhan untuk menahan bidang luncur. (Abramson, dkk., 2002)



Gambar 6. Berbagai macam definisi faktor keamanan (Abramson, dkk., 2002)

Nilai faktor keamanan lereng tambang di Indonesia diatur dalam Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM Tahun 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Sesuai dengan peraturan tersebut batas nilai faktor keamanan dapat ditentukan berdasarkan jenis lereng dan keparahan

longsornya. Nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor lereng tambang dapat dilihat pada (Tabel 2).

Tabel 2. Nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor tambang (KEPMEN ESDM No.1827 K/30/MEM Tahun 2018)

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (<i>Consequence of Failure/CoF</i>)	Kriteria dapat diterima (<i>Acceptance Criteria</i>)		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (<i>Probability of Failure</i>) (maks) PoF ($FK \leq 1$)
Lereng tunggal	Rendah s.d. Tinggi	1,1	Tidak ada	25%-50%
<i>Inter-ramp</i>	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
	Menengah	1,2-1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,2-1,3	1,1	10%
Lereng Keseluruhan	Rendah	1,2-1,3	1,0	15%-20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3-1,5	1,1	5%

Berdasarkan tabel diatas, tingkat keparahan longsor dapat dikategorikan sebagai berikut (Wibisono, 2020):

- A. Tinggi bila ada konsekuensi terhadap:
 - a. Kematian manusia
 - b. Cidera berat manusia lebih dari 3 (tiga) orang
 - c. Kerusakan sarana dan prasarana pertambangan lebih dari 50% (lima puluh persen)
 - d. Terhentinya produksi lebih dari 24 (dua puluh empat) jam
 - e. Cadangan hilang dan tidak bisa diambil
 - f. Kerusakan lingkungan yang berdampak sampai ke luar wilayah IUP termasuk pemukiman.
- B. Menengah bila ada konsekuensi terhadap:
 - a. Cidera berat manusia

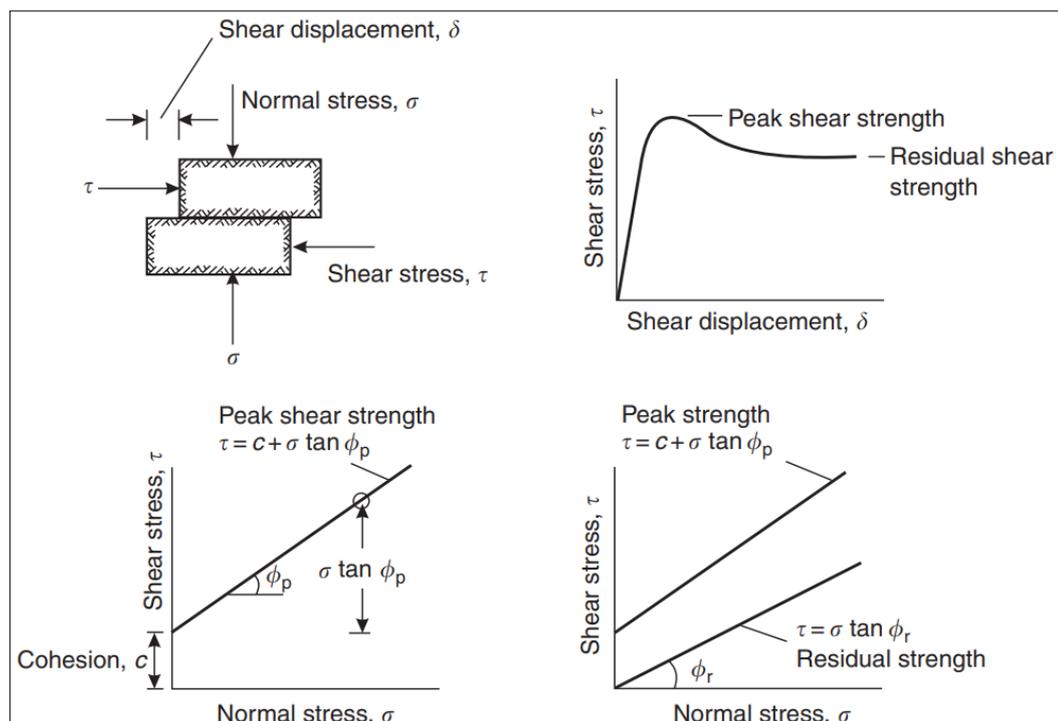
- b. Kerusakan sarana dan prasarana pertambangan dari 25% (dua puluh lima persen) sampai 50% (lima puluh persen)
 - c. Terhentinya produksi lebih dari 12 (dua belas) jam sampai kurang dari 24 (dua puluh empat) jam
 - d. Cadangan tertimbun tetapi masih diambil
 - e. Kerusakan lingkungan di dalam wilayah IUP
- C. Rendah bila ada konsekuensi terhadap:
- a. Cidera ringan manusia
 - b. Kerusakan sarana dan prasarana pertambangan kurang dari 25%.
 - c. Terhentinya produksi kurang dari 12 (dua belas) jam.

