

SKRIPSI

**ANALISIS DAN PEMODELAN KEMIRINGAN LERENG UNTUK
PENENTUAN FAKTOR KEAMANAN PADA *FRONT* DAN *WASTEDUMP*
SOSOLAT PADA TAMBANG PT. ANTAM UBPN PROVINSI MALUKU
UTARA**

DISUSUN DAN DIAJUKAN OLEH

**M. ZIDANE ALFATIH HASAN
D061 19 1098**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS DAN PEMODELAN KEMIRINGAN LERENG UNTUK
PENENTUAN FAKTOR KEAMANAN PADA *FRONT* DAN *WASTEDUMP*
SOSOLAT PADA TAMBANG PT. ANTAM UBPN PROVINSI MALUKU
UTARA**

Disusun dan Diajukan Oleh :

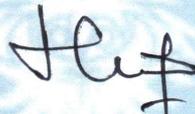
M. ZIDANE ALFATIH HASAN

D061 19 1066

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas
Teknik Universitas Hasanuddin dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



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

NIP. 19771214 200501 1 002

Ketua Departemen 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 : M. Zidane Alfatih Hasan
NIM : D061191066
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis dan Pemodelan Kemiringan lereng untuk Penentuan Faktor Keamanan Pada *Front* dan *Wastedump* Sosolat di PT. Antam UBPN Provinsi Maluku Utara

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa tugas akhir 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, 3 Desember 2024

Yang Menyatakan



M. Zidane Alfatih Hasan

SARI

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kestabilan lereng di area front dan wastedump Sosolat PT. Antam Tbk. Melalui pemodelan dan pengujian single slope pada berbagai material, ditentukan bahwa desain lereng yang optimal memiliki tinggi 6 meter dan sudut kemiringan 60° . Parameter ini digunakan sebagai dasar dalam pembuatan model lereng yang akan dianalisis lebih lanjut. Analisis kestabilan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Slide, yang menghasilkan nilai faktor keamanan (FK) pada beberapa sayatan. Sayatan A-B dan untuk wastedump, nilai FK mencapai 5,530. Berdasarkan Kepmen ESDM nomor 1827, lereng dianggap stabil jika nilai FK lebih dari 1,20. Hasil ini menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi stabil. Namun, analisis tambahan mengenai Probability of Failure (PoF) menunjukkan adanya risiko longsoran yang signifikan pada lereng front Sosolat. Untuk memperbaiki desain lereng, penelitian ini juga melakukan optimasi dengan mempertimbangkan tinggi lereng yang tetap 6 meter dan dampak beban seismik. Hasil optimasi menunjukkan bahwa meskipun faktor seismik diperhitungkan, nilai FK dan PoF tetap dalam batas aman sesuai dengan standar yang berlaku. Ini menegaskan bahwa desain lereng masih dapat dianggap stabil dalam kondisi yang ada. Kesimpulan dari penelitian ini menyoroti pentingnya pemodelan dan analisis risiko dalam pengelolaan kestabilan lereng. Temuan ini memberikan wawasan berharga bagi manajemen risiko di industri pertambangan, dengan rekomendasi untuk menerapkan sistem pemantauan yang efektif guna memastikan keselamatan operasional dan mengurangi potensi longsoran.

Kata Kunci : Faktor Keamanan, Kestabilan, Lereng

ABSTRACT

This study aims to analyze the stability of slopes in the front and wastedump areas of Sosolat PT. Antam Tbk. Through modeling and testing of single slopes on various materials, it was determined that the optimal slope design has a height of 6 meters and a slope angle of 60°. These parameters serve as the basis for creating a slope model for further analysis. Stability analysis was conducted using Slide software, which produced safety factor (FK) values for several sections. Section A-B recorded an FK of 2.003 and the wastedump area recorded an FK of 5.530. According to Kepmen ESDM No. 1827, a slope is considered stable if the FK value exceeds 1.20. These results indicate that the slope is in a stable condition. However, additional analysis regarding the Probability of Failure (PoF) revealed a significant risk of landslides in the Sosolat front slope. To enhance the slope design, this study also performed optimization, maintaining a slope height of 6 meters while considering seismic load impacts. The optimization results indicated that even with seismic factors taken into account, both FK and PoF values remained within safe limits as per applicable standards. This confirms that the slope design can still be regarded as stable under the existing conditions. The conclusion of this study emphasizes the importance of modeling and risk analysis in managing slope stability. These findings provide valuable insights for risk management in the mining industry, with recommendations to implement effective monitoring systems to ensure operational safety and reduce the potential for landslides.

Keywords: *Safety Factor, Stability, Slope*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat izin, rahmat serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan Penelitian yang berjudul **“Analisis dan Pemodelan Kemiringan lereng untuk Penentuan Faktor Keamanan Pada *Front dan Wastedump* Sosolat di PT. Antam UBPN Provinsi Maluku Utara”** ini dengan baik. Pembuatan skripsi ini merupakan salah satu tahap yang dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis baik berupa bantuan moril maupun materil dalam penyusunan, khususnya kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M. Eng sebagai Pembimbing dan ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Ilham Alimuddin, S. T., M. Gis. Ph. D sebagai dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan dan arahan baik dalam penulisan laporan.
3. Bapak Dr. Sultan, S. T., M.T sebagai dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan dan arahan baik dalam penulisan laporan.
4. Ibu Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T sebagai Penasehat akademik.
5. Bapak dan Ibu dosen pada Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bimbingannya.
6. Staf Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya dalam pengurusan administrasi penelitian.
7. Kedua Orang Tua saya, yang tidak henti-hentinya memberikan dukungannya baik moril maupun materil serta doa restu yang senantiasa terucap tiada henti yang kemudian menjadi sumber semangat bagi penulis selama ini.
8. Teman-teman Teknik Geologi angkatan 2019 atas segala dukungannya.
9. Himpunan Mahasiswa Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (HMG FT-UH).

