

**ANALISIS KESTABILAN LERENG DI FRONT PENAMBANGAN
MAFHIA PADA PT. ANTAM Tbk KABUPATEN HALMAHERA
TIMUR PROVINSI MALUKU UTARA**



UNIVERSITAS

BOSOWA

SKRIPSI

KELVIN EL SULTANI

4519046028

JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS BOSOWA

MAKASSAR

2023

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Judul Skripsi : Analisis Kestabilan Lereng Di Front Penambangan Mafhia
Pada PT. Antam Tbk Kabupaten Halmahera Timur Provinsi

Maluku Utara

Nama Penulis : Kelvin El Sultani

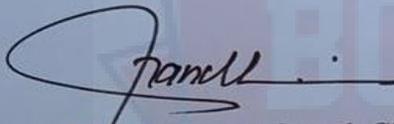
NIM : 45 19 046 028

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan pada Seminar Hasil

Makassar, 7 Juli 2023

Mengetahui,

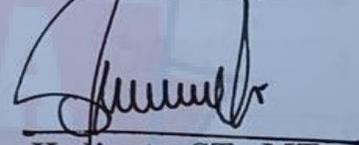
Pembimbing I



Dr. Ir. A. Ilham Samanlangi, ST., MT., IPP

NIP : 0001017102

Pembimbing II



Hedianto, ST., MT.

NIDN : 0931079202

Menyetujui,

Ketua Prodi/Jurusan

Teknik Pertambangan Universitas Bosowa



Enni Tri Mahyuni, S.T., MT.

NIDN : 0912127306

PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Judul : Analisis Kestabilan Lereng Di Front Penambangan Mafhia Pada PT. Antam Tbk Kabupaten Halmahera Timur Provinsi Maluku Utara

Nama : Kelvin El Sultani

Stambuk : 45 19 046 028

Disetujui Tanggal : 7 Juli 2023

TIM PENGUJI

Ketua	:	Dr. Ir. A. Ilham Samanlangi, S.T., M.T	(<i>[Signature]</i>)
Sekretaris	:	Hedianto, S.T., M.T	(<i>[Signature]</i>)
Penguji 1	:	Moh. Khaidir Noor., ST., MT	(<i>[Signature]</i>)
Penguji 2	:	Amran, ST., M. Ling	(<i>[Signature]</i>)

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Bosowa



Dr. H. Nasrullah, S.T., M.T
NIDN : 0908077301

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Kelvin El Sultani
NIM : 45 19 046 028
Jurusan : Teknik Pertambangan

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 3 Juli 2023

Yang Menyatakan,



Kelvin El Sultani

ABSTRAK

KELVIN EL SULTANI, Analisis Kestabilan Lereng Di Front Penambangan Mafhia Pada PT. Antam Tbk Kabupaten Halmahera Timur Provinsi Maluku Utara (Dr. Ir. A. Ilham Samanlangi, ST., MT.,IPP., dan Hedianto, S.T., M.T).

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 Propinsi 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.

Teknik pengolahan data yang dilakukan yaitu setelah semua data telah dirampungkan maka dilakukan pengolahan data, menggunakan metode fellenius maupun menggunakan berbagai software yang sesuai digunakan untuk mendapatkan hasil dari nilai faktor keamanan $> 1,20$ yang aman untuk lereng sesuai menurut Kepmen ESDM nomor 1827.

Analisis Kestabilan Lereng menghitung nilai faktor keamanan dilakukan menggunakan metode fellenius yang ada pada aplikasi slide software 6.0. karena metode ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode lainnya Dari *software slide* didapatkan nilai faktor keamanan pada penampang Timur yaitu 1.163 dan pada penampang Selatan kondisi didapatkan nilai faktor keamanan 1,186.

Dari hasil optimasi lereng keseluruhan dengan mengubah variabel sudut dan tinggi overall slope, serta simulasi adanya variabel data water table lereng akan aman jika tidak adanya air. Pada bagian penampang selatan, sehingga mendapatkan titik optimal optimasi lereng dengan nilai faktor pada penampang Timur yaitu 1,212 dan pada penampang Selatan yaitu 1,201. Nilai Faktor Keamanan yang efektif dengan adanya water table yaitu dengan simulasi mengubah overall slope pada penampang Timur nilai Faktor Keamanan yaitu 1.210 dan penampang Selatan nilai Faktor Keamanan yaitu 1.211 yang sesuai menurut Kepmen ESDM nomor 1827 lereng harus 1,20 dapat dikatakan stabil atau aman.

Kata kunci : Metode *Fellenius*, *Optimasi*, *Front Mafhia*, Nilai Faktor Keamanan, Kepmen ESDM nomor 1827.

ABSTRACK

KELVIN EL SULTANI, Analysis of Slope Stability at the Mafhia Mining Front at PT. Antam Tbk, East Halmahera Regency, North Maluku Province (Dr. Ir. A. Ilham Samanlangi, ST., MT.,IPP., and Hedianto, S.T., M.T).

Nickel mine PT. Antam Tbk in Indonesia, located in North Maluku, is a company that is planning the development of nickel ore mining with an open pit mining system on Pakal Island, Maba District, East Halmahera Regency, North Maluku Province. Slope designs made at several locations on Pakal Island require slope stability analysis in order to provide geotechnical recommendations that can support the smooth running of mining activities and reduce the potential for landslides.

The data processing technique is carried out, namely after all the data has been completed, data processing is carried out, using the fellenius method or using various appropriate software to obtain results from a safety factor value of > 1.20 which is safe for slopes according to Minister of Energy and Mineral Resources Decree number 1827.

Slope Stability Analysis calculates the value of the factor of safety using the fellenius method in the slide software 6.0 application. because this method has several advantages compared to other methods. From the slide software, the safety factor value for the East section is 1.163 and for the South section the safety factor is 1.186.

From the results of optimizing the overall slope by changing the angle and overall slope height variables, as well as simulating the existence of a water table data variable, the slope will be safe if there is no water. In the southern section, so as to get the optimal point of slope optimization with a factor value on the East section, which is 1.212 and on the South section, which is 1.201. The effective value of the Safety Factor in the presence of a water table is by simulating changing the overall slope on the East cross section, the Safety Factor value is 1,210 and the South cross section, the Safety Factor value is 1,211.

Keywords: Fellenius Method, Optimization, Mafhia Front, Safety Factor Value, Minister of Energy and Mineral Resources Decree number 1827.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang sangat mulia dan sempurna, Kepada -Nyalah kami memohon berkah dan rahmat serta izin -Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas akhir (TA) di PT Antam Tbk yang berjudul “**Analisis Kestabilan Lereng Di Front Penambangan Mafhia Pada PT. Antam Tbk Kabupaten Halmahera Timur Provinsi Maluku Utara**”. Shalawat dan salam atas Nabi Muhammad SAW yang merupakan Rasul Allah yang membawa dan membimbing umat manusia dari dunia yang penuh kegelapan ke dalam dunia yang terang dengan cahaya islam.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini, antara lain kepada :

1. Bapak **Dr. H. Nasrullah, ST., MT IAI.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar.
2. Ibu **Enni Tri Mahyuni, ST., MT.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Bosowa Makassar sekaligus penasehat akademik.
3. Bapak **Dr. Ir. A. Ilham Samanlangi, ST., MT., IPP.**, selaku Dosen Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar sekaligus pembimbing I.
4. Bapak **Hedianto ST., MT.**, selaku Dosen Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar sekaligus pembimbing II.

5. **Seluruh Dosen, Staf dan karyawan** Fakultas Teknik Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Bosowa Makassar.
6. Bapak **Filep Purimahua**, selaku GCSG Supervisor PT. Antam Tbk, Bapak **Muhammad Najib**, selaku QC jr. Engineer PT. Antam Tbk, Bapak **Gede Darma Raharja**, selaku QC jr. Engineer PT. Antam Tbk, Kak **Isna Yustika Fajriani**, selaku Laboratory Chemical and Instrument Officer PT. Antam Tbk, sekaligus pembimbing di perusahaan.
7. Kepada **Kelvin El Sultani** atau diri saya sendiri yang tetap semangat dan berjuang dalam mengerjakan skripsi ini sampai selesai.
8. Kepada orang tua, Bapak **Usman** dan Ibu **Andi Tanra Uleng** serta saudara-saudara penulis, **Mochammad Loudy, Syalwa Fatimah Benri, dan Safira Sekar Arum** atas dukungan dan doa selama proses penyusunan skripsi ini.
9. Terkhusus kepada, **Astri Mawar Putri, Muh Alfian Saputra Anwar, Ayu Agustira** dan yang selalu membantu dan menjadi penyemangat penulis selama proses penyusunan skripsi ini.
10. Seluruh teman-teman **Angkatan 2019 Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Pertambangan Bosowa Makassar** atas doa dan kebersamaan selama proses penyusunan skripsi ini.
11. Dan kepada pihak yang tidak di sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis mengucapkan terimakasih.

Penulis menyadari skripsi ini tidak luput dari keterbatasan penulis sebagai manusia yang memiliki banyak kesalahan dan kekurangan. Penulis mengharapkan saran dan

kritik demi kesempurnaan skripsi ini, semoga dapat memberikan manfaat bagi bidang pendidikan dan penerapan di lapangan serta di kembangkan lebih lanjut.

Makassar, 25 Juni 2023

KELVIN EL SULTANI

NIM : 4519046028



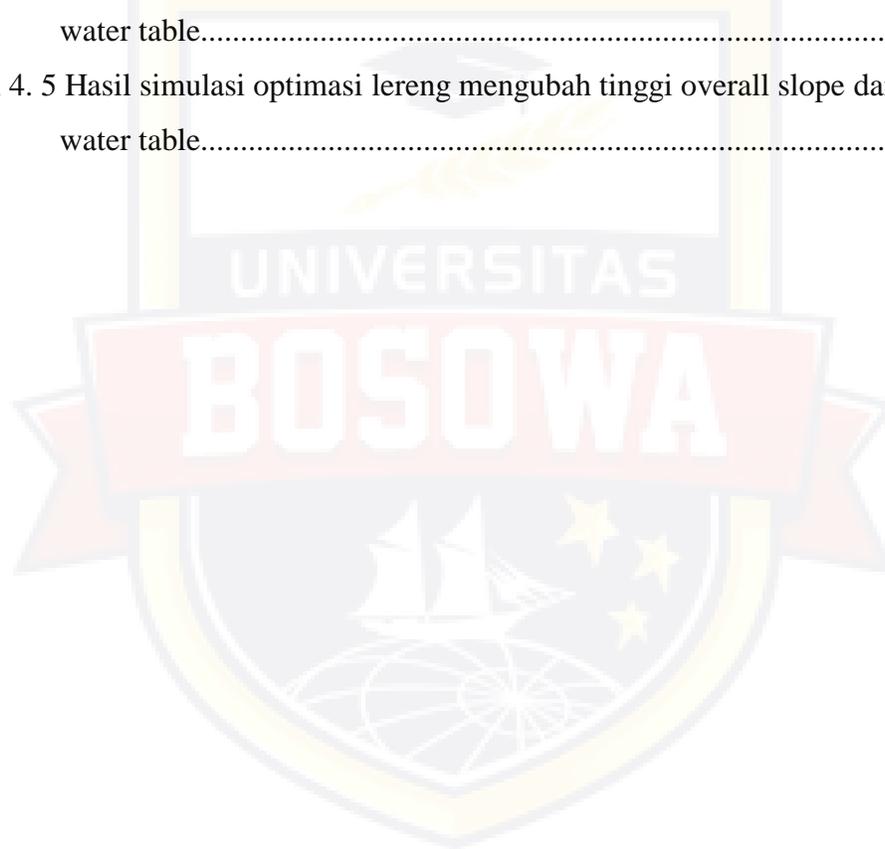
DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN DEWAN PENGUJI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Batasan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	4
F. Penelitian Terdahulu.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Geologi Regional	7
1. Geomorfologi.....	7
2. Stratigrafi	8
3. Struktur Geologi.....	10
B. Geologi Lokal	11
1. Geomorfologi Lokal.....	11
2. Stratigrafi	12
3. Struktur Geologi.....	13
C. Landasan Teori	14

1. Pengertian Lereng	14
2. Faktor yang mempengaruhi Kemantapan Lereng.....	15
3. Konsep Kestabilan Lereng.....	20
4. Metode Kestabilan Lereng	21
5. Cara-Cara Menstabilkan Lereng.....	24
6. Klasifikasi Faktor Keamanan.....	26
BAB III METODE PENELITIAN	29
A. Rancangan Penelitian.....	29
B. Lokasi dan Waktu	30
C. Alat dan Bahan.....	31
D. Teknik Pengumpulan Data	32
E. Teknik Pengelolaan Data	32
F. Tahap Analisis Data	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
A. Hasil Penelitian.....	36
1. Kondisi Lereng Aktual.....	36
2. Analisis Kestabilan Lereng	37
3. Optimasi Lereng.....	39
B. Pembahasan.....	42
1. Kondisi Lereng Aktual.....	42
2. Analisis Kestabilan Lereng	43
3. Optimasi Lereng.....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
A. Kesimpulan	50
B. Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	54