Dalam proses laterisasi bentuk lereng tergantung pada proses erosi gerakan tanah dan pelapukan. Lereng memiliki parameter topografi yang terbagi dalam dua bagian, yaitu kemiringan lereng dan beda tinggi relief. Stabilitas lereng sangat berhubungan dengan terjadinya longsor atau gerakan tanah yang merupakan proses berpindahnya massa tanah secara alami dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah. Perubahan keseimbangan daya dukung tanah merupakan penyebab terjadinya pergerakan tanah dan pergerakan tanah ini akan berhenti setelah mencapai keseimbangan baru. Untuk menganalisis lereng dapat dilakukan melalui perhitungan faktor keamanan lereng dengan melibatkan data sifat fisik tanah, mekanika tanah dan bentuk geometri lereng. (Zakaria, 2010 dalam Sidiq, dkk., 2017)

2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

2.4.1 Kekuatan Massa Tanah dan Batuan

Kekuatan massa tanah dan batuan yang sangat berperan dalam analisis kestabilan lereng adalah sifat fisik dan sifat mekanik. Dalam analisis kestabilan lereng sifat fisik yang digunakan adalah bobot isi, sedangkan sifat mekanik yang digunakan adalah nilai kekuatan geser tanah/batuan yang dinyatakan dengan parameter kohesi (c), dan sudut gesek dalam (ϕ). Kekuatan geser tanah/batuan ini adalah kekuatan yang berfungsi sebagai gaya untuk melawan atau menahan gaya penyebab longsor. Pengertian ketiga parameter tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser (Wyllie & Mah, 2004)

Adapun sifat fisik dan mekanik tanah/batuan yang diperlukan dalam melakukan analisis kestabilan lereng adalah sebagai berikut (Hoek & Bray, 1981):

1. Sudut gesek dalam (ϕ)

Sudut gesek dalam (ϕ) adalah sudut yang dibentuk dari hubungan tegangan normal dengan tegangan geser dalam material tanah/batuan. Sudut gesek dalam juga merupakan sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenakan tegangan yang melebihi tegangan gesernya. Uji geser langsung dan uji triaksial perlu dilakukan untuk mengetahui besar sudut gesek dalam.

2. Kohesi (c)

Kohesi (c) adalah kuat tarik menarik antar butiran tanah/batuan yang dinyatakan dalam satuan kilo Pascal (kPa). Bila kuat gesernya semakin besar, maka semakin besar pula harga kohesi dari tanah/batuan tersebut. Ini berarti tanah/batuan dengan kohesi yang besar dapat dibuat lereng dengan kemiringan yang besar untuk nilai faktor keamanan yang sama. Harga kohesi didapat dari analisis laboratorium, yaitu dengan uji geser langsung dan uji triaksial.

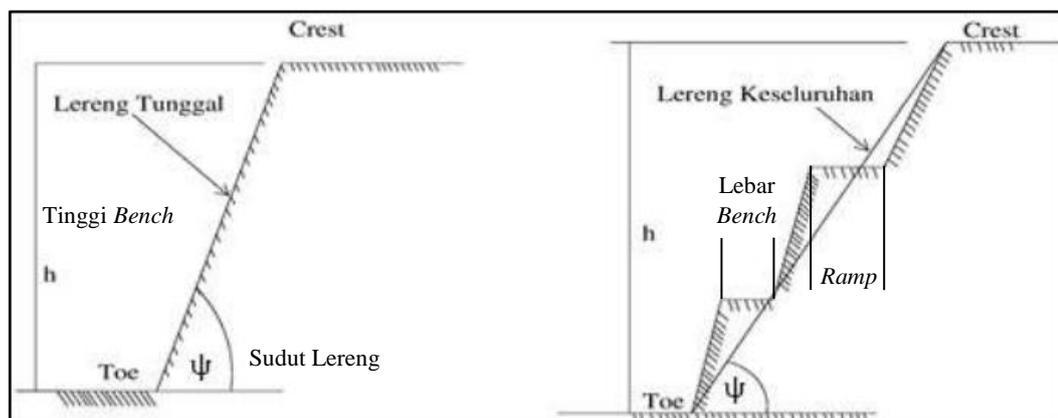
3. Bobot isi (γ)

Bobot isi (γ) tanah/batuan berperan dalam menimbulkan tekanan pada permukaan bidang longsor, yaitu dinyatakan dalam satuan berat per volume. Macam-macam bobot isi adalah bobot isi asli, bobot isi kering dan bobot isi jenuh.

2.4.2 Geometri Lereng

Geometri lereng adalah tinggi, lebar, kemiringan lereng, dan *ramp* baik itu lereng tunggal (*single slope*) maupun lereng keseluruhan (*overall slope*). Suatu lereng disebut lereng tunggal apabila dibentuk oleh satu jenjang dan disebut

keseluruhan apabila dibentuk oleh beberapa jenjang. Suatu lereng dengan kemiringan yang tetap, apabila dilakukan penambahan tinggi lereng akan berpengaruh terhadap menurunnya kestabilan lereng tersebut, karena berat lereng yang harus ditahan oleh kekuatan geser tanah/batuan semakin bertambah besar. Penambahan ketinggian lereng harus diikuti dengan pengurangan sudut kemiringan lereng. Sudut kemiringan lereng pada jenjang untuk lereng keseluruhan diperoleh dengan menarik garis dari batas bawah (*toe*) jenjang terbawah ke batas atas (*crest*) jenjang teratas (Gambar 8). (Hoek & Bray, 1981)