10. Satuan Komando Lapangan (SKL BE-HMG FT-UH).

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih sangat jauh dari kesempurnaan, sehingga segala saran dan kritik yang sifatnya membangun sangat diperlukan dalam penyempurnaan skripsi ini.

Akhir kata penulis mohon maaf kepada semua pihak apabila terdapat kesalahan kata dalam proposal ini dan semoga proposal ini dapat berguna bagi semua pihak yang menggunakannya. Aamiin.

Gowa, 3 Desember 2024

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.....	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Geologi Regional	4
2.2 Pengertian Lereng.....	9
2.3 Geometri Lereng	10
2.4 Faktor yang mempengaruhi Kemantapan Lereng.....	11
2.5 Konsep Kestabilan Lereng.....	14
2.6 Metode Kestabilan Lereng.....	15
2.7 Cara-Cara Menstabilkan Lereng.....	16
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	19
3.2 Metode Penelitian.....	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Analisis Geologi Teknik	24

4.2	Pemodelan dan Optimalisasi Lereng.....	36
BAB V PENUTUP.....		41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA		43
Lampiran.....		44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta Geologi Lembar Maluku Utara	9
Gambar 2. Geometri Lereng	11
Gambar 3. Peta Citra Lokasi Penelitian.....	19
Gambar 4. Diagram Alir Metode dan Tahapan Penelitian.....	23
Gambar 5. Foto Lapangan Front Sosolat (a) dan Foto Lapangan Wastedump Sosolat (b)	24
Gambar 6. Peta Topografi Daerah penelitian	25
Gambar 7. Analisis Single slope pada Material Limonite dengan Tinggi 6 meter dan kemiringan 60 derajat.....	28
Gambar 8. Analisis Single slope pada Material Saprolite dengan Tinggi 6 meter dan kemiringan 60 derajat.....	28
Gambar 9. Analisis Single slope pada Material Bedrock dengan Tinggi 6 meter dan kemiringan 60 derajat.....	29
Gambar 10. Garis sayatan penampang pada front dan Wastedump Sosolat.....	30
Gambar 11. Analisis dan pemodelan sayatan A-B dalam kondisi statis.....	32
Gambar 12. Analisis dan pemodelan sayatan A-B dalam kondisi Dinamis	33
Gambar 13. Analisis dan pemodelan sayatan pada Wastedump dalam kondisi Statis.....	35
Gambar 14. Analisis dan pemodelan sayatan pada Wastedump dalam kondisi Dinamis	36
Gambar 15. Analisis dan pemodelan sayatan A-B dalam kondisi Dinamis	37
Gambar 16. Analisis dan pemodelan sayatan A-B dalam kondisi statis.....	38
Gambar 17. Pemodelan ulang pada Wastedump Sosolat.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang (Sumber : Kepmen ESDM No. 1827)	18
Tabel 2. Data Material Properties Pada Front dan Wastedump	26
Tabel 3. Nilai Faktor Keamanan Lereng Tunggal Tambang (Kepmen ESDM No. Tabel 41827 K/30/MEM/2018).....	27
Tabel 5. Data Perbandingan Nilai FK Single Slope Tiap Material (Berwarna Merah FK <1,1).....	29
Tabel 6. Nilai Faktor Keamanan Lereng Tunggal Tambang (Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018).....	32
Tabel 7. Nilai FK Pada Sayatan A-B Dalam Kondisi Statis	33
Tabel 8. Nilai FK Pada Sayatan A-B Dalam Kondisi Dinamis	34
Tabel 9. Koreksi Nilai FK Pada Sayatan yang Dalam Kondisi Statis	38
Tabel 10. Koreksi Nilai FK Pada Sayatan Dalam Kondisi Dinamis.....	38

DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH

Singkatan/Symbol dan Istilah	Keterangan
PIT	Tempat Penambangan
FK	Faktor Keamanan
Ni	Nikel
MPa	Megapascal
kPa	Kilopascal
m	Meter
m ²	Meter Persegi
m ³	Meter Kubik
Kg	Kilogram
kN	Kilonewton
ESDM	Energi Sumber Daya Mineral
KEPMEN	Keputusan Menteri
°	Derajat

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Analisis kestabilan lereng pada tambang nikel menjadi esensial untuk mengidentifikasi dan mengelola resiko terkait aktivitas tambang. Pekerjaan penambangan yang melibatkan ekstraksi material berat dan perubahan topografi seringkali dapat memicu pergeseran tanah, longsor, atau bahkan runtuhnya lereng, yang dapat berdampak negatif pada keselamatan pekerja, lingkungan, dan keberlanjutan operasi tambang.

Kelongsoran pada lereng sering terjadi disebabkan karena keadaan geografi yang memiliki curah hujan cukup tinggi dan kenaikan tekanan air pori kadar air suatu lempung, sehingga mempengaruhi kekuatan geser. Hal ini berakibat pada terjadinya penurunan kuat geser tanah (c) dan sudut geser dalam (ϕ) yang selanjutnya menyebabkan kelongsoran. Jika berbicara mengenai dataran tinggi atau lereng ada hal-hal yang harus diperhitungkan dalam bidang Geoteknik, salah satu bagian Geoteknik yaitu tanah longsor. (Hardiatmo H.C., 2003)

Tambang nikel PT. Antam Tbk di Indonesia berlokasi di Maluku Utara merupakan perusahaan yang sedang melakukan perencanaan pengembangan penambangan bijih nikel dengan sistem tambang terbuka di Pulau Pakal Kecamatan Maba Kabupaten Halmahera Timur Provinsi Maluku Utara. Rancangan lereng yang dibuat pada beberapa lokasi di Pulau Pakal membutuhkan analisis kestabilan lereng agar dapat memberikan optimasi geoteknik yang bisa menunjang kelancaran kegiatan penambangan dan mengurangi potensi longsor.