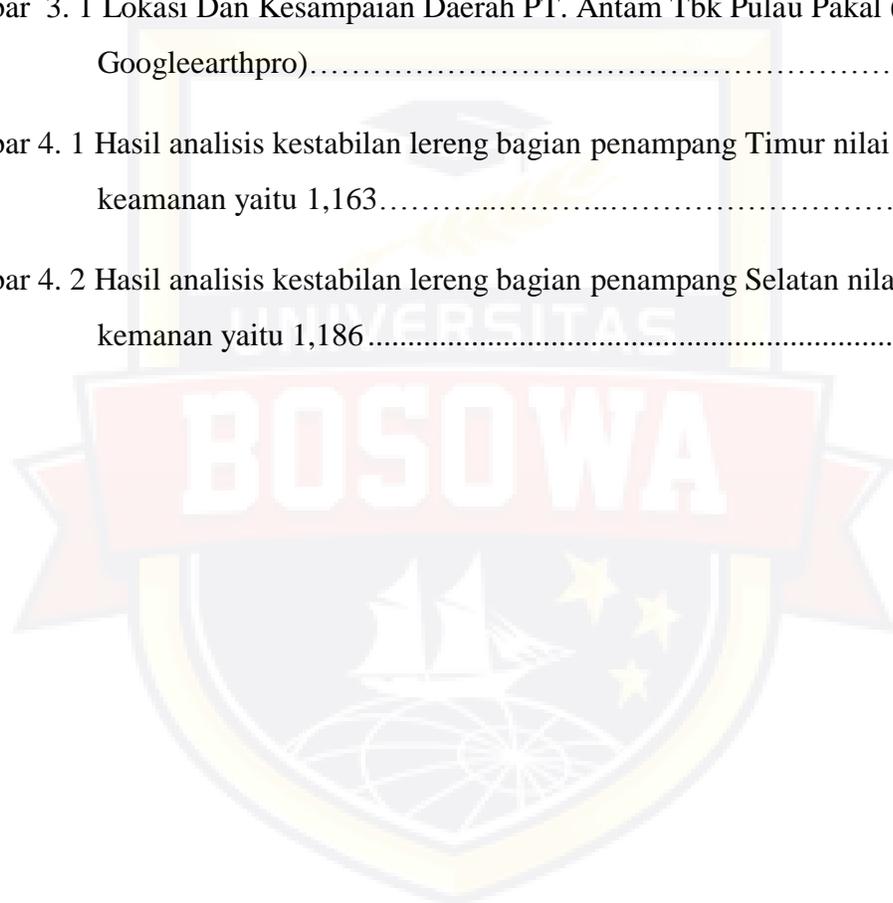
DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang	27
Tabel 4. 1 Data Geometri Lereng.....	36
Tabel 4. 2 Data Nilai Properties Materials.....	37
Tabel 4. 3 Data hasil analisis kestabilan pada penampang Timur dan Selatan.....	39
Tabel 4. 4 Hasil simulasi optimasi lereng mengubah sudut overall slope dan adanya water table.....	40
Tabel 4. 5 Hasil simulasi optimasi lereng mengubah tinggi overall slope dan adanya water table.....	41



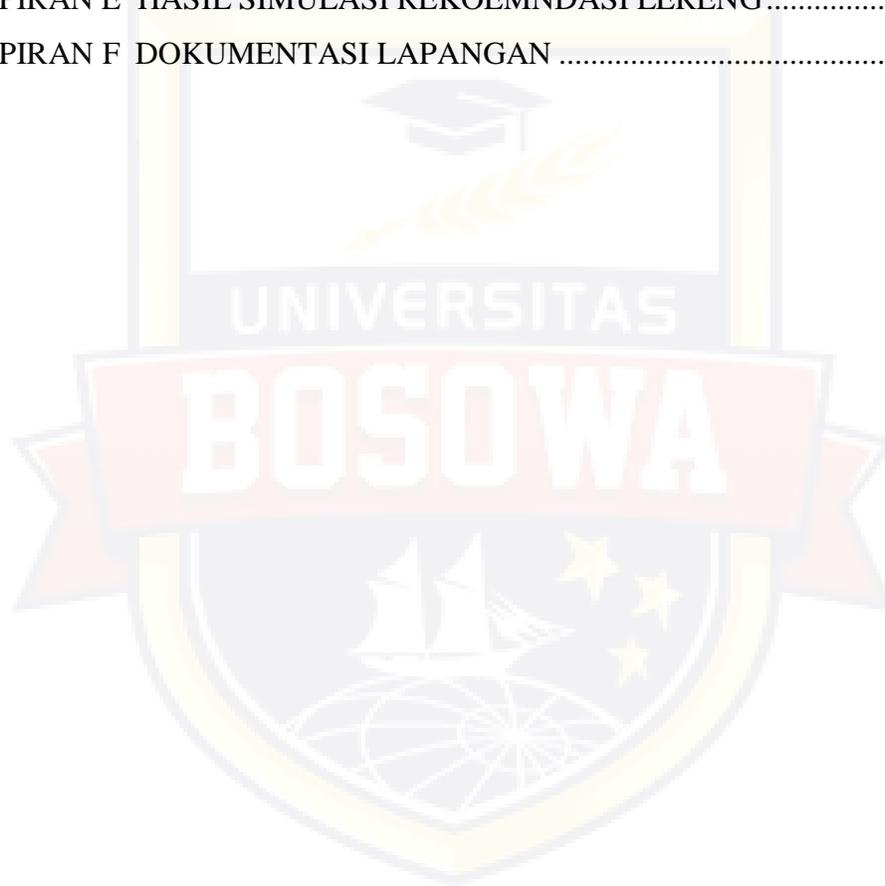
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Geologi Regional Daerah Tanjung Buli dan sekitarnya (sumber: Apandi dan Sudana,1980).....	8
Gambar 2. 2 Peta Geologi Pulau Pakal (sumber: Aditya,2013).....	12
Gambar 2. 3 Gambar Flow Chart Hoek and Bray.....	24
Gambar 3. 1 Lokasi Dan Kesampaian Daerah PT. Antam Tbk Pulau Pakal (sumber : Googleearthpro).....	31
Gambar 4. 1 Hasil analisis kestabilan lereng bagian penampang Timur nilai faktor keamanan yaitu 1,163.....	38
Gambar 4. 2 Hasil analisis kestabilan lereng bagian penampang Selatan nilai faktor kemanan yaitu 1,186.....	38



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A PETA RENCANA KERJA	54
LAMPIRAN B LOKASI LERENG FRONT MAFHIA	55
LAMPIRAN C DATA NILAI PROPERTIES MATERIALS	59
LAMPIRAN D HASIL ANALISIS KESTABILAN LERENG	60
LAMPIRAN E HASIL SIMULASI REKOEMNDASI LERENG	63
LAMPIRAN F DOKUMENTASI LAPANGAN	71



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia secara regional berada pada dua buah lempeng besar yaitu lempeng Pasifik di Utara dan lempeng Australia di Selatan. Akibat tumbukan kedua lempeng tersebut, telah menempatkan Indonesia menjadi salah satu wilayah Negara yang rawan dengan bencana gempa bumi, tsunami dan letusan gunung berapi. Namun, dibalik bencana alam akibat tumbukan dua lempeng tersebut, membawa hikmah yang tak ternilai harganya. Akibat aktifitas pergerakan kedua lempeng tersebut pulalah akhirnya menghasilkan tatanan tektonik yang lengkap. Kondisi geologi demikian mendukung pembentukan mineralisasi berbagai mineral atau bahan galian berharga sebagai anugerah Tuhan YME yang patut disyukuri, misalnya mineral logam dan lain-lain (Sujono, 2004).

Kestabilan lereng merupakan faktor vital dalam perencanaan dan operasional tambang terbuka dan kuari. Dalam penyusunan suatu rencana tambang, selain faktor cadangan, teknis penambangan, ekonomi dan lingkungan, faktor kestabilan lereng juga menjadi faktor penting yang harus diperhitungkan dengan teliti. Lereng merupakan suatu bidang dipermukaan tanah yang menghubungkan permukaan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah. Lereng dapat terjadi secara alami ataupun karena buatan manusia dengan tujuan tertentu.

Salah satu pemicu terjadinya peristiwa kelongsoran adalah karena hujan yang lebat sehingga terjadi pembasahan pada tanah yang mengakibatkan berkurangnya kekuatan geser tanah karena butir-butir tanah menyerap air. Penyerapan air ini seiring dengan waktu sampai terjadi jenuh sehingga tanah menjadi tidak stabil dan akhirnya terjadi kelongsoran.

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 Propinsi 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.

Sehubungan dengan uraian diatas diperlukan suatu kajian terhadap kestabilan lereng untuk menghasilkan ketinggian dan kemiringan lereng yang aman sebagai salah satu saran bagi perencana tambang yang merencanakan bagi operasi penambangan

yang akan dilakukan. Analisis keamanan dilakukan pada lereng tunggal dengan memperhatikan faktor-faktor yang berpengaruh pada lereng dimana operasi penambangan akan dilakukan.. Dengan ini penulis tertarik melakukan penelitian yang berjudul “**Analisis Kestabilan Lereng Di Front Penambangan Mafhia Pada PT. Antam Tbk Kabupaten Halmahera Timur Provinsi Maluku Utara**”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang menjadi pokok penelitian yaitu:

1. Bagaimana kondisi lereng di Front penambangan Mafhia bagian Timur dan Selatan di pada PT. Antam Tbk ?
2. Bagaimana faktor keamanan dari lereng front Mafhia di Pulau Pakal pada PT. Antam Tbk ?
3. Bagaimana optimasi geometri lereng di Front penambangan Mafhia bagian Timur dan Selatan pada PT. Antam Tbk ?

C. Batasan Masalah

Untuk penelitian ini dibatasi masalah 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. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode *fellinius*.

4. Tidak dipengaruhi faktor gempa (statis).
5. Rancangan lereng optimasi dibuat dengan bantuan *software Rocscience Slide 6.0*.
6. Penelitian ini hanya memperhatikan segi teknis.

D. Tujuan Penelitian

Adapun penelitian yang dilakukan oleh penulis mempunyai beberapa tujuan, yaitu:

1. Mengetahui kondisi lereng di Front penambangan Mafhia bagian Timur dan Selatan pada PT. Antam Tbk.
2. Mengetahui faktor keamanan dari lereng front Mafhia di Pulau Pakal pada PT. Antam Tbk.
3. Melakukan simulasi geometri lereng di Front Penambangan Mafhia bagian Timur dan Selatan PT. Antam Tbk.

E. Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini dapat diperoleh manfaat antara lain:

1. Diharapkan penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan input bagi mahasiswa yang melakukan penelitian tentang kestabilan lereng.
2. Sebagai bahan pembelajaran dan pengetahuan bagi perusahaan dan masyarakat sekitar lokasi penelitian untuk mengetahui aman atau tidaknya suatu lereng.

F. Penelitian Terdahulu

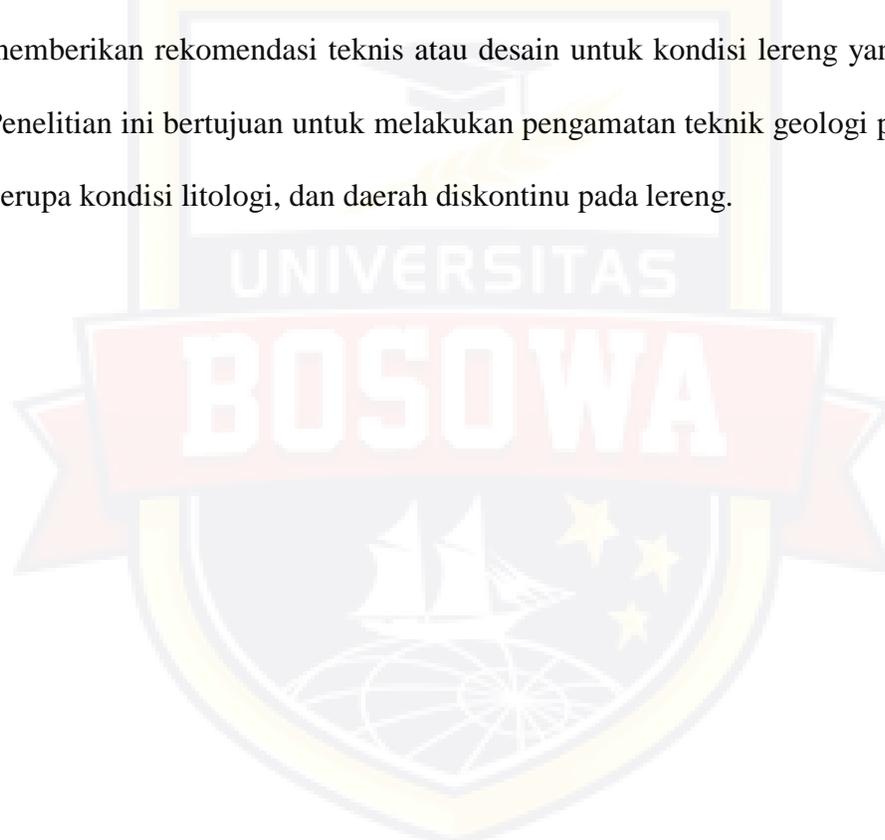
1. Syakinah Hasibuan, Bambang Heriyadi (2020) Analisis Balik Kestabilan Lereng Bekas Disposal Area Dengan Menggunakan Metode *Bishop* di Tambang PT. Nusa

Alam Lestari di Desa Salak, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yaitu hasil analisis balik pada tanah dan nilai faktor keamanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keamanan pada lereng.