Gambar 8. Penampang lereng tunggal dan lereng keseluruhan (Hoek & Bray, 1981)

Dalam *bench* juga bisa terdapat lebar yang berbeda dengan *bench* yang lainnya, hal ini dikarenakan adanya *ramp* yang ikut di rekayasa dalam geometri lereng atau biasa disebut *inter-ramp*. Lebar *ramp* sendiri tergantung pada lebar alat angkut yang digunakan, biasanya tiga setengah kali lebar dari lebar alat terbesar yang digunakan. Lebar jalan tambang alat angkut adalah tiga setengah kali lebar alat angkut terbesar yang digunakan, untuk jalan tambang dua arah, dan dua kali lebar alat angkut terbesar, untuk jalan tambang satu arah.

2.4.3 Kondisi Air Tanah

Kondisi air tanah yang berada di bawah permukaan tanah akan mempengaruhi kekuatan tanah/batuan dibawahnya, hal ini terjadi karena keberadaan air yang mengisi pori-pori tanah/batuan sehingga menyebabkan bobot isi dari tanah/batuan menjadi bertambah selain itu keberadaan air pada pori-pori tanah/batuan mempunyai tekanan yang dapat mempengaruhi besarnya tegangan normal pada permukaan gesek. Jadi dapat dikatakan bahwa suatu lereng yang mengandung air tanah maka lereng tersebut lebih rendah faktor keamanannya jika dibandingkan dengan lereng yang tidak mengandung air tanah, pada geometri lereng yang sama. (Wibisono, 2020)

2.5 Pengertian tanah longsor

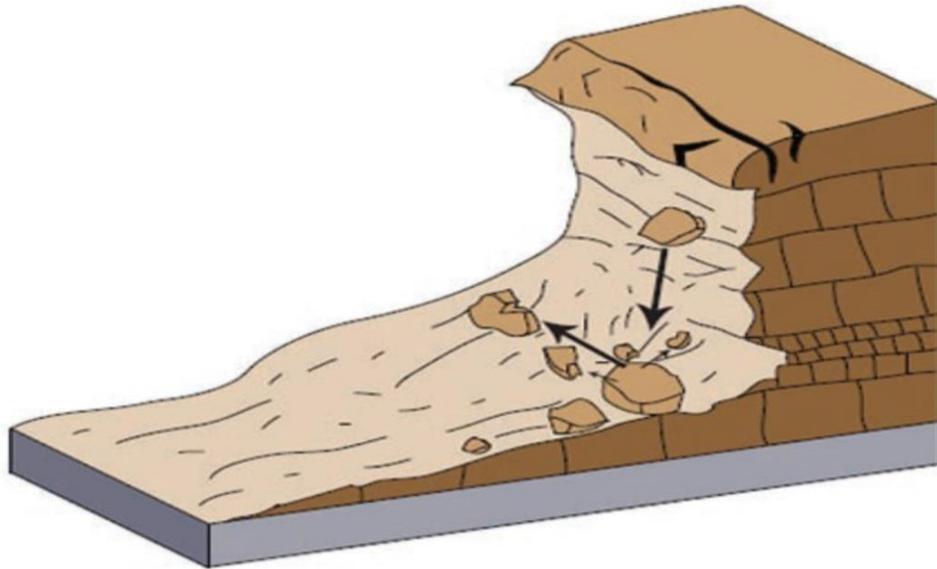
Tanah longsor atau gerakan tanah adalah perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau ke luar lereng. Proses terjadinya tanah longsor dapat diterangkan sebagai berikut: air yang meresap ke dalam tanah akan menambah Skor tanah. Jika air tersebut menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin dan tanah pelapukan di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan keluar lereng. (Varnes, 1978)

2.6 Jenis – Jenis Longsor

Adapun jenis gerakan tanah menurut Varnes (1978) :

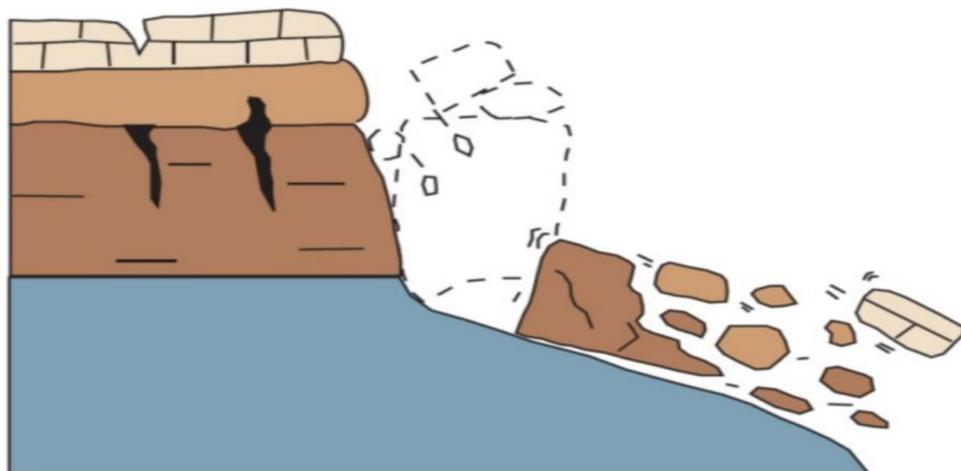
1. *Fall* (Runtuhan) adalah gerakan tiba-tiba massa batuan menjadi terlepas dari lereng atau tebing yang curam. Gerakan terjadi karena jatuh bebas, memantul,

dan bergulir. Jatuhan sangat dipengaruhi oleh gaya gravitasi, pelapukan mekanik, dan adanya air.