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng pada tambang nikel, termasuk sifat geoteknik dari tanah laterit, konsekuensi hidrologis dari aktivitas tambang, dan pengaruh dari kondisi geologi sekitar. Dengan memahami dengan baik dinamika kestabilan lereng pada tambang nikel, kita dapat merancang strategi mitigasi resiko yang efektif, merinci praktik-praktik pengelolaan yang tepat, dan mendukung kelangsungan operasi tambang secara berkelanjutan.

Penelitian ini tidak hanya memberikan manfaat praktis bagi industri tambang nikel, tetapi juga berkontribusi pada pemahaman ilmiah terkait geoteknik

dan keberlanjutan lingkungan dalam konteks pemanfaatan sumber daya alam.

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka hal tersebutlah yang melatar belakangi penulis melakukan penelitian dengan judul : “**Analisis dan Pemodelan Kemiringan lereng untuk Penentuan Faktor Keamanan Pada *Front* dan *Wastedump* Sosolat di PT. Antam UBPN Provnsi Maluku Utara**”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana Kondisi lereng di front dan Wastedump Sosolat pada PT. Antam Tbk ?
2. Bagaimana faktor keamanan dari lereng front dan Wastedump Sosolat pada PT. Antam Tbk ?
3. Bagaimana rekomendasi untuk optimalisasi lereng front dan Wastedump Sosolat pada PT. Antam Tbk ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilaksanakannya penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui kondisi lereng di Front penambangan dan Disposol Sosolat pada PT. Antam Tbk.
2. Mengetahui faktor keamanan dan *probability of failure* dari lereng front dan Disposol Sosolat di Pulau Pakal pada PT. Antam Tbk.
3. Melakukan simulasi geometri lereng di Front Penambangan dan Disposol Sosolat PT. Antam Tbk.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan rekomendasi mengenai geometri lereng yang lebih aman. Dalam hal ini dapat memberikan gambaran kondisi jarak, tinggi dan kemiringan lereng yang dapat mempermudah dalam proses pertambangan pada PT. Antam UBPN Maluku Utara.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian terletak di Pulau Pakal Kecamatan Maba Selatan Kabupaten

Halmahera Timur Provinsi Maluku Utara.

2. Desain lereng hanya berdasarkan analisis lereng aktual meliputi data tinggi lereng, sudut kemiringan lereng, lebar lereng dan nilai Properties Materials.
3. Melakukan analisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode Bishop

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Menurut Supriatna (1980), Geologi daerah penelitian dibagi menjadi dua mandala yaitu mandala geologi dan mandala fisiografi. Berdasarkan peta geologi lembar Ternate, Maluku Utara yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung, fisiografi Pulau Halmahera dibagi menjadi 3 (tiga) bagian utama, yaitu Mandala Halmahera Timur, Halmahera barat, dan busur kepulauan Gunung Api Kuarter

1. Mandala Fisiografi Halmahera Timur

Mandala Halmahera Timur meliputi lengan timur laut, lengan tenggara, dan beberapa pulau kecil di sebelah timur Pulau Halmahera. Morfologi mandala ini terdiri dari pegunungan berlereng terjal dan torehan sungai yang dalam, serta sebagian mempunyai morfologikarst. Morfologi pegunungan berlereng terjal merupakan cerminan batuan keras. Jenis batuan penyusun pegunungan ini adalah batuan ultrabasa. Morfologi karst terdapat pada daerah batugamping dengan perbukitan yang relatif rendah dan lereng yang landai.

2. Mandala fisiografi Halmahera Barat Mandala Halmahera Barat bagian utara dan lengan selatan Halmahera.

Morfologi mandala berupa perbukitan yang tersusun atas batuan sedimen, pada batugamping berumur Neogen dan morfologi karst dan di beberapa tempat terdapat morfologi kasar yang merupakan cerminan batuan gunung api berumur Oligosen.

3. Mandala busur kepulauan gunung api kuarter Mandala ini meliputi pulau-pulau kecil di sebelah barat pulau Halmahera.

Deretan pulau ini membentuk suatu busur kepulauan gunungapi Kuarter yang bagian pulaunya mempunyai kerucut gunungapi yang masih aktif.

Berdasarkan Supriatna (1980) Singkapan batuan ultrabasa dan batuan berumur kapur yaitu Formasi Dodaga, dan batuan berumur Paleosen-Eosen yaitu Formasi Dorosagu yang tersebar cukup luas di mandala Halmahera Timur. Batuan sedimen terendapkan di lingkungan laut dalam hingga dangkal diatas batuan dasar ultrabasa. Setelah terjadi hiatus sejak Eosen akhir hingga awal Oligosen terbentuklah kegiatan gunungapi yang menghasilkan produk vulkanik Formasi Bacan. Sementara itu di

tempat lain terbentuk pula batuan karbonat yaitu batugamping klastik, napal, dan batupasir gampingan dari Formasi Tutuli. Setelah terjadi hiatus pada Miosen Bawah bagian atas, terbentuklah cekungan luas yang berpusat di bagian tengah dan selatan Pulau Halmahera yang terisi batulempung, napal, dan batugamping, dan konglomerat dari Formasi Weda. Pada Miosen akhir terbentuk batuan karbonat dari Formasi Tingteng. Sementara itu pengendapan Formasi Weda masih berlangsung sehingga bagian tengah dan bagian atas Formasi Weda menjemari dengan Formasi Tingteng. Urutan formasi batuan pada daerah Halmahera dari tua kemuda dapat dilihat pada penjelasan dibawah ini :