2. Beka Matias Djaha (2022) Meneliti Mengenai Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop Pada Batuan Lempung di Ruas Jalan Desa Tolnaku, Kecamatan Fatuleu Tengah, Kabupaten Kupang Nusa Tenggara Timur.
3. Octovian Cherianto Parluhutan Rajagukguk Turangan A.E, Sartje Monintja (2014) Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode *Bishop* (Studi Kasus: Kawasan Citraland sta.1000m). penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yaitu Analisis kestabilan lereng didapat berdasarkan nilai faktor keamanan dari suatu lereng menggunakan program Rocscience Slide 6.0. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan faktor keamanan pada lereng didaerah Citraland masih memenuhi syarat.
4. Violetta Gabriella Margaretha Pangemanan, Turungan A. E., Oktavian B. A. Sompie (2014) Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode *Fellinius* (Studi Kasus : Kawasan Citraland). Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yaitu menghitung besarnya kekuatan geser untuk mempertahankan kestabilan lereng dan menghitung kekuatan geser yang menyebabkan kelongsoran kemudian keduanya dibandingkan. Dari perbandingan yang ada didapat nilai Faktor Keamanan yang merupakan nilai kestabilan lereng yang dinyatakan dalam angka.

Penelitian ini bertujuan untuk Mengetahui kestabilan lereng berdasarkan perhitungan faktor keamanan dengan metode Fellenius.

5. Hedianto, A. Al'faizah Ma'rief, Enni Tri Mahyuni (2022) Analisis Kestabilan Lereng Metode *Morgenstern-Price* Jalan Poros Malino – Sinjai Kabupaten Gowa. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yaitu Melakukan analisis stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak dengan metode Morgenstern-Price, dan memberikan rekomendasi teknis atau desain untuk kondisi lereng yang diamati. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengamatan teknik geologi pada lereng berupa kondisi litologi, dan daerah diskontinu pada lereng.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Geologi Regional

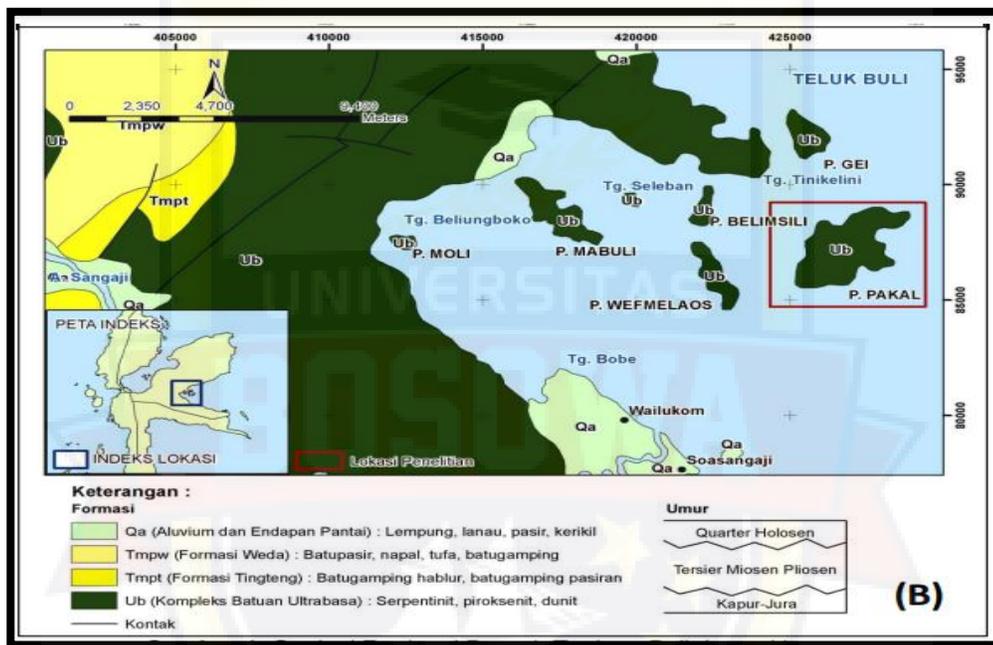
1. Geomorfologi

Daerah Halmahera yang meliputi Halmahera bagian tengah, deretan pulau di sebelah barat, dan pulau kecil di sebelah timurnya di bagi menjadi 3 mendala fisiografi. Halmahera bagian tengah yaitu termasuk sebagai dari lengan utara, Sebagian dari lengan selatan, Sebagian dari lengan timur laut, dan seluruh lengan tenggara. (T.Apandi dan D. Sunada,1976)

Lengan timur laut dan lengan Tenggara Halmahera, termasuk beberapa pulau kecil di sebelah Timurnya, merupakan mandala fisiografi Halamahera Timur. Lengan Utara dan lengan Selatan membentuk mandala fisiografi Halmahera barat, dan deretan pulau di sebelah baratnya merupakan busur kepulauan gunung api kwater yang membentuk mandala busur kepulauan semua mandala fisiografi ini berhubungan erat dengan mandala geologinya. (PT. Antam,Tbk Unit Geomin 1976)

Bagian terbesar mandala fisiografi Halmahera Timur terdiri dari pengunungan berlereng curam dengan toeran sungai yang dalam dan Sebagian bermorfologi karat. Morforlogi pegunungan berlereng curam merupakan cerminan batuan ultrabasa, batuan sedimen, serta batuan gunung api oligo–miosen dan lebih tua. Morfologi karat terdapat pada daerah batu gamping, baik yang berumur paleosen–eosin, oligo–miosen maupun miosen–paleosen. Batuan sedimen Miosen–Pliosen membentuk morfologi dengan perbukitan yang relatif lebih rendah dan lerengnya yang lebih landau daripada batuan yang lebih tua. Hubungan antara Mendala Halmahera Timur dan Mendala Halmahera Barat berupa jalur tektonik yang kuat berbatuan sedimen neogen. Perlipatan kuat dan

persesaran terdapat pada jalur ini. Mandala Busur Kepulauan merupakan deretan pulau di sebelah Barat Halmahera yang membentuk busur kepulauan gunung api Kuarter. Sebagian besar pulaunya terbentuk kerucuk gunung api yang masih bekerja, seperti Gunung Gamalama , Gunung Tidore , dan Gunung Makian. (T.Apandi dan D. Sunada,1976)



Gambar 2. 1 Peta Geologi Regional Daerah Tanjung Buli dan sekitarnya (sumber: Apandi dan Sudana,1980)

2. Stratigrafi

Berdasarkan peta geologi lembar Ternate, Maluku Utara (T. Apandi,1976) daerah Halmahera terdiri dari Mendala geologi Halmahera timur, mandala geologi Halmahera barat dan busur kepulauan gunung api kuarter, dimana untuk mendala

geologi yang berbeda akan menunjukkan perbedaan dalam jenis batuan dan tektoniknya. Mendala geologi Halmahera timur, terbentuk dari satuan batuan ultrabasa dan satuan batuan beku basa yang mengintrusi satuan batuan ultrabasa serta batuan beku intermediat yang mengintrusi kedua batuan sebelumnya. Adapun satuan batuan ultrabasa ini merupakan satuan batuan penyusun tertua untuk mendala geologi Halmahera Timur. (Elviani, S. 2017).

Satuan batuan Ultra basa ini terdiri dari batuan serpentinit, piroksenit, dan nunit, mengandung asbes dan garnierit. Pada satuan ini teramati batuan mata sedimen dan rijang, posisinya terjepit di antara sesar di dalam batuan ultrabasa. Adapun satuan batuan ini dinamakan sebagai formasi watileo dan hubungannya dengan satuan batuan yang lebih muda berupa bidang ketidakselarasan atau berupa sesar naik. (Bessho,1944). Satuan Batuan Beku Basa ini terdiri dari batuan gabro piroksin, gabro homblende, dan gabro olivine, tersingapo di dalam kompleks satuan Batuan Ultra Basa. Adapun satuan batuan ini di namakan seri wato – wato. Satuan Batuan Intermediate ini terdiri dari batuan diorit kuarsa dan diorit homblende, tersingkap juga dalam kompleks batuan ultrabasa selain itu teramati retas andesit dan diorit yang tidak terpetakan. Berhubungan dengan kuarsa dan pirit di daerah formasi bacan.

Batuan tertua ini, ditutupi oleh Formasi Dodaga yang berumur kapur secara tidak selaras, dan tersusun oleh seroih berselingan dengan batu gamping coklat muda dan sisipan rijang. Selain itu ditutupi oleh batuan yang berumur paleose–Eosen yaitu formasi Dorosagu, satuan Konglomerat dan satuan Batuan Gamping. (T.Apandi dan D. Sunada,1976). Satuan batuan gamping ini berumur Paleosen - Eosen dipisahkan

dengan batuan yang lebih tua (ultrabasa) oleh ketidakselarasan dan dengan batuan yang lebih muda oleh sesar, tebal ± 400 meter. (Bessho, 1944)

Formasi Dorosagu ini terdiri dari batu pasir berselingan dengan serpih merah, batu gamping. Formasi ini berumur Paleosen – Eosen. Hubungan dengan batuan yang lebih tua (ultrabasa) berupa ketidakselarasan dan sesar naik, tebal ± 250 meter. Formasi ini identik dengan Formasi Saolat. Satuan Konglomerat ini tersusun oleh batuan Konglomerat dengan sisipan batu pasir, batu lempung dan batu bara. Satuan ini berumur kapur atas dan tebalnya > 50 meter. Hubungannya dengan batuan yang lebih tua (ultrabasa) dan batuan yang lebih muda (formasi Tingteng) adalah ketidakselarasan sedangkan dengan batu gamping hubungannya menjemari.

Setelah rumpang pengendapan sejak Eosen–Oligosen Awal, baru terjadi aktivitas gunung api Oligosen Atas–Miosen Bawah membentuk rempah–rempah yang disatukan sebagai formasi Bacan. (Apani dan Sudana, 1980)

3. Struktur Geologi

Secara geologi dan tektonik Halmahera cukup unik, karena pulau ini terbentuk dari pertemuan 3 lempeng, yaitu Eurasia, 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.

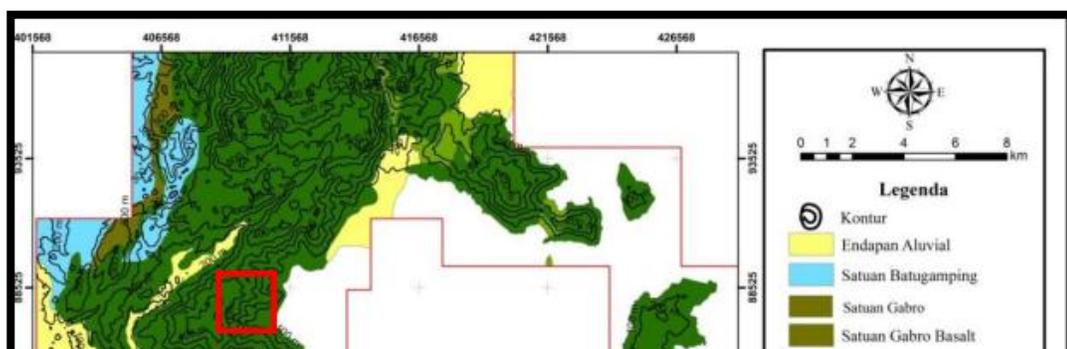
Struktur sesar terdiri dari sesar normal dan sesar naik umumnya berarah Utara-Selatan dan Barat Laut-Tenggara. Kegiatan tektonik dimulai pada Kapur Awal dan Awal Tersier, ketidakselarasan antara batuan berumur Paleosen-Eosen dengan batuan berumur Eosen-oligosen Awal, mencerminkan kegiatan tektonik sedang berlangsung kemudian diikuti kegiatan gunung api. Sesar naik akibat tektonik terjadi pada jaman Eosen- Oligosen.

B. Geologi Lokal

1. Geomorfologi Lokal

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 morfologi karst. 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.