Gambar 9. Gerakan tanah *rockfall* (Varnes, 1978)

2. *Topple* (Jatuhan) telah diakui sebagai perbedaan jenis gerakan tanah. Gerakan tanah jenis ini terjadi ketika adanya rongga bawah tanah, adanya gaya gravitasi yang mendorong batuan jatuh kebawah.

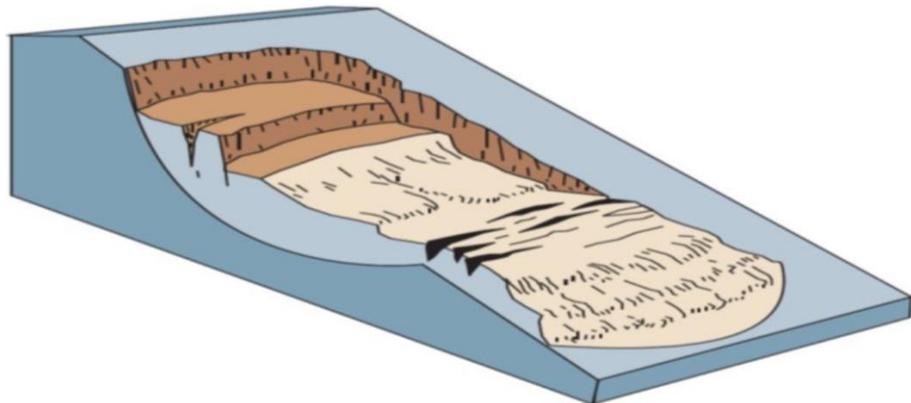


Gambar 10. Gerakan tanah jatuhan (Varnes, 1978)

3. *Slides* (Longsor), yaitu gerakan material batuan/tanah pada zona lemah yang terdiri dari regangan geser dan perpindahan material longsor dalam waktu yang relative sempit. Pergerakan material awalnya tidak secara bersamaan, dan menyebar pada bidang gelincir. Longsor dibagi menjadi dua yaitu:

a. Longsor Rotasi

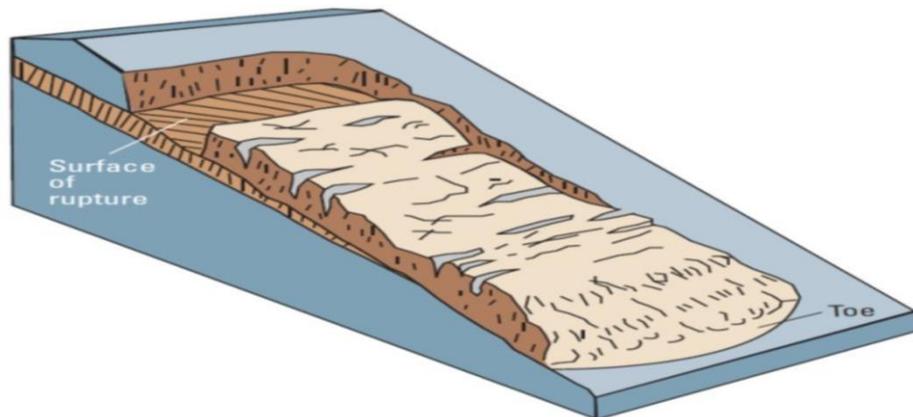
Longsor rotasi yang paling umum miring, adalah merosotnya atau Bergeraknya massa batuan atau tanah secara bersamaan melalui bidang gelincir berbentuk cekungan.



Gambar 11. Gerakan tanah jenis longsor rotasi (Varnes,1978)

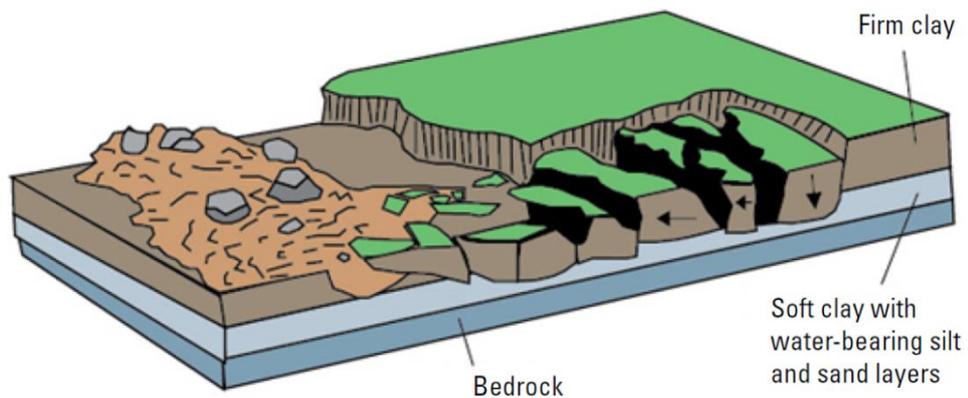
b. Longsor Translasi

Longsor translasi yaitu massa batuan atau tanah bergerak sepanjang bidang gelincir berbentuk rata. Massa batuan atau tanah bergerak umumnya meluncur di permukaan tanah.