1. Satuan Batuan Ultrabasa Terdiri dari serpentinit, piroksenit, dan dunit, umumnya berwarna hitam kehijauan, getas, terbreksikan, memiliki komposisi asbes dan garnierit.
2. Formasi Dodaga Berumur Kapur, tersusun atas perselingan lanau, serpih, batupasir, napal, dan batugamping. Batulanau abu-abu dan serpih merah merupakan batuan yang dominan dan padanya terdapat radiolaria. Ketebalan rata-rata dari batuan ini adalah 15 cm. batugamping berwarna merah dan batupasir tufan, memiliki ukuran butir halus dengan ketebalan lapisan antara 10-15 cm, dan umumnya mengandung rombakan batuan ultrabasa. Napal memiliki ketebalan berkisar 15-30 cm. Foraminifera terdapat dalam batupasir, batugamping, dan napal yang terdiri dari famili rotaliporidae, globotruncanidae, dan heterohelicidae yang menunjukkan umur Kapur Atas (Siregar, 1976, komunikasi tertulis; dalam Supriatna 1980). Tebal formasi diperkirakan 150 meter. Satuan ini semula disebut seri Buli oleh Bessho (1944; dalam Supriatna, 1980), dan kini disebut sebagai Formasi Dodaga berdasarkan singkapan di Sungai Dodaga di lengan timur Pulau Halmahera.
3. Formasi Dorosagu Terdiri dari perselingan batupasir, batulanau, batulempung, serpih, konglomerat, dan batugamping. Secara umum formasi ini sangat kompak dan berlapis baik. Batupasir menjadi litologi yang dominan menyusun, memiliki ketebalan lapisan rata-rata 10 cm dan terdapat banyak fosil foraminifera. Variasi dari batupasir ini adalah batupasir gamping berbutir halus yang terdiri dari feldspar, kuarsa, dan rombakan serpih merah;

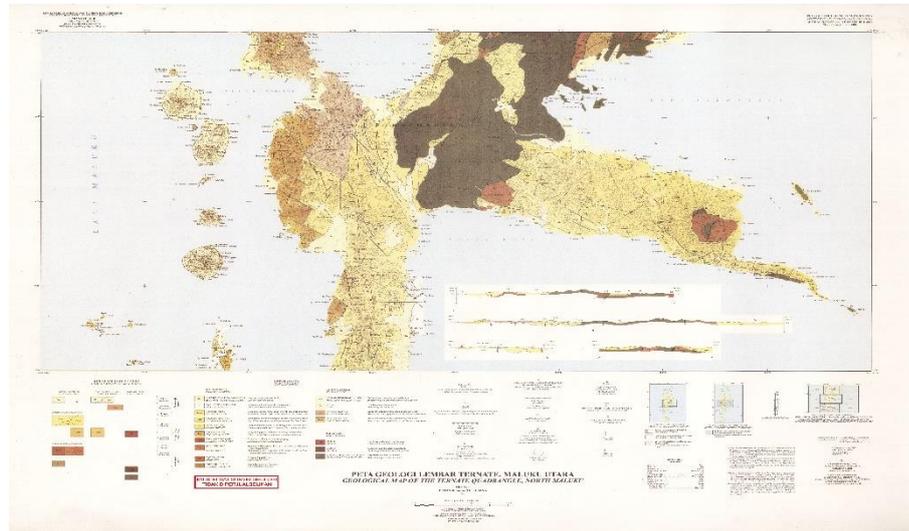
batupasir greywacke yang mengandung rombakan batuan ultrabasa; Batulanau gampingan memiliki tebal rata-rata 5 cm, dan batupasir konglomeratan. Konglomerat dengan komponen andesit, basalt serta batugamping, dan masa dasar pasir gampingan. Batugamping berbutir halus hingga sedang, terdapat fosil foraminifera bentonik besar, dan sedikit glaukonit. Foraminifera yang diidentifikasi antara lain *Discocyclina* sp, *Operculina* sp, *Amphistegina* sp, *asterocyclina* sp, dan *nummulites* sp. yang menunjukkan umur Paleosen-Eosen (Kadar 1976, komunikasi tertulis; dalam Supriatna 1980). Sentuhan satuan batuan yang lebih tua berupa ketidak selarasan, dan sesar naik. Ketebalan satuan ini lebih kurang 400 meter. Nama satuan ini diambil dari Sungai Dorosagu pada lengan timur laut Pulau Halmahera. Satuan ini awalnya dinamakan seri Saolat oleh Bessho (1944; dalam Supriatna 1980).

4. Formasi Tutuli Formasi Tutuli tersusun atas batugamping dengan sisipan napal dan batupasir gampingan, umumnya berlapis baik. Formasi ini dibedakan dengan Formasi Tingteng dari sifat fisiknya yang jauh lebih keras. Batugamping merupakan litologi dominan dari formasi ini dan memiliki beberapa warna dari abu-abu tua, kuning kecoklatan, putih kotor, dan putih kemerahan. Ukuran butir halus sampai kasar, kompak, kadang-kadang mengandung rombakan batuan basa, ultrabasa, dan batulanau. Batugamping pasiran berbutir halus banyak mengandung fosil, koral, dan moluska. Napal memiliki ketebalan rata-rata satu meter dan banyak terdapat foraminifera kecil. Napal tersebut tersisipi batupasir gampingan dengan ketebalan 50 cm yang banyak mengandung foraminifera dan moluska. Foraminifera besar yang ditemukan antara lain *Lepidocyclina* spp., *Miogypsinoides* sp., *Cyclocypeus* sp., *Amphistegina* sp., dan *Spirocyclopeus*., yang menunjukkan umur Oligosen Akhir-Miosen Awal dan lingkungan neritik (Kadar, 1976, komunikasi tertulis). Kontak dengan batuan Formasi Weda berupa sesar. Tebal satuan lebih kurang 600 meter. Satuan ini semula di sebut Formasi Parapara oleh Bessho (1944; dalam Supriatna 1980), kini dinamakan Formasi Tutuli, berdasarkan singkapan di Sungai Tutuli di lengan timur laut Pulau Halmahera.