Area ini terdapat pegunungan curam dengan titik tertinggi di Bukit Saolat yang mencapai 1508 mdpl. Batuan dasar dari lengan timur laut terdiri dari dismembered ultrabasic-basic rocks complex dengan variable low grade metamorphic overprint dan terinterkalasi dengan sedimen Mesozoik dan Eosen.(Amuzigi,2015)



Gambar 2. 2 Peta Geologi Pulau Pakal (sumber: Aditya,2013)

2. Stratigrafi

Statigrafi daerah inventarisasi disusun oleh kompleks batuan ultrabasa, batuan vulkanik Formasi Bacan dan batuan sedimen Formasi Weda Komplek batuan ultrabasa (Ub) merupakan tertua diperkirakan berumur Kapur yang terdiri dari serpentinit, piroksenit dan dunit umumnya berwarna hitam, getas, kebanyakan terpecah, terbreksikan, setempat mengandung asbes dan garnierit. Basal didalam kompleks ini berwarna kelabu kehitaman getas kebanyakan terbreksikan dan terpecah. Batuan metamorf dan rijang terdapat di beberapa tempat yang tak terpetakan Batuan Vulkanik adalah formasi Bacan (Tomb) diendapkan kala Oligosen - Miosen Bawah terdiri dari lava, breksi dan tufa, dengan sisipan konglomerat dan batupasir. Breksi gunung api, kelabu kehijauan dan coklat, ummnya terpecah, mengandung barik kuarsayang Sebagian berpirit. Breksi memiliki komponen andesit prioksen, kristal halus, afanitik kelabu, porfiritik berwarna merah dengan piroksen sebagai fenokrisnya, andesit

piroksen warna kehijauan, basal porfiritik kelabu tua dengan fenokris piroksen dan feldspar. (Amuzigi,2015; Kisman dkk,2007)

3. Struktur Geologi

Mandala geologi Halmahera Timur terbentuk oleh satuan ultra basa yang cukup luas. Batuan sedimen berumur kapur dan paleosen – Eosen diendapkan tak selaras di atas batuan ultrabasa. Setelah rumpang pengendapan Eosen akhir hingga Oligosen Awal kegiatan gunung api terjadi selama Oligosen Atas– Miosen Bawah. Batuan gunung api formasi Bacan ini terlampar luas di Mandala Halmahera Timur dan Mandala Halmahera Barat, bersamaan dengan terbentuk pula batuan karbonat. Terdapat cekungan yang cukup luas berkembang sejak Miosen Atas– Pliosen di dalam cekungan tersebut terdapat batu pasir berselingan dengan napal, tufa, konglomerat yang membentuk formasi Weda dan batuan karbonat yang membentuk formasi tingteng. Pada jaman terjadi pengangkatan sebagaimana yang di tunjukan oleh batu gamping terumbu di pantai daerah lengan Timur Halmahera.(Kisman,2007)

Struktur geologi Pulau Pakal terjadi terutama pada litologi satuan batuan dunit dan harzburgit yang dicirikan dengan indikasi struktur yang kuat dijumpai pada singkapan batuan tersebut berupa kekar dan retakan (Rinawan, 2012). Indikasi struktur baik pada batuan dunit maupun harzburgit berkaitan adanya kekar dan retakan yang diindikasikan sebagai kriteria persyaratan terbentuknya laterit nikel di daerah tropis (Ahmad, 2006). Melalui bidang-bidang sesar, kekar, dan retakan akan menyebabkan kemudahan perkolasi air sehingga terjadinya pelapukan batuan. Satuan batuan dunit

terangkat oleh struktur sesar naik memotong satuan batuan harzburgit dengan arah jurus struktur NNW-SSE terdapat pada bagian barat daya Pulau Pakal. Tersingkapnya satuan batuan dunit di permukaan dikarenakan batuan di atasnya tererosi. Satuan batuan harzburgit terangkat oleh struktur sesar naik memotong satuan batuan harzburgit dengan arah jurus struktur NNW-SSE terdapat memanjang di bagian tengah Pulau Pakal.

C. Landasan Teori

1. 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).

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 :

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

2. Faktor yang mempengaruhi Kemantapan Lereng

a. 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)

b. 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)

c. 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 singkapansingkapapan yang mempercepat proses pelapukan. Batuan akan mudah lapuk dan mempengaruhi kekuatan batuan. Pada akhirnya kekuatan batuan menjadi kecil sehingga kemantapan lereng berkurang.

d. 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)

e. 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 berimbang pada berkurangnya gaya tahan dalam tubuh lereng dan dapat memicu pada kekristisan lereng hingga kelongsoran
- 2) Ait 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.

f. 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 dimana 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)

g. 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 batuan 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)

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

3. 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 longsoran) lebih besar dari gaya penggerak, lereng tersebut akan berada dalam kondisi yang stabil (aman). Namun, apabila gaya penahan menjadi lebih kecil dari gaya penggeraknya, lereng tersebut akan menjadi tidak stabil dan akan terjadi longsoran. Longsoran merupakan suatu proses alamiah yang terjadi untuk mendapatkan kondisi kestabilan lereng yang baru (keseimbangan baru), dimana gaya penahan lebih besar dari gaya penggeraknya. (Syakinah H, 2020)

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:

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

Dimana:

F = faktor kestabilan lereng

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

F_p = 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.

4. Metode Kestabilan Lereng

a. 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.

b. 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 :

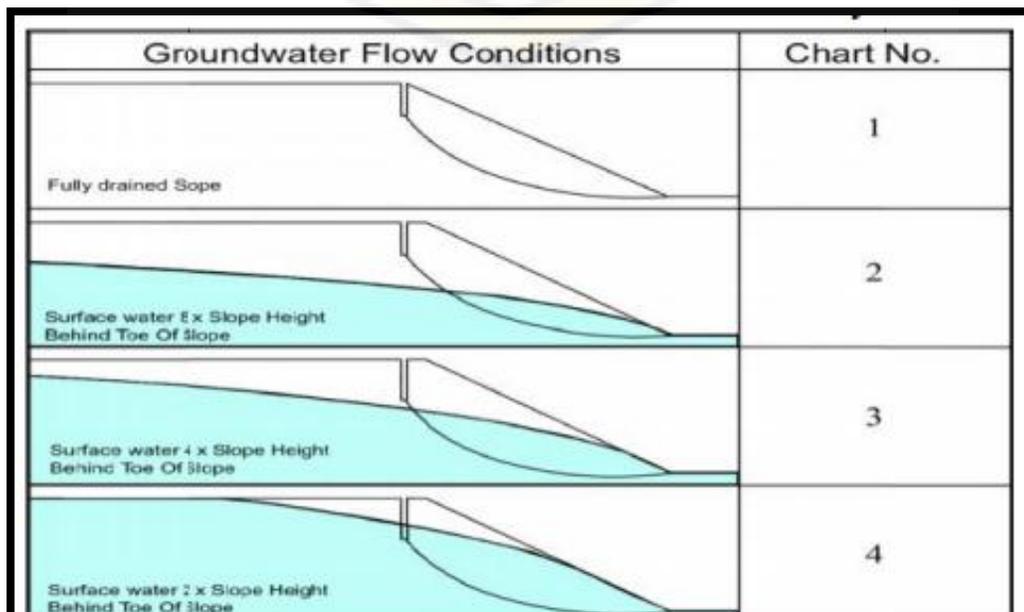
$$FS = \frac{\sum X / (1 + Y / FS)}{EZ + Q} \dots\dots\dots (2)$$

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).

c. Metode Hoek and Bray

Metode Hoek and Bray adalah salah satu metode grafik yang menggambarkan lima buah pola aliran tanah dari kondisi kering sampai kondisi jenuh. Metode Hoek and Bray sendiri tergantung pada:(Mentiani,2019)

- 1) Jenis tanah dan batuan, dalam hal ini tanah dan batuan dianggap homogen dan kontinu
- 2) Longsoran yang dapat terjadi menghasilkan bidang luncur berupa busur lingkaran.
- 3) Tinggi permukaan air tanah pada lereng.



Gambar 2. 3 Gambar Flow Chart Hoek and Bray

5. 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)

- a. Memperkecil gaya penggerak atau momen penyebab longsor. Gaya atau momen penyebab longsor dapat diperkecil dengan cara merubah bentuk lereng, yaitu dengan cara:
 - 1) Merubah lereng lebih datar atau memperkecil sudut kemiringan
 - 2) Memperkecil ketinggian lereng
 - 3) Merubah lereng menjadi lereng bertingkat (*multi slope*)
- b. Memperbesar gaya lawan atau momen penahan longsor. Gaya lawan atau momen penahan longsor dapat diperbesar dengan beberapa cara yaitu:
 - 1) Menggunakan counter weight yaitu tanah timbunan pada kaki lereng. Cara ini mudah dilaksanakan asalkan terdapat tempat dikaki lereng untuk tanah timbunan tersebut.
 - 2) Dengan mengurangi air pori di dalam lereng.
 - 3) Dengan cara mekanis yaitu dengan memasang tiang pancang atau tembok penahan tanah.

Adapun langkah-langkah atau cara menggunakan program Slide 6.0 sebagai berikut:

- a. Buka program *Software Rosience Slide 6.0*.
- b. Klik analisis, pilih *project settings*, pilih metode yang ingin digunakan.
- c. Klik *boundaries*, pilih *add external boundary*, masukkan koordinat (x,y) untuk membuat lereng.
- d. Klik *properties*, pilih *define materials*, masukkan nama *materials*, masukkan jenis material yaitu berupa kohesi, sudut geser dalam dan berat isi tanah.

- e. Klik *surfaces*, pilih *auto gride*.
- f. Klik *analysis*, pilih *compute*, klik *yes*, lalu *save*.
- g. Untuk melihat hasilnya klik *analysis*, pilih interpret.

6. Klasifikasi Faktor Keamanan

a. Kriteria keparahan longsor (consequences of failure) :

- 1) 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; dan/atau
 - f) Kerusakan lingkungan yang berdampak sampai ke luar wilayah IUP termasuk pemukiman;
- 2) 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; dan/atau

- e) Kerusakan lingkungan di dalam wilayah IUP.
- 3) Rendah bila ada konsekuensi terhadap:
- a) Cidera ringan manusia;
- b) Kerusakan sarana dan prasarana pertambangan kurang dari 25% (dua puluh lima persen); dan/atau
- c) Terhentinya produksi kurang dari 12 (dua belas) jam;

Tabel 2. 1 Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang

Sumber : Kepmen ESDM No. 1827

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



BAB III

METODE PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian dirumuskan dengan tujuan adanya arah yang jelas dan target yang hendak dicapai dalam penelitian jika tujuan penelitian jelas dan terumuskan dengan baik maka penelitian dan pemecahan masalah akan berjalan dengan baik. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode kuantitatif Yang dimana penelitian kuantitatif adalah upaya seorang peneliti menemukan pengetahuan dengan memberi data berupa angka. Angka yang diperoleh digunakan untuk melakukan analisa keterangan, sederhananya penelitian kuantitatif adalah penelitian ilmiah yang disusun secara sistematis terhadap bagian-bagian dan untuk menemukan kausalitas keterkaitan (kasiran).

Penelitian kuantitatif memiliki tujuan penting dalam melakukan pengukuran yang merupakan pusat pengukuran. Hal ini dikarenakan hasil dari pengukuran bisa membantu dalam melihat hubungan fundamental antara pengamatan empiris dengan hasil data yang diambil secara kuantitatif. Tujuan lain yakni membantu dalam menentukan hubungan antar variabel dalam sebuah populasi.

B. Lokasi dan Waktu

1. Lokasi

Lokasi daerah yang diteliti adalah di Pulau Pakal yang secara administrasi terletak di Kecamatan Maba Selatan, Kabupaten Hamahera Timur, Provinsi Maluku Utara.

Sedangkan secara geografis terletak di antara $128^{\circ} 19'13''$ - $128^{\circ} 21'01''$ Bujur timur dan $00^{\circ} 46'18''$ - $00^{\circ} 48' 14''$ Lintang Utara. Secara administratif, Pulau Pakal berbatasan dengan:

- a) Sebelah Utara: Kecamatan Buli.
- b) Sebelah Timur : Teluk Buli, Lautan Halmahera dan Samudra Pasifik.
- c) Sebelah Selatan : Kecamatan Patani dan Kecamatan Weda, Kabupaten Halmahera Tengah.
- d) Sebelah Barat: Kecamatan Golowasi dan Kecamatan Maba.

Daerah penelitian dapat dicapai dengan rute dari Makassar-Ternate dengan waktu tempuh $\pm 1,45$ jam dengan menggunakan pesawat. Selanjutnya dari Ternate–Buli dapat ditempuh dengan dua cara perjalanan yaitu: perjalanan darat Ternate menuju Tanjung Buli dengan menggunakan kapal cepat melalui Pelabuhan Sofifi selama ± 1 jam lalu dilanjutkan menggunakan kendaraan beroda dua atau lebih dengan waktu tempuh ± 4 jam, perjalanan udara Ternate–Buli menggunakan pesawat jenis Cassa 212 dengan waktu tempuh ± 30 menit dan dilanjutkan dengan perjalanan darat menggunakan kendaraan beroda dua atau lebih dengan waktu tempuh ± 30 menit.