Gambar 12. Gerakan tanah jenis longSORan translasi (Varnes, 1978)

4. *Spread* (Majemuk/penyebaran secara lateral) bersifat khas karena biasanya terjadi pada lereng yang sangat landai atau datar. Mode gerakan yang dominan adalah regangan datar dengan pergerakan karna adanya rekahan. Pergerakan ini disebabkan oleh likufaksi, proses dimana massa batuan jenuh, longgar, sedimenkohesi (biasanya pasir dan tanah).

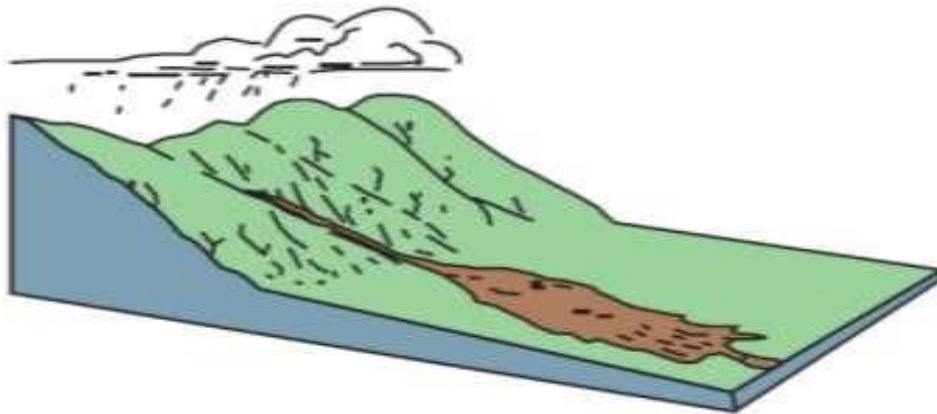


Gambar 13. Gerakan tanah jenis *spread lateral* (Varnes, 1978)

5. Aliran yaitu pergerakan massa batuan atau tanah secara serentak /mendadak dengan kecepatan tinggi. Ada dua kategori aliran, yaitu:

a. *Debris Flow* (Aliran Debris)

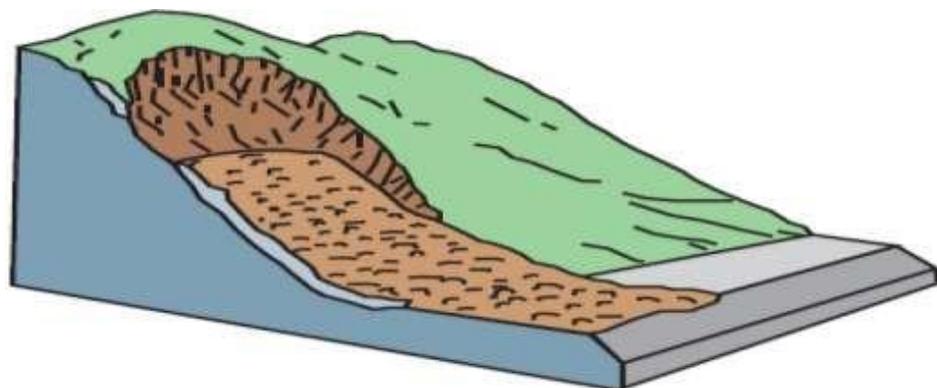
Debris flow adalah bentuk gerakan massa yang cepat dimana kombinasi tanah gembur, batuan, bahan organik, udara, dan air bergerak mengalir ke bawah lereng. Aliran *debris* umumnya disebabkan oleh aliran permukaan air yang intens, karena hujan lebat atau pencairan salju yang cepat.