5. Formasi Bacan Tersusun atas batuan gunungapi berupa lava, breksi, dan tufa sisipan konglomerat dan batupasir. Dengan adanya sisipan batupasir maka dapat diketahui umur Formasi Bacan yaitu Oligosen-Miosen Bawah. Dengan batuan yang lebih tua yaitu Formasi Dorosagu yang dibatasi oleh bidang sesar dan dengan batuan yang lebih muda yaitu Formasi Weda oleh bidang ketidakselarasan. Setelah pengendapan Miosen Bawah bagian atas selesai, terbentuk cekungan luas yang berkembang sejak Miosen Atas-Pliosen. Pada cekungan tersebut diendapkan Formasi Weda, satuan konglomerat, dan Formasi Tingteng.
6. Formasi Weda tersusun atas batupasir berseling dengan batulempung dan batulanau, napal, batugamping, dan konglomerat. Batupasir terdiri dari batupasir arkosa, batupasir konglomerat, dan batupasirgraywacke. Batulempung terdiri batulempung kehijauan, batulempung lanauan, dan batugamping pasiran. batulempung mengandung gastropoda, bivalvia, koral, damar, dan batubara. Batugamping berwarna putih tebal lapisan rata-rata 20 cm. Konglomerat memiliki komponen andesit piroksen, batugamping, dan batupasir. Berdasarkan gabungan fosil foraminifera Formasi Weda memiliki kisaran umur Miosen Tengah hingga Pliosen. Ketebalan formasi kurang lebih 650 meter dan memiliki hubungan menjemari dengan Formasi Tingteng. Satuan ini semula di sebut seri Weda oleh Bessho (1944; dalam Supriatna 1980). berdasarkan singkapan di Desa Weda di lengan timur laut Pulau Halmahera.
7. Formasi Tingteng Tersusun atas batugamping dengan sisipan batupasir gampingan dan napal. Batugamping merupakan batuan dominan dalam formasi ini. Batupasir gampingan berwarna putih kekuningan dan napal berwarna putih. Satuan ini membentuk morfologi kars seperti yang terdapat di sekitar Subaim. Formasi ini banyak ditemukan foraminifera besar dan kecil yang menunjukkan umur Miosen Atas- Pliosen. Formasi ini tersebar di sekitar di sekitar Subaim, Dodaga, dan Labi-labi dengan ketebalan kurang lebih 300 meter. Formasi Tingteng terletak tidak selaras di atas Formasi Tutuli dan mempunyai hubungan yang menjemari dengan Formasi Weda. Nama satuan diambil dari nama Sungai Tingteng, di lengan tenggara Halmahera.

Secara tektonik, Pulau Halmahera terletak di antara empat lempeng yaitu Lempeng Australia, Lempeng Filipina, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Mindanao (Hall, 1999). Lempeng Australia terletak dibagian selatan dan dibatasi di bagian selatan oleh sistem Sesar Sorong, yang merupakan zona transpresif kompleks yang memanjang ke timur lebih dari 1500 km, dari Papua Nugini sepanjang batas utara Pulau Papua hingga kearah barat sekitar 800 km menuju Sulawesi. Lempeng Filipina saat ini bergerak kearah barat sekitar 12 cm per tahun (Moor, 1982; dalam Hall 1999). Batas lempeng Filipina (yang mencakup Halmahera) adalah palung Filipina yang terkait dengan palung Halmahera. Lempeng Eurasia memiliki batas timur di patahan Filipina selatan dan terus ke sesar Halmahera barat (Silver dan Moore, 1978; dalam Hall 1988). Lempeng Eurasia di wilayah Asia Tenggara dan Filipina merupakan daerah yang kompleks dan menyangkut banyak lempeng kecil yang bergerak semiindependen. Salah satunya adalah lempeng Mindanao yang dibatasi oleh sesar Filipina di barat dan Palung Filipina di sebelah timur. Lengan timur dan lengan barat Pulau Halmahera merupakan dua mandala tektonik yang berbeda. Perkembangan tektonik di lengan timur dapat dikenali berawal dari zaman Kapur Akhir dan zaman Tersier Awal. Fragmen batuan ultrabasa dan serpih yang diduga berusia kapur terdapat dalam batuan sedimen Formasi Dorosagu yang berumur Paleosen-Eosen. Kegiatan tektonik berikutnya terjadi pada akhir Eosen hingga Oligosen awal yang tercermin dari ketidakselarasan antara Formasi Dorosagu dan Formasi Bacan yang berumur akhir Oligosen- Miosen Awal. Kegiatan tektonik berikutnya terjadi pada Miosen Tengah, Pliosen-Plistosen, dan terakhir pada kala Holosen. Kecuali pada kala Holosen kegiatan tektonik tersebut ditandai terutama oleh penyesaran naik secara intensif serta pelipatan yang menjurus timur laut dan barat daya. Sesar normal juga banyak terdapat, umumnya berjurus barat laut dan tenggara. Kegiatan terakhir berupa pengangkatan yang terbukti oleh adanya terumbu yang terangkat sepanjang pantai. Lengan barat pulau Halmahera sebagian besar tertutup oleh produk vulkanik muda, sehingga perkembangan tektoniknya tidak dapat dikenali dengan baik. Batuan tertua adalah Formasi Bacan yang berumur Oligosen-Miosen yang tersingkap di ujung utara Pulau Halmahera. Secara geologi dan tektonik Halmahera cukup unik, karena pulau ini terbentuk dari pertemuan empat lempeng, yaitu Eurasia, Mindanao, Pasifik dan

Indo-Australia yang terjadi sejak Zaman Kapur. Di selatan Halmahera pergerakan miring sesar Sorong ke arah barat bersamaan dengan Indo-Australia, struktur lipatan berupa sinklin dan antiklin terlihat jelas pada Formasi Weda yang berumur Miosen Tengah-Pliosen Awal. Sumbu lipatan berarah utara-selatan, timur laut-barat daya, dan barat laut-tenggara.