Gambar 3. 1 Lokasi Dan Kesampaian Daerah PT. Antam Tbk Pulau Pakal (sumber : Google earth pro)

2. Waktu

Penelitian ini dilakukan dalam jangka waktu 2 bulan, yakni bulan Agustus 2022 sampai Oktober 2022.

C. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan di dalam penelitian adalah nilai kekuatan massa batuan, hasil desain lereng, dan nilai pengukuran pada suatu lereng di daerah penelitian serta Software pendukung Geoteknik untuk pengolahan.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Alat tulis
2. Meteran

3. *GPS*
4. *Daypack*
5. *Handphone*
6. Laptop
7. Alat Pelindung Diri

D. Teknik Pengumpulan Data

1. Studi literatur

Meliputi pengumpulan data-data penelitian sebelumnya seperti kondisi geologi, litologi dan topografi daerah penelitian yang menjadi masukan dalam pengambilan data di lapangan.

2. Observasi dan Pengambilan Data

Proses observasi dan pengambilan data dilapangan meliputi kondisi batuan (jenis batuan, tingkat pelapukan batuan, & kondisi rembesan air tanah) di lapangan, data geometri lereng (tinggi lereng, panjang lereng, & kemiringan lereng) pengambilan data koordinat, dan pengambilan sampel di tiap-tiap lokasi pengamatan yang kemudian di analisis di laboratorium.

E. Teknik Pengelolaan Data

Setelah dilakukan pengumpulan data secara keseluruhan yang meliputi studi literatur, pengambilan data di lapangan dan hasil pengujian sampel tufa di penelitian sebelumnya, maka dilakukan persiapan untuk kegiatan pengolahan data-data tersebut

dengan memperhatikan teknik pengolahan data serta metode analisis data yang baik dan sesuai untuk digunakan serta hasil yang didapatkan akan dianalisis secara detail.

Teknik pengolahan data yang dilakukan yaitu setelah semua data telah dirampungkan maka dilakukan pengolahan data, baik secara manual menggunakan metode *fellenius* maupun menggunakan berbagai software yang sesuai digunakan untuk mendapatkan hasil dari nilai faktor keamanan (FK) $>1,20$ yang aman untuk lereng sesuai dengan Kepmen ESDM nomor 1827 Adapun cara yang digunakan yaitu:

a. Pengujian Sampel

Untuk mendapatkan nilai faktor keamanan lereng terlebih dahulu dilakukan pengujian laboratorium. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai parameter yang dibutuhkan menghitung faktor keamanan yaitu bobot isi, sudut geser dalam, dan kohesi.

- 1) Pengujian sifat fisik tanah bertujuan untuk mengetahui nilai dari bobot isi tanah.
- 2) Pengujian sifat mekanik bertujuan untuk mendapatkan nilai sudut geser dalam dan kohesi.

b. Analisa Menggunakan *Software Rosience Slide 6.0*

Pada tahapan penelitian ini menggunakan software pendukung Geoteknik. Tahapan ini melakukan pengoperasian mengenai lereng yang dilakukan optimasi dengan memasukkan data dari nilai parameter yang didapat dari pengujian di laboratorium.

c. Evaluasi Lereng Yang Stabil Menggunakan *Software Rosience Slide 6.0*

Pada tahapan ini, lereng yang telah diketahui nilai faktor keamanan pada kondisi awalnya dilakukan evaluasi, seperti melakukan perubahan geometri lereng berupa lebar *bench*, sudut kemiringan lereng dan juga jarak ketinggian antar elevasi lereng tersebut sehingga didapat nilai faktor keamanan yang stabil.

d. Optimasi Lereng Yang Stabil

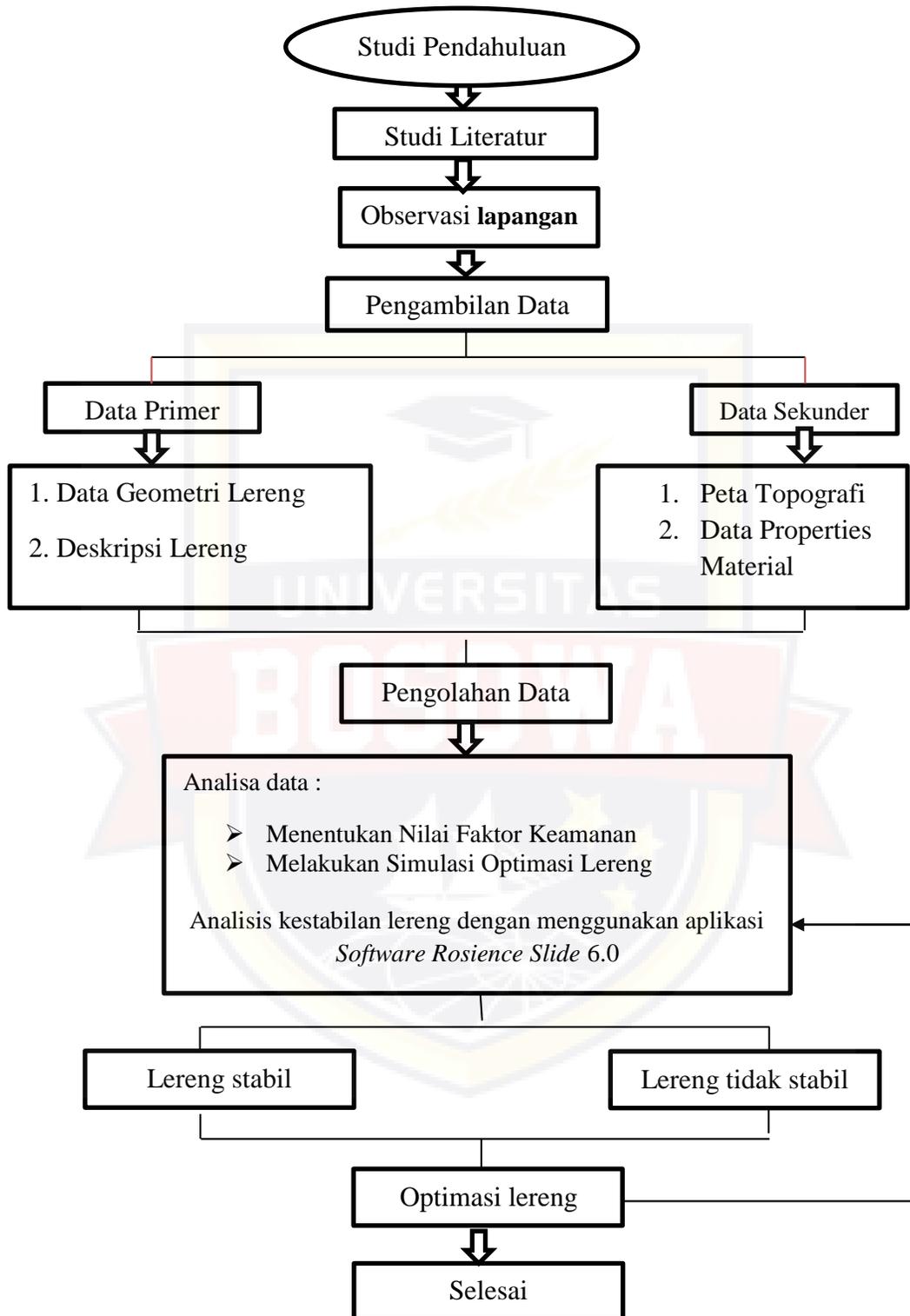
Pada tahapan ini lereng yang telah dievaluasi akan dilakukan optimasi dari nilai faktor keamanan yang kritis ($<1,20$) hingga pada keadaan stabil ($>1,20$). Optimasi lereng yang stabil ini berupa bentuk desain lereng yang telah dilakukan perubahan pada tahapan sebelumnya.

F. Tahap Analisis Data

Setelah semua data yang ada diolah maka selanjutnya dilakukan analisis dengan tujuan memperoleh kesimpulan sementara. Selanjutnya kesimpulan sementara tersebut akan diolah lebih lanjut dalam bagian pembahasan, maka dari itu perlu adanya metode dalam menganalisa data agar data yang diperoleh dapat diolah sesuai dengan hasil tujuan yang akan didapatkan. Adapun inti dalam analisa data pada penelitian ini antara lain:

1. Melakukan analisis balik kestabilan lereng untuk mendapatkan parameter geoteknik.
2. Melakukan analisis tingkat kestabilan lereng dengan menggunakan menggunakan metode *fellinius* dengan dibantu *software Rosience Slide 6.0*

Bagan Alir Tahap Analisis Data



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Kondisi Lereng Aktual

Penelitian dilakukan pada Front Mafhia tambang PT. Antam Tbk, dari pengeboran yang dilakukan pada tahun 2015 yang dekat pada Front Mafhia di dapatkan lapisan batuan penyusun lereng yaitu Topsoil, Limonite, Saprolite, Bedrock. Pada Front Mafhia terdiri dari dua bagian yaitu bagian Timur dan Selatan. Pada bagian Timur terdiri dari 5 bench dengan lebar 2,1 meter dan tinggi overall slope 24 m. Pada bagian Selatan terdiri dari 5 bench dengan lebar 2,1 m dan tinggi overall 30 m. Pada Front Mafhia tidak ditemukan adanya struktur geologi, dan adanya air tanah, tetapi ada crack (rekahan) akibat erosi air.

Tabel 4. 1 Data Geometri Lereng

Penampang	Tinggi (m) Overall Slope	Sudut (°) Overall Slope	Lebar Bench (m)	Tinggi jenjang (m)
Timur	24m	47°	2.1	4.0
Selatan	30m	36°	2.1	5.0

2. Analisis Kestabilan Lereng

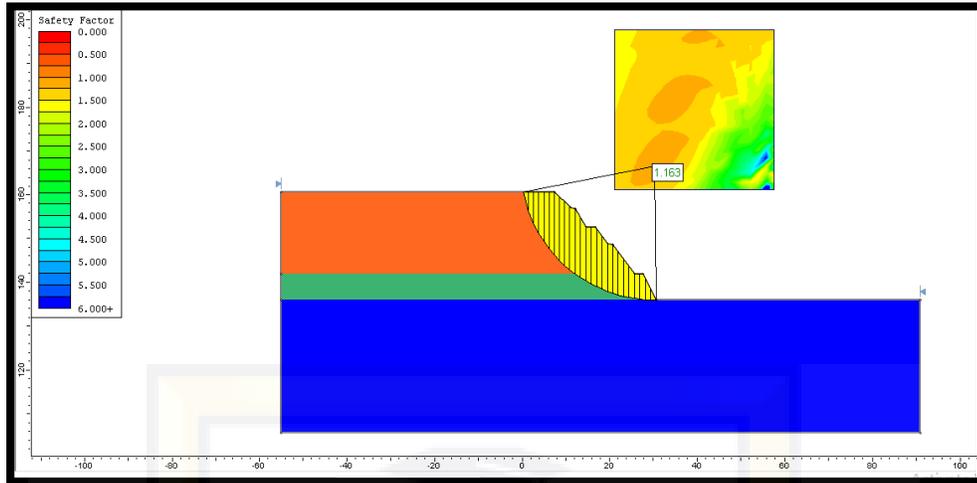
Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan metode *fellenius* karena metode ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode lainnya, diantaranya perhitungan yang sederhana, cepat dan memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup teliti.