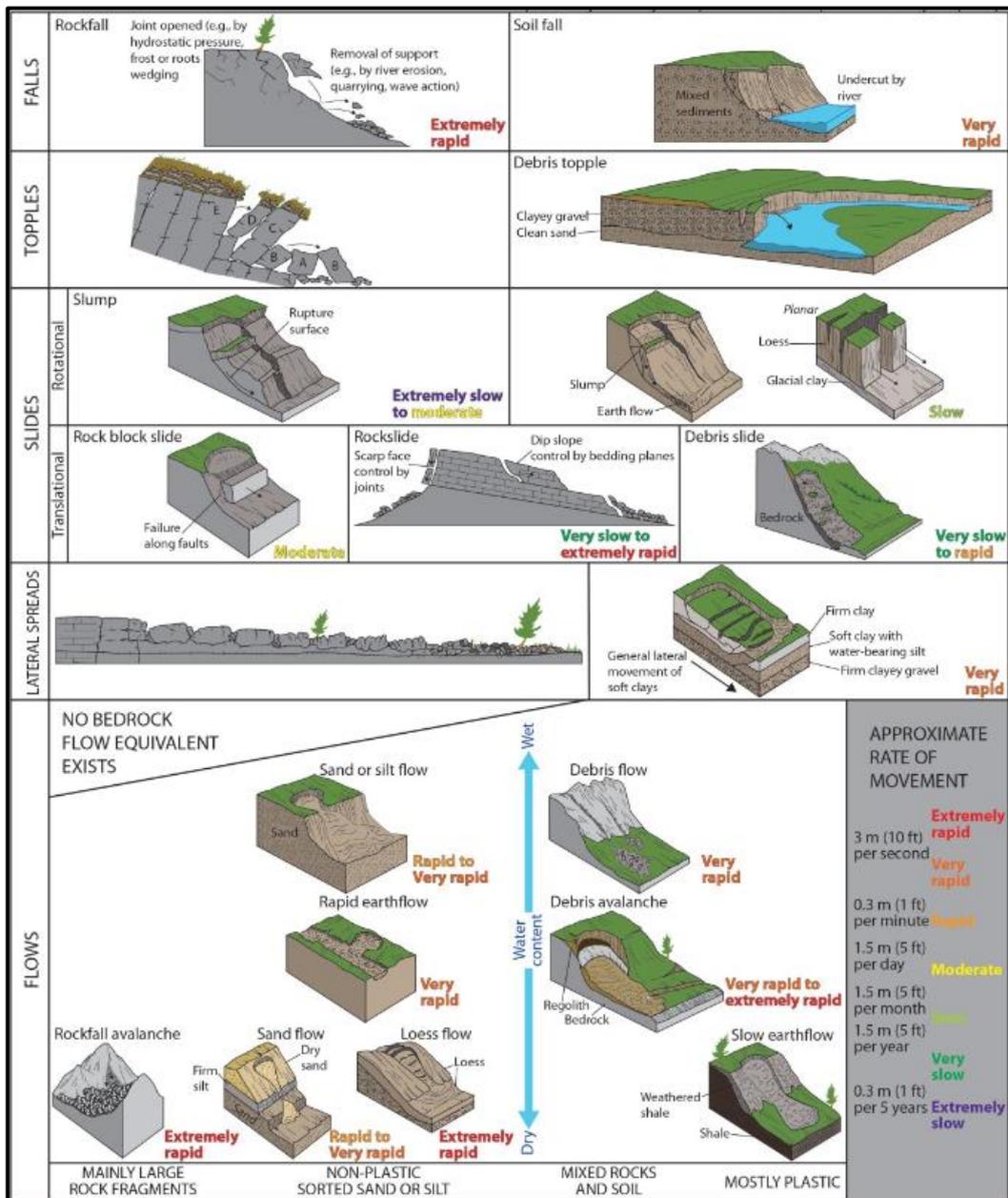
Gambar 14. Gerakan tanah *debris flow* (Varnes,1978)

b. *Debris Avalance*

Debris Avalance adalah puing longsoran salju, berbagai aliran puing yang sangat cepat hingga sangat cepat.



Gambar 15. Gerakan tanah *debris avalance* (Varnes, 1978)



Gambar 16. Klasifikasi gerakan tanah (Varnes, 1978)

2.7 Analisis Lereng Dengan Metode Kesetimbangan Batas

Analisis longsor dan kestabilan lereng dinding akhir pada rencana penambangan dengan menggunakan konsep kesetimbangan batas, secara prinsip gaya geser yang diperlukan untuk mempertahankan kemantapan akan

dibandingkan dengan gaya yang menyebabkan longsor. Pada longsor berbentuk busur, gaya-gaya tersebut diperhitungkan pada bidang gelincir yang berbentuk busur. Gaya penyebab longsor yang selanjutnya disebut sebagai momen penggerak berasal dari berat tanah/batuan dan berat air yang berada di atas bidang gelincir. Gaya atau momen penahan longsor berasal dari kekuatan geser tanah/batuan sepanjang bidang gelincir. Kedua momen ini dibandingkan sehingga didapatkan faktor keamanan (FK) pada bidang yang berbentuk busur tersebut. (Wibisono, 2020)

2.7.1 Metode *Bishop Simplified*

Salah satu dari metode keseimbangan batas untuk longsor busur (*Circular Failure*) yaitu metode Bishop. Metode ini menjelaskan keseimbangan gaya vertikal untuk setiap segmen dan keseimbangan momen keseluruhan yang berkaitan dengan pusat lingkaran. Lapisan yang berada di atas bidang longsor dibagi dalam beberapa segmen tegak agar perlapisan tanah/batuan dapat dipertimbangkan lebar dari tiap segmen tidak harus sama. Gaya normal pada dasar tiap segmen ditentukan dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam arah vertikal. Metode ini mengabaikan gaya gesek pada segmen dan kemudian mengasumsikan suatu gaya normal cukup untuk mendefinisikan gaya – gaya antara segmen. (Bishop, 1954)

Gaya normal pada dasar tiap segmen ditentukan dengan menjumlahkan gaya – gaya dalam arah vertikal. Lereng perlu dibagi dalam sejumlah segmen untuk melakukan perhitungan kemandapan lereng, supaya variasi lapisan tanah/batuan dapat dipertimbangkan, dan gaya normal pada bidang gesek dapat ditentukan.