Gambar 1. Peta Geologi Lembar Maluku Utara

Struktur sesar terdiri dari sesar normal dan sesar naik umumnya berarah utara-selatan dan barat lauttenggara. Kegiatan tektonik dimulai pada Kapur Awal dan Tersier Awal, ketidakselarasan antara batuan berumur Paleosen-Eosen dengan batuan berumur Eosen-Oligosen Awal, mencerminkan kegiatan tektonik sedang berlangsung kemudian diikuti kegiatan gunungapi. Sesar naik akibat tektonik terjadi pada zaman Eosen-Oligosen. Tektonik terakhir terjadi pada zaman Holosen berupa pengangkatan terumbu dan adanya sesar normal yang memotong batugamping.

2.2 Pengertian Lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah atau batuan yang mempunyai permukaan miring dan membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal dan tidak terlindungi (Braja M. Das, 1985). Dilihat dari material penyusunnya, terdapat dua macam lereng, yaitu lereng tanah dan lereng batuan, walaupun kenyataan yang dijumpai pada lereng tambang selalu merupakan gabungan dari material tanah dan batuan. Dalam analisis dan penentuan jenis tindakan pengamanannya, lereng tanah tidak dapat disamakan dengan lereng batuan karena parameter material dan jenis

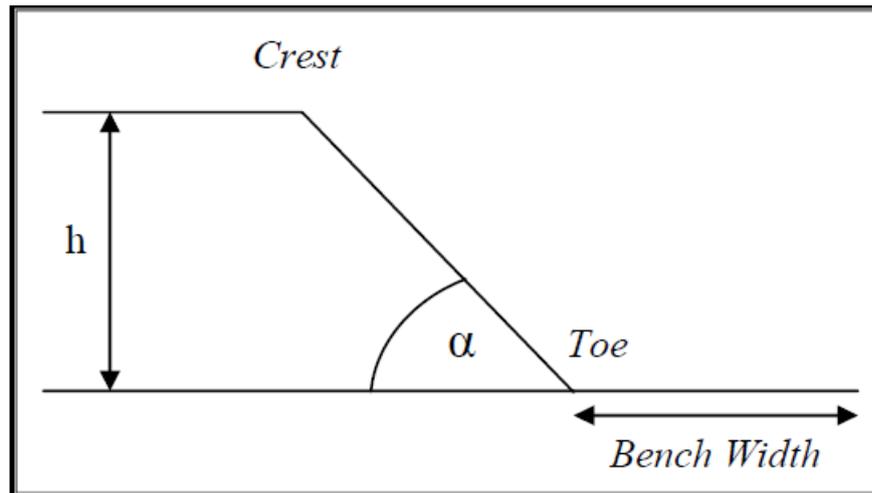
penyebab longsor kedua material pembentuk lereng tersebut sangat jauh berbeda (Romana, 1993).

Menurut Romana, Lereng adalah bidang miring yang menghubungkan bidang-bidang lain yang mempunyai elevasi yang berbeda. Lereng terbentuk secara alamiah maupun dengan bantuan manusia. Ditinjau dari jenisnya, secara umum lereng terbagi atas 3 bagian yaitu :

1. Lereng alam yaitu lereng yang terjadi akibat proses-proses alamiah, misalnya lereng pada perbukitan.
2. Lereng yang dibuat dalam pada tanah asli misalnya bila mana tanah dipotong untuk pembuatan jalan atau saluran air irigasi.
3. Lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan misalnya tanggul atau bendungan urugan tanah.

2.3 Geometri Lereng

Kemiringan dan tinggi suatu lereng sangat mempengaruhi kestabilan nya. Semakin besar kemiringan dan ketinggian suatu lereng, maka kestabilan semakin berkurang. Apabila suatu lereng mempunyai kemiringan yang tetap, maka perubahan ketinggian akan mengakibatkan perubahan kestabilan dari lereng yang bersangkutan karena berat material lereng yang harus ditahan oleh kekuatan geser tanah/batuan semakin besar, sehingga semakin tinggi lereng maka sudut kemiringan lereng yang diperlukan akan semakin kecil (Arif, 2016). Geometri lereng mencakup tinggi lereng, sudut kemiringan lereng dan lebar jenjang, seperti terlihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2. Geometri Lereng

Keterangan

Toe : kaki Lereng/bagian bawah dari lereng

Crest : kepala lereng / bagian atas dari lereng

Bench Width : lebar lereng / lebar dari *crest* ke *toe*

2.4 Faktor yang mempengaruhi Kemantapan Lereng

1. Geometri Lereng

Geometri lereng mencakup tinggi lereng, sudut kemiringan lereng dan lebar jenjang, Kemiringan dan tinggi suatu lereng sangat mempengaruhi kestabilannya. Semakin besar kemiringan dan ketinggian suatu lereng, maka kestabilan semakin berkurang. Apabila suatu lereng mempunyai kemiringan yang tetap, maka perubahan ketinggian akan mengakibatkan perubahan kestabilan dari lereng yang bersangkutan karena berat material lereng yang harus ditahan oleh kekuatan geser tanah/batuan semakin besar, sehingga semakin tinggi lereng maka sudut kemiringan lereng yang diperlukan akan semakin kecil. (Arief.I.I, 2016)

2. Penyebaran Batuan

Macam penyebaran dan hubungan antar batuan yang terdapat di daerah penyelidikan harus diketahui. Hal ini perlu dilakukan karena sifat fisis dan mekanis batuan berbeda sehingga kekuatan batuan dalam menahan bebannya sendiri juga berbeda. (Seno C. Triyadi, 2015)

3. Relief Permukaan Bumi

Faktor ini mempengaruhi laju erosi, pengendapan, menentukan arah aliran air permukaan lebih besar dan mengakibatkan pengikisan yang lebih banyak.