Tabel 4. 2 Data Nilai *Properties Materials*

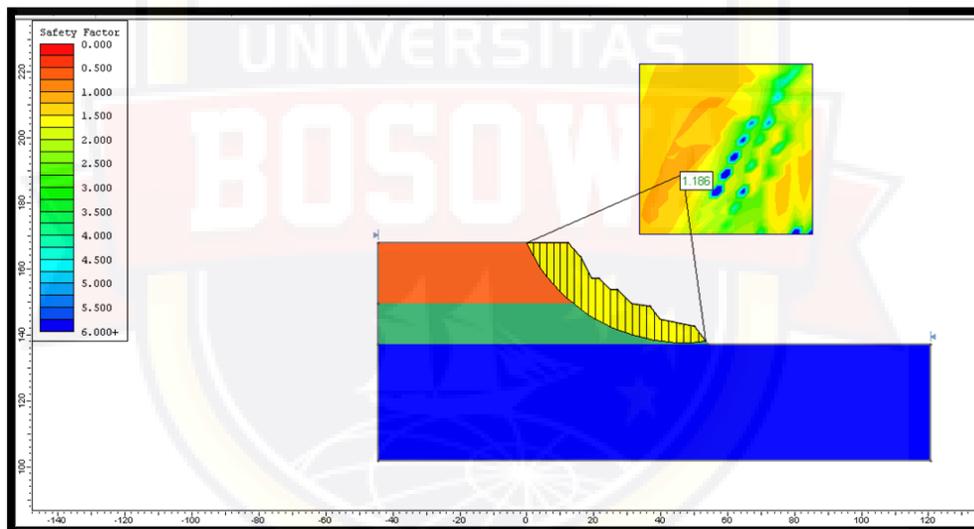
Jenis Material	Parameter Geoteknik	Parameter Statistik				
		Tipe Distribusi	Mean	Std Dev.	Min Relative	Max Relative
limonit	Saturated Unit Weigth (kN/m ³)	-	17.64	-	-	-
	Kohesi (C kN/m ²)	-	70.80	-	-	-
	Sudut Geser Dalam (φ°)	-	11.31	-	-	-
Saprolit	Saturated Unit Weigth (kN/m ³)	-	14.35	-	-	-
	Kohesi (C kN/m ²)	-	7.30	-	-	-
	Sudut Geser Dalam (φ°)	-	24.47	-	-	-
Bedrock	Saturated Unit Weigth (kN/m ³)	-	28.43	-	-	-
	Kohesi (C kN/m ²)	-	85.70	-	-	-
	Sudut Geser Dalam (φ°)	-	82.11	-	-	-

(Sumber PT. Antam Tbk)

Dari data kohesi, sudut geser dalam, dan berat basah / kering batuan serta geometri lereng *front mafhia* maka dapat di cari faktor keamannya menggunakan *software slide*.



Gambar 4. 1 Hasil analisis kestabilan lereng bagian penampang Timur nilai faktor keamanan yaitu 1,163



Gambar 4. 2 Hasil analisis kestabilan lereng bagian penampang Selatan nilai faktor keamanan yaitu 1,186

Tabel 4. 3 Data hasil analisis kestabilan pada penampang Timur dan Selatan

Penampang	Tinggi (m) Overall Slope	Sudut (°) Overall Slope	Lebar Bench (m)	Tinggi jenjang (m)	Faktor Keamana n (FK)	Ket
Timur	24m	47°	2.1	4.0	1.163	Tidak Aman
Selatan	30m	36°	2.1	5.0	1.186	Tidak Aman

3. Optimasi Lereng

Dari perhitungan nilai faktor keamanan kondisi lereng aktual yang menyatakan bahwa kondisi lereng pada bagian Timur (penampang Timur) dan bagian selatan (penampang Selatan) tidak aman, dengan nilai faktor keamanan 1.163 dan 1.186. Karena mengacu pada Kepmen ESDM 1827 lereng dinyatakan aman atau stabil jika faktor keamanan $>1,20$. sehingga membutuhkan simulasi optimasi lereng. Aplikasi yang digunakan untuk melakukan simulasi optimasi lereng yaitu *Software Rosience Slide 6.0* dan menggunakan metode *fellenius* yang ada pada aplikasi dan metode *Hoek and Bray* untuk mensimulasikan adanya data *water table*.

Tabel 4. 4 Hasil simulasi optimasi lereng mengubah sudut overall slope dan adanya *water table*

Penampang	Tinggi (m) Overall Slope	Sudut (°) Overall Slope	Lebar Bench (m)	Tinggi jenjang (m)	Water Table	Faktor Keamanan (FK)	Ket
Timur	24	46	2.4	6.0	-	1.199	Tidak Aman
Timur	24	45	2.5	6.0	-	1.212	Aman
					12 m	0.985	Tidak Aman
					6 m	1.060	Tidak Aman
Timur	24	43	2.6	6.3	-	1.238	Aman
					12 m	1.026	Tidak Aman
					6 m	1.122	Tidak Aman
Timur	24	40	3.0	6.5	-	1.304	Aman
					12 m	1.154	Tidak Aman
					6 m	1.210	Aman
Selatan	30	35	3.5	7.9	-	1.189	Tidak Aman
Selatan	30	34	4.0	8.0	-	1.223	Aman
					15 m	0.912	Tidak Aman
					6 m	1.109	Tidak Aman
Selatan	30	32	4.0	8.6	-	1.267	Aman
					15 m	0.921	Tidak Aman
					6 m	1.136	Tidak Aman
Selatan	30	30	5.0	9.0	-	1.323	Aman
					15 m	0.954	Tidak Aman
					6 m	1.211	Aman

Tabel 4. 5 Hasil simulasi optimasi lereng mengubah tinggi overall slope dan adanya water table

Penampang	Tinggi (m) Overall Slope	Sudut (°) Overall Slope	Lebar Bench (m)	Tinggi jenjang (m)	Water Table	Faktor Keamanan (FK)	Ket
Timur	23	47	2.2	7.3	-	1.198	Tidak Aman
Timur	22	47	2.1	6.5	-	1.247	Aman
					10 m	1.028	Tidak Aman
					5 m	1.148	Tidak Aman
Timur	20	47	2.0	6.0	-	1.328	Aman
					10 m	1.117	Tidak Aman
					5 m	1.219	Aman
Timur	18	47	2.0	5.5	-	1.448	Aman
					10 m	1.117	Tidak Aman
					4 m	1.236	Aman
Selatan	28	36	3.8	7.0	-	1.175	Tidak Aman
Selatan	27	36	3.8	6.8	-	1.201	Aman
					12 m	0.905	Tidak Aman
					6 m	1.083	Tidak Aman
Selatan	25	36	3.5	6.2	-	1.278	Aman
					12 m	0.985	Tidak Aman
					6 m	1.210	Aman

B. Pembahasan

1. Kondisi Lereng Aktual

Pada tahap awal untuk mengetahui kondisi lereng aktual yaitu melakukan observasi lapangan. Yang dimana pada tahap ini beberapa hari dilakukan tinjauan langsung pada lereng aktual agar diketahui letaknya sebelum melakukan pengukuran lereng tersebut. Setelah mengetahui lokasi lereng aktual kemudian dilakukan pengukuran secara langsung pada lereng tersebut. Pada Front Mafhia terdiri dari dua bagian yaitu bagian Timur dan Selatan. Pada bagian Timur terdiri dari 5 *bench* dengan lebar 2,1 meter dan tinggi *overall slope* 24 m. Pada bagian Selatan terdiri dari 5 *bench* dengan lebar 2,1 m dan tinggi *overall* 30 m. Pada *Front Mafhia* tidak ditemukan adanya struktur geologi, adanya air tanah, tetapi ada crack (rekahan) akibat erosi air. Seperti pada tabel 4.1

Setelah melakukan pengukuran geometri lereng, selanjutnya mendeskripsikan lereng bertujuan untuk mengetahui pembagian profil laterit, persebaran tanah/boulder, karakteristik boulder yang ada pada lereng yang di ukur. Data deskripsi lereng tersebut berpengaruh pada saat menghitung faktor keamanan. Pada bagian Timur dan Selatan terdapat lapisan penyusun tanah yaitu topsoil, limonit, saprolit, dan bedrock.

Pada bagian topsoil berada pada lapisan paling atas tanahnya berwarna coklat, ditandai dengan adanya akar tumbuhan dan dominan tanah disertai dengan adanya batuan. Bagian kedua penyusun tanah yaitu lapisan limonit berada pada *bench* kedua setelah lapisan topsoil. Tanahnya berwarna merah kecoklatan dan mengandung *oksida* besi yang umumnya dalam bentuk senyawa *goethite*.

Lapisan tanah selanjutnya yaitu saprolite yang merupakan bagian paling penting karena mengandung mineral seperti *serpentin*, *garnierit*. Tanahnya berwarna coklat kuning kemerahan, selanjutnya lapisan terakhir yaitu bedrock yang hampir keseluruhannya batuan, dan batuan berwarna putih corak hitam.

Setelah mengetahui data kondisi lereng aktual dengan melakukan pengukuran langsung geometri lereng dan mendeskripsikan lereng, yang berguna sebagai data awal untuk menganalisis kestabilan lereng atau menghitung nilai faktor keamanan.

2. Analisis Kestabilan Lereng

Pada tahap analisis kestabilan lereng atau menghitung nilai faktor keamanan dilakukan menggunakan metode *fellenius* yang ada pada aplikasi *slide software* 6.0. karena metode ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode lainnya, diantaranya perhitungan yang sederhana, cepat dan memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup teliti. Adapun data yang digunakan pada analisis kestabilan lereng untuk menghitung nilai faktor keamanan yaitu data lereng aktual yang sudah di ukur langsung dilapangan dan nilai material *properties* terdiri kohesi, sudut geser dalam yang didapatkan dengan cara pengeboran pada tahap awal penambangan.

Ada dua penampang yang akan dihitung nilai faktor keamanan, pada Front Mafhia bagian Timur dan Selatan. Setelah dilakukan perhitungan nilai faktor keamanan menggunakan aplikasi *slide software* 6.0 dengan memasukkan data geometri lereng dan nilai *materials properties* didapatkan nilai faktor keamanan Pada penampang Timur yaitu 1,163 dan pada penampang Selatan yaitu 1,186. Seperti pada tabel 4.3

menurut Kepmen ESDM nomor 1827 lereng dinyatakan aman jika faktor keamanan $>1,2$. Sehingga perlu adanya perbaikan lereng atau optimasi supaya mengetahui lereng yang aman dan tidak terjadinya longsor.

3. Optimasi Lereng

Dari perhitungan nilai faktor keamanan kondisi lereng aktual yang menyatakan bahwa kondisi lereng pada penampang Timur dan penampang selatan tidak aman, karena menurut Kepmen ESDM nomor 1827 lereng dinyatakan aman jika faktor keamanan $>1,20$. sehingga membutuhkan optimasi lereng yang sesuai. Pada penampang Timur dan Selatan optimasi yang dilakukan dua kali dengan megubah variabel sudut *overal slope* dan variabel tinggi *overall slope* dan variabel tetap pada sudut *overall slope*.

Pada optimasi lereng dengan mengubah tinggi *overal slope* dilakukan 7 kali simulasi yaitu 4 kali pada penampang Timur dan 3 kali pada penampang Selatan. Pada penampang Timur dengan tinggi lereng awal yaitu 24 meter, maka simulasi optimasi lereng dilakukan pada tinggi 23, 22, 20, dan 18meter. Hasil dari simulasi penampang timur pada tinggi 23 meter menghasilkan nilai faktor keamanan yaitu 1,199. Pada tinggi 22 meter menghasilkan nilai faktor keamanan yaitu 1,247. Kemudian pada tinggi 20 meter menghasilkan nilai faktor keamanan yaitu 1,328, dan pada tinggi 18 meter menghasilkan nilai faktor keamanan yaitu 1,448.

Pada penampang Selatan dengan tinggi lereng awal yaitu 30 meter, maka simulasi optimasi lereng dilakukan pada tinggi 28, 27, dan 25 meter. Hasil dari simulasi

penampang Selatan pada tinggi 28 meter menghasilkan nilai faktor keamanan yaitu 1,175. Pada tinggi 27 meter menghasilkan nilai faktor keamanan yaitu 1,201. Dan pada tinggi 25 meter menghasilkan nilai faktor keamanan yaitu 1,278.

Hasil dari optimasi lereng dengan mengubah tinggi overal slope dilakukan 7 kali simulasi yaitu 4 kali pada penampang Timur dan 3 kali pada penampang Selatan. Pada penampang Timur didapatkan titik optimal kestabilan lereng pada tinggi 22 meter dengan nilai faktor keamanan yaitu 1,247. Dan pada penampang Selatan di dapatkan titik optimal kestabilan lereng pada tinggi 27m dengan nilai faktor keamanan yaitu 1,201. Seperti pada tabel 4.4

Selanjutkan optimasi lereng dengan mengubah sudut overall slope dilakukan 8 kali simulasi yaitu 4 kali pada penampang Timur dan 4 kali pada penampang Selatan. Pada penampang Timur dengan sudut lereng awal yaitu 47 derajat, maka simulasi optimasi lereng dilakukan pada sudut 46, 45, 43, dan 40 derajat. Hasil dari simulasi penampang timur pada sudut 46 derajat menghasilkan nilai faktor keamanan yaitu 1,199. Pada sudut 45 derajat menghasilkan nilai faktor keamanan yaitu 1,247. Kemudian pada sudut 43 derajat menghasilkan nilai faktor keamanan yaitu 1,238, dan pada sudut 40 sudut menghasilkan nilai faktor keamanan yaitu 1,304.

Pada penampang Selatan dengan sudut lereng awal yaitu 36 derajat, maka simulasi optimasi lereng dilakukan pada sudut 35, 34, 32, dan 30 derajat. Hasil dari simulasi penampang Selatan pada sudut 35 derajat menghasilkan nilai faktor keamanan yaitu 1,189. Pada sudut 34 derajat menghasilkan nilai faktor keamanan yaitu

1,223. Kemudian pada sudut 32 derajat menghasilkan nilai faktor keamanan yaitu 1,267, dan pada sudut 30 sudut menghasilkan nilai faktor keamanan yaitu 1,323.