2.7.2 Faktor Keamanan

2.7.2.1 Faktor Keamanan Statis

Faktor keamanan statis adalah faktor keamanan yang tidak dipengaruhi oleh getaran atau tidak bergerak serta gaya yang tidak berubah siring waktu. (Dani, dkk., 2021)

Analisa faktor keamanan statis dianalisa dengan metode bishop dengan pendekatan bidang gelincir *circular*. Metode yang digunakan untuk menganalisis faktor keamanan lereng tanah adalah metode Bishop, metode ini mengabaikan gaya gesek antar irisan dan kemudian mengasumsikan bahwa gaya normal cukup untuk mendefinisikan gaya-gaya antar irisan. Gaya normal dan tiap irisan ditentukan dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam. Metode Bishop ini menggunakan cara trial and error, tetapi hasil perhitungannya lebih teliti. Lokasi lingkaran longsor kritis Metode Bishop (1954). (Persamaan 2)

2.7.2.2 Faktor Keamanan Dinamis

Faktor keamanan dinamis adalah faktor keamanan yang dipengaruhi oleh getaran serta gaya yang selalu berubah. (Dani, dkk., 2021)

Analisis stabilitas lereng dinamis menggunakan metode kesetimbangan batas dimana gaya inersia akibat pengaruh gempa diwakili oleh gaya horisontal konstan (sama dengan berat geser potensial massa dikalikan dengan koefisien) biasanya disebut sebagai analisis pseudostatis. Metode ini untuk mengetahui faktor keamanan dan menggunakan koefisien seismik. (Mandal & Sengupta, 2013)

Analisis akibat adanya gelombang seismik menggunakan metode pseudostatik. Metode pseudostatik memberikan pendekatan sederhana untuk mengevaluasi stabilitas lereng pada daerah yang sering terjadi gempa bumi. Metode ini merupakan sebuah aplikasi dari metode kesetimbangan batas yang memodifikasikan adanya percepatan seismik statik yang terjadi secara horizontal (k_h) dan vertikal (k_v) yang digunakan untuk mengasumsikan adanya potensial inersia percepatan perambatan gelombang di bawah permukaan karena gempa bumi tersebut. Percepatan seismik yang ada diasumsikan secara proporsional sebagai berat massa tanah/batuan yang potensial longsor dengan koefisien seismik k_h dan k_v , dan analisis ini sebagai analisis statik. Suatu hal yang khas dari percepatan seismik juga diasumsikan hanya diwakili oleh pengaruh koefisien horizontal (k_h), koefisien percepatan seismik vertikal dianggap nol ($k_v = 0$) atau dapat diabaikan berdasarkan penelitian pengaruh komponen percepatan vertikal (k_v) terhadap perubahan nilai faktor keamanan tidak lebih dari 10% dimana $k_v < k_h$ (NHI, 1998 dalam Wibisono, 2020).

Percepatan seismik horizontal mempengaruhi adanya gaya inersia dari lereng ($k_h.W_s$), dimana W adalah berat dari massa tanah/batuan yang potensial mengalami longsor.

W_s : Berat beban yang potensial mengalami longsor

K_h : Koefisien percepatan seismik arah horisontal

K_v : Koefisien percepatan seismik arah vertikal

Sehingga kondisi keseimbangan batas yang dipengaruhi oleh gelombang seismik adalah (Arif, 2016):

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}}$$

$$F_{\text{Penggerak}} = W (\sin \psi_p + k_H \cos \psi_p) \quad (3)$$

$$F_{\text{Penahan}} = c.A + W (\cos \psi_p - k_H \sin \psi_p) \tan \phi \quad (4)$$

W : Berat beban yang potensial mengalami longsor (ton)

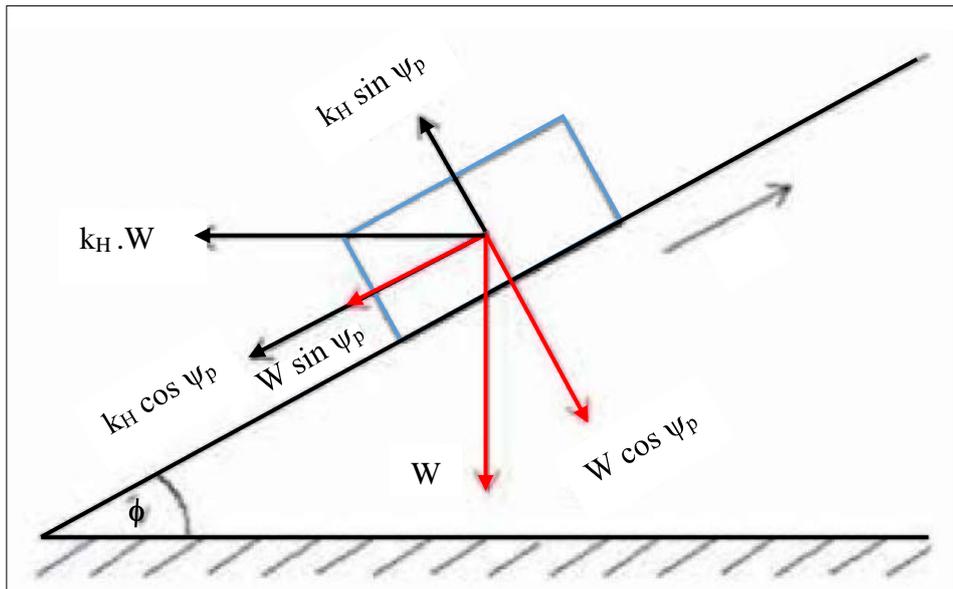
ψ_p : Sudut kemiringan lereng ($^\circ$)