Akibatnya adalah banyak dijumpai singkapansingkapan yang mempercepat proses pelapukan. Batuan akan mudah lapuk dan mempengaruhi kekuatan batuan. Pada akhirnya kekuatan batuan menjadi kecil sehingga kemantapan lereng berkurang.

4. Struktur Geologi Regional dan Lokal

Struktur geologi yang perlu diketahui adalah bidang diskontinuitas atau bidang lemah seperti sesar, kekar, perlapisan, bidang ketidakselarasan dan sebagainya. Struktur geologi ini merupakan bidang lemah dalam massa batuan dan dapat menurunkan kemantapan lereng. Struktur Geologi ini juga mempengaruhi kekuatan batuan atau paling tidak merupakan tempat rembesan air sehingga akan mempengaruhi cepat lambatnya pelapukan dimana penentuan arah jurus dan kemiringan bidang tersebut merupakan bagian yang sangat penting dalam melengkapi data analisis. (Syakinah H, 2020)

5. Air tanah

Air tanah adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah atau bebatuan di bawah permukaan tanah. Proses masuknya air permukaan ke dalam tanah disebut sebagai *infiltrasi*, sedangkan proses Bergeraknya air tanah di bawah permukaan disebut dengan perkolasi. Kehadiran air tanah secara langsung dapat mempengaruhi kondisi dari suatu tubuh lereng, ada dua efek yang dapat terjadi, diantaranya :

- 1) Peningkatan tekanan air pori yang berimbas pada berkurangnya gaya tahan dalam tubuh lereng dan dapat memicu pada kekristisan lereng hingga kelongsoran
- 2) Air tanah dalam tubuh lereng dapat merembes keluar permukaan dan menggenang hingga tak terbatas, hal tersebut dapat sangat mengganggu, khususnya di wilayah kerja operasi infrastruktur atau pertambangan
- 3) Meningkatkan intensitas pelapukan.

6. Iklim dan Curah Hujan

Iklim berpengaruh terhadap kemantapan lereng karena iklim mempengaruhi perubahan temperatur. Temperatur yang cepat berubah akan mempercepat proses pelapukan batuan, yang jelas mengurangi gaya tahan dari lereng tersebut. Untuk daerah tropis pelapukan berlangsung lebih cepat dan kelongsoran pada lereng lebih cepat berlangsung. Adanya kandungan air pada pori batuan yang lebih besar dapat

menyebabkan bertambahnya gaya penggerak untuk terjadinya kelongsoran.

Untuk masalah curah hujan diman air mempunyai fungsi sebagai pelarut dan sebagai media transportasi material pengisi celah rekahan dimana akibat adanya kehadiran air tersebut dapat menimbulkan tegangan air yang akan mengurangi tegangan normal sehingga akan memperkecil kekuatan geser. (Syakinah H, 2020)

7. Sifat Fisik dan Mekanik Batuan Atau Tanah

Sifat fisik dan mekanik batuan atau tanah yang diperlukan sebagai data menganalisis kemantapan lereng adalah:

1) Bobot isi batuan atau tanah

Nilai bobot isi batuan atau tanah akan menentukan besarnya beban yang diterima pada permukaan bidang longsor, dinyatakan dalam satuan berat per volume. Bobot isi batuan juga dipengaruhi oleh jumlah kandungan air dalam batuan tersebut. Semakin besar bobot isi pada suatu lereng tambang maka gaya geser penyebab kelongsoran akan semakin besar, dengan demikian kestabilan lereng semakin berkurang. Bobot isi diketahui dari pengujian laboratorium. Nilai bobot isi batuan atau tanah untuk analisa kestabilan lereng terdiri dari 3 parameter yaitu nilai Bobot isi batuan pada kondisi asli, kondisi kering dan Bobot isi pada kondisi basah. (Arief.I.I, 2016)

2) Porositas batuan atau tanah

Batuan atau tanah yang mempunyai porositas besar akan banyak menyerap air. Dengan demikian bobot isinya menjadi lebih besar, sehingga memperkecil kestabilan lereng. Adanya air dalam batuan juga akan menimbulkan tekanan air pori yang akan memperkecil kuat geser batuan. Batuan yang mempunyai kuat geser kecil akan lebih mudah longsor.

3) Kandungan air

Semakin besar kandungan air dalam batuan, maka tekanan air pori menjadi semakin besar juga. Dengan demikian berarti bahwa kuat geser batuanya menjadi semakin kecil, sehingga kestabilannya berkurang.

4) Kohesi (c) dan Sudut Geser Dalam (φ)

Kohesi (c) adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam batuan atau tanah, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Kohesi batuan atau tanah akan semakin besar jika kekuatan gesernya makin besar. Sudut geser dalam merupakan

sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam batuan atau tanah.