Hasil dari optimasi lereng dengan mengubah sudut overal slope dilakukan 8 kali simulasi yaitu 4 kali pada penampang Timur dan 3 kali pada penampang Selatan. Pada penampang Timur didapatkan titik optimal kestabilan lereng pada sudut 45 derajat dengan nilai faktor keamanan yaitu 1,212. Dan pada penampang Selatan di dapatkan titik optimal kestabilan lereng pada sudut 34 derajat dengan nilai faktor keamanan yaitu 1,223. Seperti pada tabel 4.5

Dari hasil simulasi optimasi lereng pada penampang Timur dan Selatan di front Mafhia menghasilkan titik titik optimal nilai faktor keamanan. Pada penampang Timur dengan mengubah variabel tinggi overall slope menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 1,247. Sedangkan dengan mengubah variabel sudut overall slope menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 1,212. Dengan ini dari hasil kedua simulasi optimasi lereng pada penampang Timur nilai faktor keamanan yang lebih efektif yaitu dengan mengubah variabel sudut overall slope.

Pada penampang Selatan dengan mengubah variabel tinggi overall slope menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 1,201. Sedangkan dengan mengubah variabel sudut overall slope menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 1,223. Dengan ini dari hasil kedua simulasi optimasi lereng pada penampang Selatan nilai faktor keamanan yang lebih efektif yaitu dengan mengubah variabel tinggi overall slope.

Setelah melakukan simulasi optimasi lereng dengan mengubah variabel sudut dan tinggi overall slope mendapatkan nilai faktor keamanan yang efektif untuk optimasi lereng yang aman. Simulasi optimasi selanjutnya dengan menambahkan variabel data water table disetiap sudut dan tinggi yang telah dilakukan simulasi sebelumnya.

Melakukan simulasi yang mengacu pada metode Hoek and Bray dengan menambahkan water table di beberapa bagian ketinggian pada lereng penampang Timur dan selatan bertujuan untuk mengetahui lereng dalam keadaan jenuh atau adanya air dalam permukaan tanah dalam kondisi aman atau tidak aman.

Dari hasil simulasi pada penampang Timur dengan menambahkan water table pada ketinggian 12 meter setengah dari tinggi keseluruhan lereng, dan 5 meter dari seperempat tinggi keseluruhan lereng, mendapatkan titik optimal atau efektif pada ketinggian lereng 20 meter pada simulasi mengubah variabel tinggi overall slope nilai Faktor Keamanan yaitu 1.219 dengan ketinggian water table seperempat dari tinggi keseluruhan lereng.

Sedangkan dengan mengubah variabel sudut overall slope titik optimal pada sudut 40 derajat dengan ketinggian water table seperempat dari tinggi keseluruhan lereng, nilai Faktor Keamanan yaitu 1.210.

Dari hasil simulasi pada penampang Selatan dengan menambahkan water table pada ketinggian 12 meter setengah dari tinggi keseluruhan lereng, dan 5 meter dari seperempat tinggi keseluruhan lereng, mendapatkan titik optimal atau efektif pada ketinggian lereng 25 meter pada simulasi mengubah variabel tinggi overall slope nilai

Faktor Keamanan yaitu 1.235 dengan ketinggian *water table* seperempat dari tinggi keseluruhan lereng.

Sedangkan dengan mengubah variabel sudut overall slope titik optimal pada sudut 30 derajat dengan ketinggian *water table* seperempat dari tinggi keseluruhan lereng, nilai Faktor Keamanan yaitu 1.211.

Nilai Faktor Keamanan yang efektif dengan adanya *water table* yaitu dengan simulasi mengubah overall slope pada penampang Timur nilai Faktor Keamanan yaitu 1.210 dan penampang Selatan nilai Faktor Keamanan yaitu 1.211.

Dari hasil optimasi lereng keseluruhan dengan mengubah variabel sudut dan tinggi overall slope, serta simulasi adanya variabel data *water table* lereng akan aman jika tidak adanya air.

Pada simulasi mengubah variabel slope, lereng bagian Timur aman jika slope berada pada kemiringan 40 derajat dan tinggi 24 meter. Sedangkan lereng bagian Selatan aman jika slope berada pada kemiringan 30 derajat dan tinggi 30 meter dengan asumsi *water table* di ketinggian 6 meter namun akan membahayakan jika *water table* naik.

Selanjutnya pada simulasi mengubah variabel tinggi, lereng bagian Timur aman jika slope berada pada kemiringan 47 derajat dan tinggi 20 meter. Sedangkan lereng bagian Selatan aman jika slope berada pada kemiringan 36 derajat dan tinggi 25 meter dengan asumsi *water table* di ketinggian 5 meter namun akan membahayakan jika *water table* naik.

Lereng yang berada pada *site* pulau pakal, front mafhia merupakan lereng pasca tambang, dan akan dilakukannya reklamasi tambang, salah satunya yaitu dengan cara revegetasi yang sebelumnya sudah dilakukan pada front pasca tambang lainnya. Dilakukannya optimasi pada lereng tersebut supaya pada saat proses reklamasi salah satunya yaitu revegetasi lereng sudah benar-benar aman dari adanya longsor kecil maupun besar.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis dengan menggunakan aplikasi *slide software* metode *Fellenius* pada lereng di front mafhia PT.. Antam Tbk, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Kondisi lereng pada PT. Antam Tbk memiliki lapisan penyusun yaitu topsoil, limonit, saprolit, dan bedrock dengan ketebalan yang beragam. Lereng pada bagian Timur dan Selatan PT. Antam Tbk memiliki tinggi *overall slope* yaitu 24 meter dan 30 meter dan sudut *overall slope* 47 derajat dan 36 derajat. Masing-masing memiliki 5 *bench* dengan lebar 2,1m.
2. Analisis kestabilan lereng yang digunakan yaitu dengan metode *fellenius* dan software slide untuk mengetahui faktor keamanan pada front mafhia PT. Antam Tbk. Dari *software slide* didapatkan nilai faktor keamanan pada penampang Timur yaitu 1,163 dan pada penampang Selatan kondisi didapatkan nilai faktor keamanan 1,186 dengan metode *fellenius* di dapatkan faktor keamanan dapat disimpulkan bahwa lereng dalam kondisi tidak stabil karena menurut Kepmen ESDM nomor 1827 lereng yang stabil atau aman yaitu $>1,20$.
3. Dari hasil optimasi lereng keseluruhan dengan mengubah variabel sudut dan tinggi *overall slope*, serta simulasi adanya variabel data *water table* lereng akan aman jika tidak adanya air. Pada bagian penampang selatan, sehingga mendapatkan titik optimal optimasi lereng dengan nilai faktor pada penampang Timur yaitu 1,212 dan pada penampang Selatan yaitu 1,201. Nilai Faktor Keamanan yang efektif dengan adanya *water table* yaitu dengan simulasi mengubah *overall slope* pada penampang

Timur nilai Faktor Keamanan yaitu 1.210 dan penampang Selatan nilai Faktor Keamanan yaitu 1.211 yang sesuai menurut Kepmen ESDM nomor 1827 lereng harus 1,20 dapat dikatakan stabil atau aman.

B. Saran

Saran dari hasil penelitian pada PT. Antam Tbk adalah sebagai berikut :

1. Perubahan geometri lereng. Hal ini dilakukan dengan memperbaiki geometri lereng yang ada dengan mengikuti optimasi lereng yang telah dibuat untuk menjaga kestabilan lereng dengan nilai Faktor Keamanan $> 1,2$
2. Langkah pemeliharaan, pemantauan, dan penanganan pada lereng tambang sangat diperlukan untuk menjaga agar lereng tetap dalam kondisi aman.

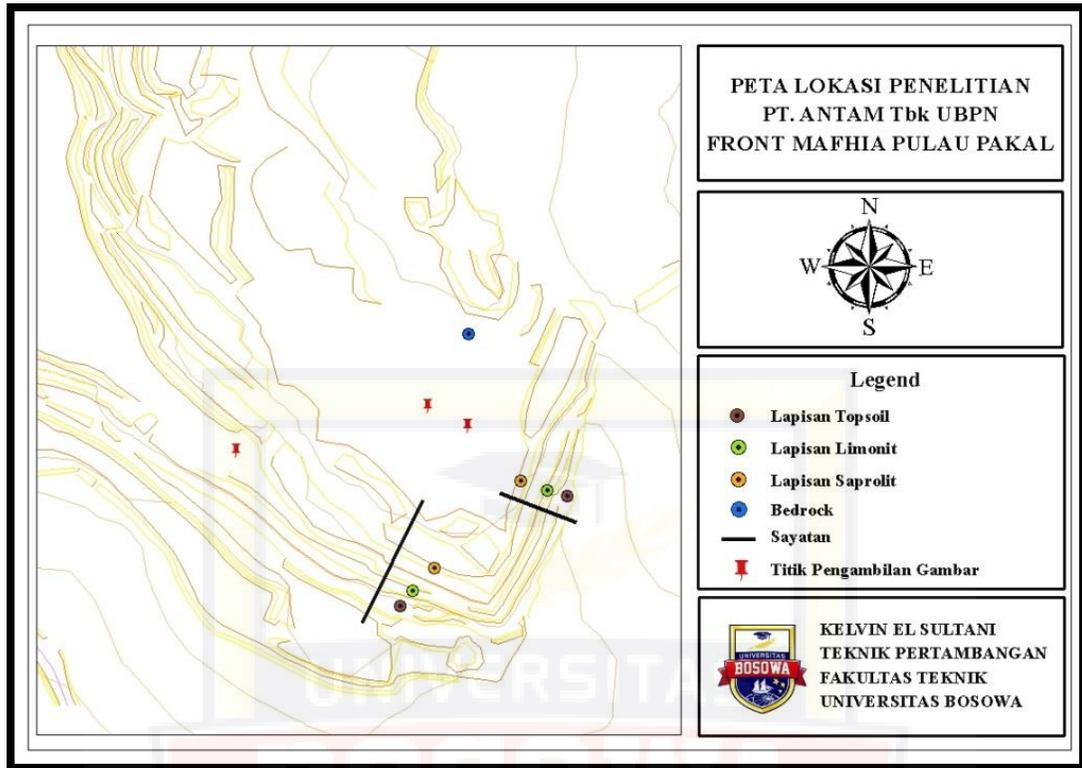
DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, W., 2006, Laterites: fundamentals of chemistry, mineralogy, weathering processes, and laterite formation. PT INCO. 212 hal.
- Apandi , T dan Sudana, D. (1980). Peta Geologi Lembar Ternate, Maluku Utara. Jakarta : Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Departemen Pertambangan dan Energi.
- Arif, I. I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama.
- Azkia, D. (2017). *Analisis Stabilitas Lereng Pada Ruas Jalan Banjarparakan-Mengantidengan Metode Fellenius Dan Aplikasi Geostudio* (Doctoral Dissertation, Universitas Muhammadiyah Purwokerto).
- Burger, P.A., 1996. Origins and Characteristic Of Lateric Nickel Deposits, Nickel 96 Seminar Proceedings, Kalgoorlie. p 179 – 183.
- Elviani, S. (2017). *Pemodelan 3d Dan Analisis Ketersediaan Batuan Granit Berdasarkan Data Anomali Gayaberat Di Daerah Tanjung Ulie Halmahera Tengah*.
- Hasibuan, S., & Heriyadi, B. (2020) “Analisis Balik Kestabilan Lereng Bekas Disposal Area Dengan Menggunakan Metode Bishop di Tambang PT. Nusa Alam Lestari di Desa Salak, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat”. *Bina Tambang*, 5(4), 46-56.
- Hedianto, Ma’rief, A.Al’faizah, Mahyuni Enni Tri. (2022). Analisis Kestabilan lereng *Morgenstern-Price* Jalan Poros Malino – Sinjai Kabupaten Gowa. *Jurnal Geomine*.
- Manik, Jeanne Darc Noviayanti. (2013) "Pengelolaan Pertambangan Yang Berdampak Lingkungan Di Indonesia." *PROMINE* 1.1
- Marini, A. E., Anaperta, Y. M., & Saldy, T. G. (2019). Analisis Kestabilan Lereng Area Highwall Section B Tambang Batubara PT. Manggala Usaha Manunggal Jobsite Pt. Banjarsari Pribumi, Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. *Bina Tambang*, 4(4), 80-89.
- Metriani, R., Anaperta, Y. M., & Saldy, T. G. (2019). Analisis Balik Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Bishop yang disederhanakan Pada Front II Existing Tambang Quarry PT. Semen Padang, Sumatera Barat. *Bina Tambang*, 4(4), 49-58.
- Munir, A. S., Jafar, N., Anwar, H., Ajwad, M., Yusuf, F. N., Asmiani, N., & Martireni, A. P. (2021). Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop pada Jalan Poros Maros-Bone Kilometer 84, 1 Tompo Ladang Kabupaten Maros. *Jurnal Geomine*, 9(2), 150-167.