c : Kohesi (kPa)

k_H : Koefisien percepatan seismik arah horisontal (k_h), asumsi $k_v = 0$

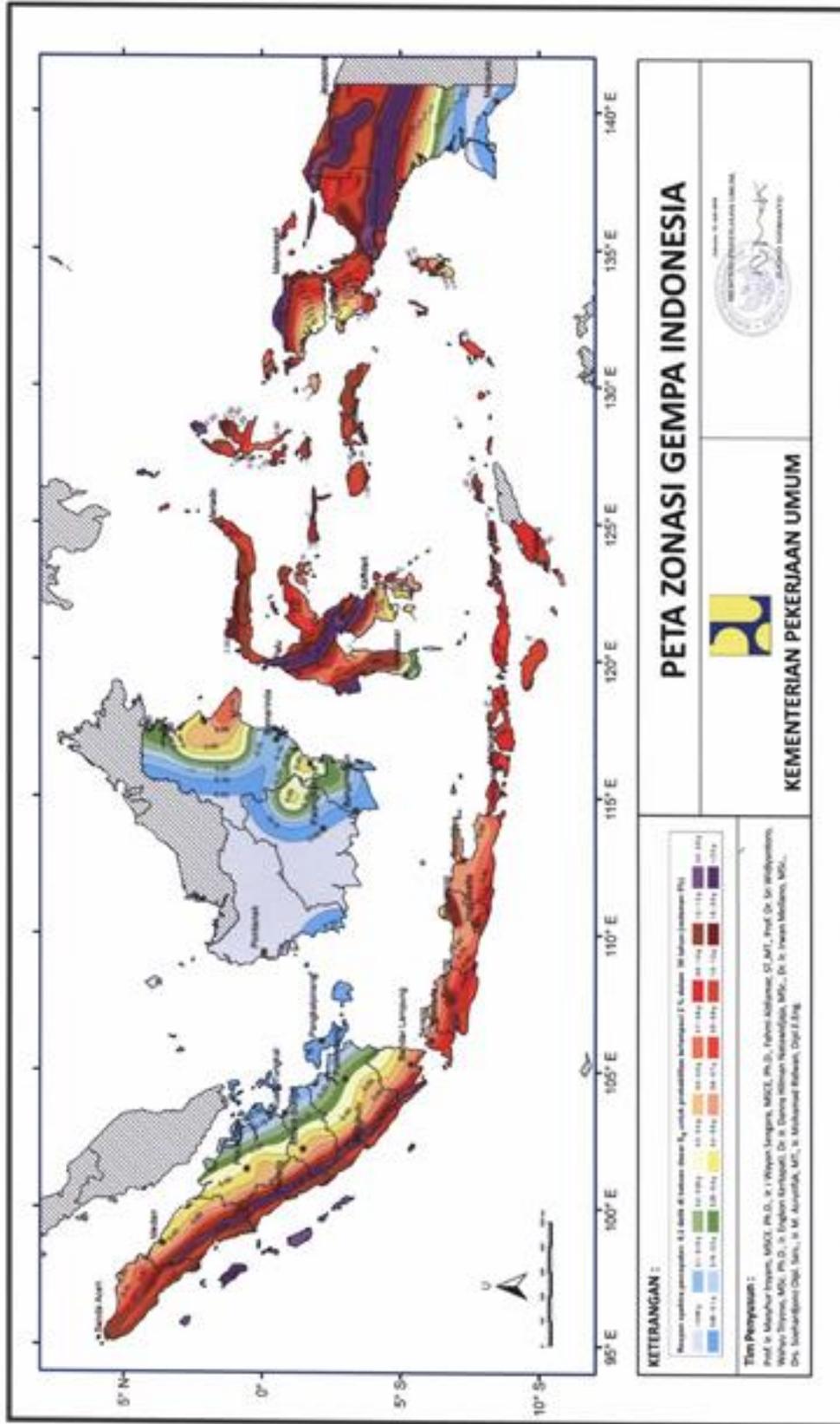
A : Luas dasar blok atau benda di lereng (m^3)

ϕ : Sudut gesek dalam ($^\circ$)



Gambar 18. Distribusi gaya akibat pengaruh beban seismik (Arif, 2016)

Faktor keamanan dihitung dengan menggunakan persamaan 3 dan 4 sebagai salah satu gaya penggerak dan gaya penahan pada metode perhitungan faktor keamanan yang digunakan. Sementara itu, berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Bumi Indonesia Tahun 2017, daerah penelitian memiliki pengaruh percepatan gempa (PGA) sebesar $< 0,465$ g (Gambar 19).



Gambar 19. Peta Sumber dan Bahaya Gempabumi Indonesia Tahun 2017 (Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2017)