Sudut geser dalam (φ) adalah sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material, maka kuat geser batuan juga akan semakin besar, dengan demikian batuan (lereng) akan lebih stabil dan material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya. (Syakinah H, 2020)

Menurut Braja M. Das, nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ) diperoleh dari pengujian laboratorium yaitu pengujian kuat geser langsung (*direct shear strength test*). Untuk mengetahui nilai kohesi dan sudut geser dalam, dinyatakan dalam persamaan *Mohr - Coulomb* sebagai berikut :

$$\tau_n = \sigma_n \tan \varphi + c \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

τ_n = tegangan geser

σ_n = tegangan normal

$\tan \varphi$ = sudut geser dalam

c = kohesi

2.5 Konsep Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng baik lereng alami maupun buatan (buatan manusia) 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 longoran) lebih besar dari gaya penggerak, lereng tersebut akan berada dalam kondisi yang stabil (aman). Namun, apabila gaya penahan menjadi lebih kecil dari gaya penggerak, lereng tersebut akan menjadi tidak stabil dan akan terjadi longoran. Longoran merupakan suatu proses alamiah yang terjadi untuk mendapatkan kondisi kestabilan lereng yang baru (keseimbangan baru), dimana gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak. (Syakinah H, 2020)

Menurut Braja M. Das, suatu cara yang umum untuk menyatakan kestabilan suatu lereng batuan adalah dengan faktor keamanan. Faktor ini merupakan

perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil, dengan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya longsor. Secara matematis faktor kestabilan lereng dinyatakan sebagai berikut :

$$F = \frac{R}{Fp} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

F= faktor kestabilan lereng

R= gaya penahan, berupa resultan gaya-gaya yang membuat lereng tetap stabil

Fp = gaya penggerak, berupa resultan gaya-gaya yang menyebabkan lereng longsor

Pada keadaan :

$F > 1,0$ = lereng dalam keadaan stabil

$F = 1,0$ = lereng dalam keadaan seimbang (akan longsor)

$F < 1,0$ = lereng dalam keadaan tidak stabil.

2.6 Metode Kestabilan Lereng

8. Metode Fellenius

Metode Fellenius (Ordinary Method of slice) diperkenalkan pertama oleh Fellenius (1927, 1936) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor.

Fellenius mengemukakan metodenya dengan menyatakan asumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P berkerja ditengah-tengah slice. Diasumsikan juga bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisan adalah sama dengan nol, atau dengan kata lain bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan.(Violetta, 2014) Jadi total asumsi yang dbuat oleh metode ini adalah:

- a. Posisi gaya normal P terletak di tengah alas irisan: n
- b. Resultan gaya antar irisan sama dengan nol: n -1

Total : 2n-1

Dengan anggapan-anggapan ini maka dapat diuji persamaan keseimbangan momen untuk seluruh irisan terhadap titikpusat rotasi dan diperoleh suatu nilai

Faktor Keamanan.

9. Metode Bishop

Metode Bishop merupakan metode sangat populer dalam analisis kestabilan lereng dikarenakan perhitungannya yang sederhana, cepat dan memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup teliti. Metode ini sangat cocok digunakan untuk pencarian secara otomatis bidang runtuh kritis yang berbentuk busur lingkaran untuk mencari faktor keamanan minimum.(Riski,2019).

Metode kesetimbangan batas yang dipakai disini yaitu Metode Bishop yang sudah disederhanakan. Diantara metode irisan lainnya, metode Bishop yang disederhanakan 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 horizontal tidak dapat dipenuhi.(Marini, 2019)

Faktor keamanan untuk metode ini dirumuskan sebagai Berikut :

$$FS = \frac{\sum X / (1 + Y/FS)}{EZ + Q} \dots\dots\dots (2)$$

Bishop adalah metode untuk menganalisis kestabilan lereng dengan memperhitungkan gaya-gaya antar irisan yang ada, yang berbentuk busur lingkaran. Metoda bishop disederhakan bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Persamaan kuat geser dalam tinjauan tegangan efektif yang dapat dikerahkan tanah, hingga tercapainya kondisi keseimbangan batas dengan memperhatikan faktor aman (Bishop, 1955).

2.7 Cara-Cara Menstabilkan Lereng

Penanggulangan longsor yang dilakukan bersifat pencegahan sebelum longsor terjadi pada daerah potensial dan stabilisasi, setelah longsor terjadi jika belum runtuh total. Penanggulangan yang tepat pada kedua kondisi diatas dengan memperhatikan penyebab utama longsor, kondisi pelapisan tanah dan juga aspek geologinya. Langkah yang umum dalam menangani longsor antara lain: pemetaan geologi topografi daerah yang longsor, pemboran untuk mengetahui bentuk

pelapisan tanah/batuan dan bidang gelincirnya, pemasangan piezometer untuk mengetahui muka air atau tekanan air porinya, dan pemasangan slope indicator untuk mencari bidang geser yang terjadi. Selain itu dilakukan pula pengambilan tanah tidak terganggu, terutama pada bidang geser untuk dipelajari besar kekuatan tahanan gesernya. Ada beberapa cara untuk menstabilkan lereng yang berpotensi terjadi kelongsoran. Pada prinsipnya ada dua cara yang dapat digunakan untuk menstabilkan suatu lereng, yaitu : (Violetta, 2014)

1) Memperkecil gaya penggerak atau momen penyebab longsor. Gaya atau momen penyebab longsor dapat diperkecil dengan cara merubah bentuk lereng, yaitu dengan cara:

- Merubah lereng lebih datar atau memperkecil sudut kemiringan
- Memperkecil ketinggian lereng
- Merubah lereng menjadi lereng bertingkat (*multi slope*)

2) Memperbesar gaya lawan atau momen penahan longsor. Gaya lawan atau momen penahan longsor dapat diperbesar dengan beberapa cara yaitu:

- Menggunakan counter weight yaitu tanah timbunan pada kaki lereng. Cara ini mudah dilaksanakan asalkan terdapat tempat dikaki lereng untuk tanah timbunan tersebut.
- Dengan mengurangi air pori di dalam lereng.
- Dengan cara mekanis yaitu dengan memasang tiang pancang atau tembok penahan tanah.

Tabel 1. Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang (Sumber :
Kepmen ESDM No. 1827)

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (<i>Consequences of Failure/CoF</i>)	Kriteria dapat diterima (<i>Acceptance Criteria</i>)		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (Min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (Probability of Failure) (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%