- Pane, R. A., & Anaperta, Y. M. (2019). Karakterisasi Massa Batuan dan Analisis Kestabilan Lereng Untuk Evaluasi Geometri Lereng di Pit Barat Tambang Terbuka PT. AICJ (Allied Indo Coal Jaya) Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat. *Bina Tambang*, (2019) 4(3), 218-232.
- Pangemanan, Violetta Gabriella Margaretha, Arens E. Turangan, and Oktovian BA Sompie. (2014) "Analisis kestabilan lereng dengan metode Fellenius (Studi kasus: Kawasan Citraland)." *Jurnal Sipil Statik* 2.1.
- Rajagukguk, Octovian CP, Arens E. Turangan, and Sartje Monintja. (2021) "Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland Sta. 1000m)." *Jurnal Sipil Statik* 2.3
- Ramadhan, A. R., Basuki, N. I., Priadi, B., Sutopo, B., & Bari, A. (2020). Lateritisasi Pada Kompleks Melange Area Wailukum, Kabupaten Halmahera Timur. *Bulletin of Geology*, 4(1), 474-495.
- Syafar, Zainul. (2017) "Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop Pada Penambangan Nikel." *Jurnal Geomine* 4.3
- Triyadi, Seno Cendekia. (2015). " Analisis Stabilitas Lereng dengan Menggunakan Program Software Rocscience Slide V. 60 di Area Tambang Terbuka Batubara PT. Sinamarinda Lintas Nusantara". Skripsi tidak diterbitkan. Padang: UNP.
- UBP Nikel Maluku Utara. (2013). Instruksi Kerja PT. ANTAM Tbk . UBP Nikel Maluku Utara yaitu IK – 09.276.21.R01. Buli : PT. ANTAM Tbk.
- Wardana, I. G. N. (2011). "Pengaruh perubahan muka air tanah dan terasering Terhadap perubahan kestabilan lereng." *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* 15.1.



LAMPIRAN A
PETA RENCANA KERJA



Gambar A. Peta Rencana Kerja

LAMPIRAN B

LOKASI LERENG FRONT MAFHIA



Gambar B. 1 Lereng front Mafhia bagian penampang Timur



Gambar B. 2 Pengamatan lereng front Mafhia bagian penampang Timur



Gambar B. 3 Pengukuran Geometri Lereng Bagian penampang Timur



Gambar B. 4 Lereng pada Front Mafhia bagian penampang Selatan



Gambar B. 5 Pengamatan lereng front Mafhia bagian penampang Selatan



Gambar B. 6 Pengukuran geometri lereng bagian penampang Selatan

Tabel B. 1 Data Geometri Lereng

Penampang	Tinggi (m) Overall Slope	Sudut (°) Overall Slope	Lebar Bench (m)	Tinggi jenjang (m)
Timur	24	47	2.1	4.0
Selatan	30	36	2.1	5.0



LAMPIRAN C
DATA NILAI PROPERTIES MATERIALS

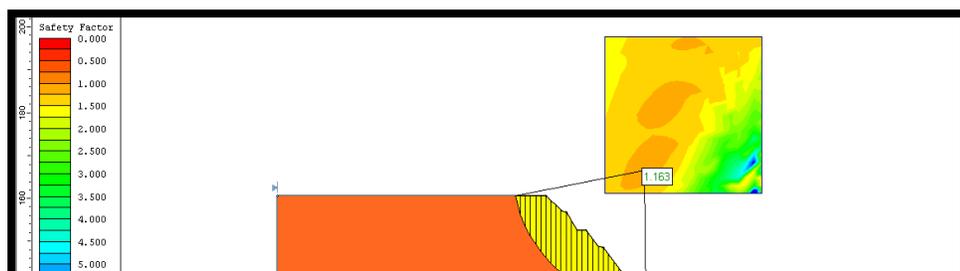
Tabel C. 1 Data Nilai Properties Materials

Jenis Material	Parameter Geoteknik	Parameter Statistik				
		Tipe Distribusi	Mean	Std Dev.	Min Relative	Max Relative
limonit	Saturated Unit Weigth (kN/m ³)	-	17.64	-	-	-
	Kohesi (C kN/m ²)	-	70.80	-	-	-
	Sudut Geser Dalam (φ°)	-	11.31	-	-	-
Saprolit	Saturated Unit Weigth (kN/m ³)	-	14.35	-	-	-
	Kohesi (C kN/m ²)	-	7.30	-	-	-
	Sudut Geser Dalam (φ°)	-	24.47	-	-	-
Bedrock	Saturated Unit Weigth (kN/m ³)	-	28.43	-	-	-
	Kohesi (C kN/m ²)	-	85.70	-	-	-
	Sudut Geser Dalam (φ°)	-	82.11	-	-	-

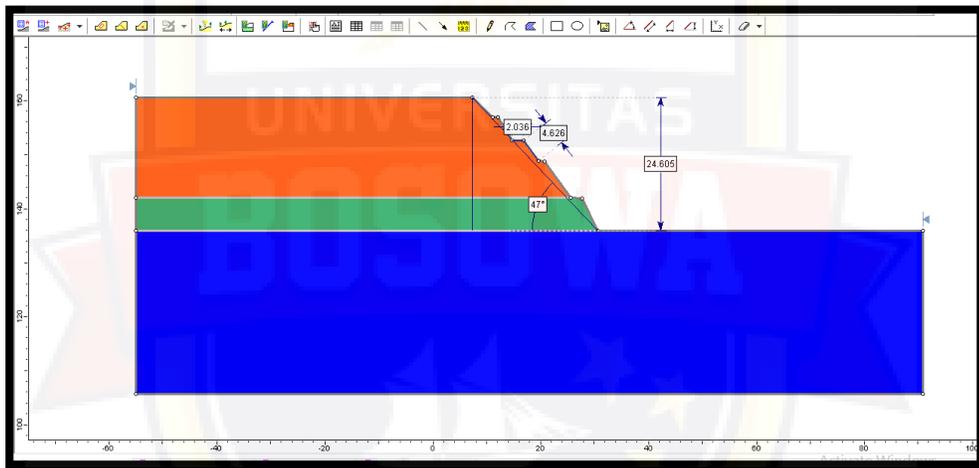


LAMPIRAN D

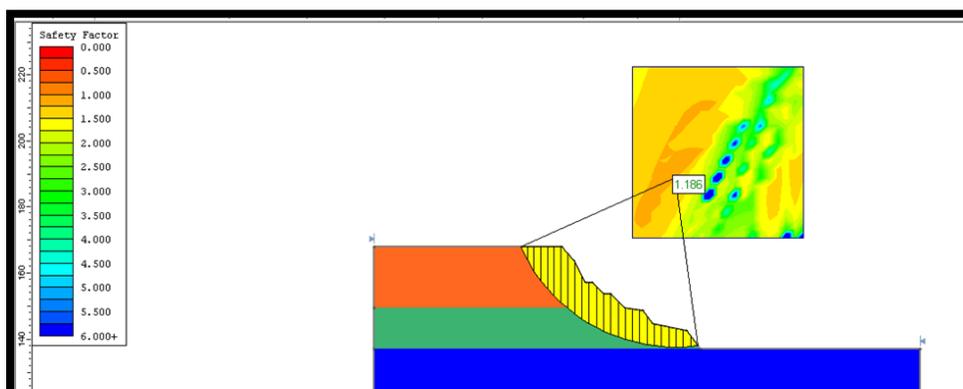
HASIL ANALISIS KESTABILAN LERENG



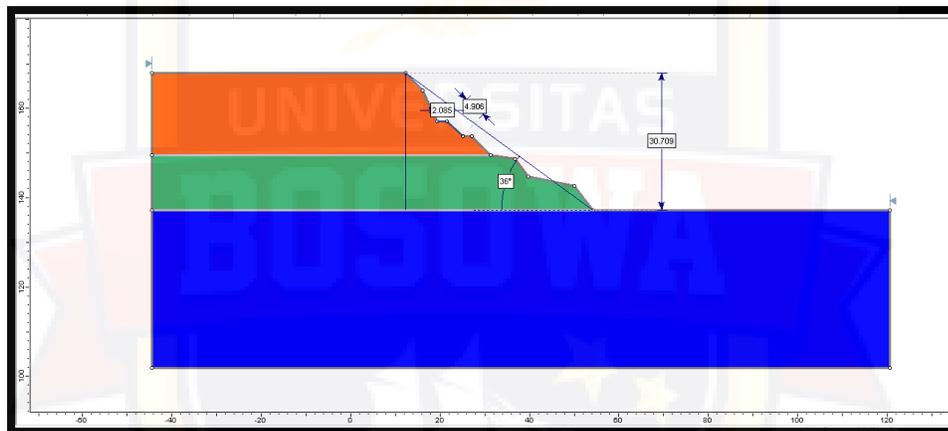
Gambar D. 1 Hasil analisis faktor keamanan penampang Timur



Gambar D. 2 Ukuran geometri lereng penampang Timur



Gambar D. 3 Hasil analisis faktor keamanan penampang Selatan



Gambar D. 4 Ukuran geometri lereng penampang Selatan

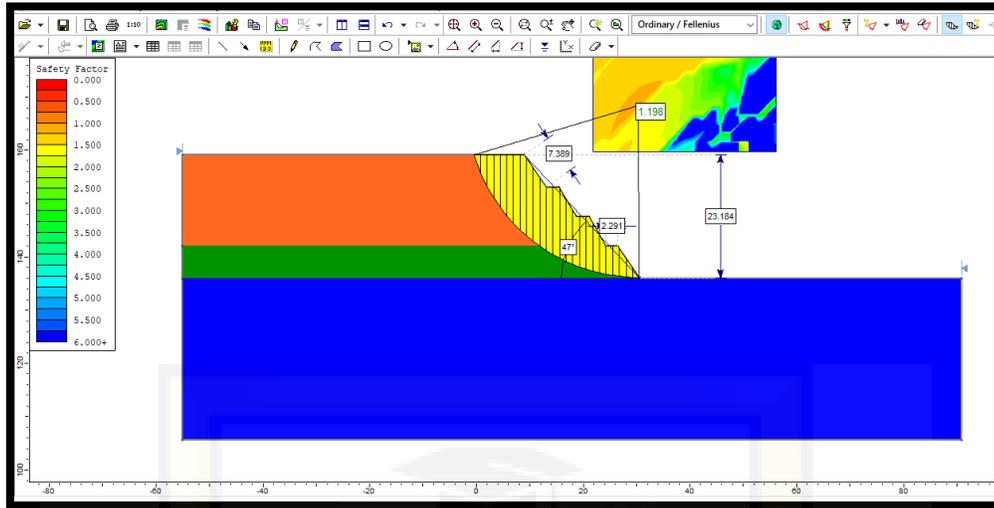
Tabel D. 1 Data hasil analisis kestabilan pada penampang Timur dan Selatan

Penampang	Tinggi (m) Overall Slope	Sudut (°) Overall Slope	Lebar Bench (m)	Tinggi jenjang (m)	Faktor Keamanan (FK)	Ket

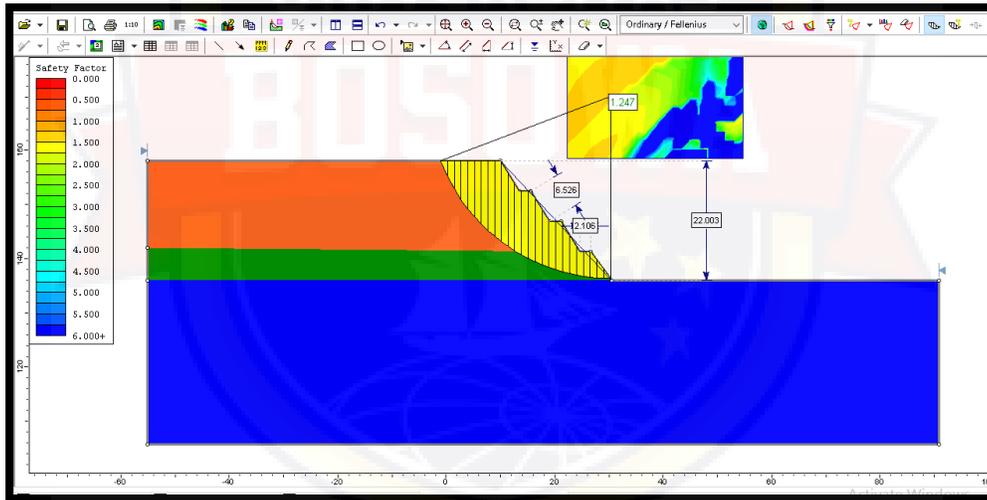
A	24m	47°	2.1	4.0	1.163	TIDAK AMAN
B	30m	36°	2.1	5.0	1.186	TIDAK AMAN



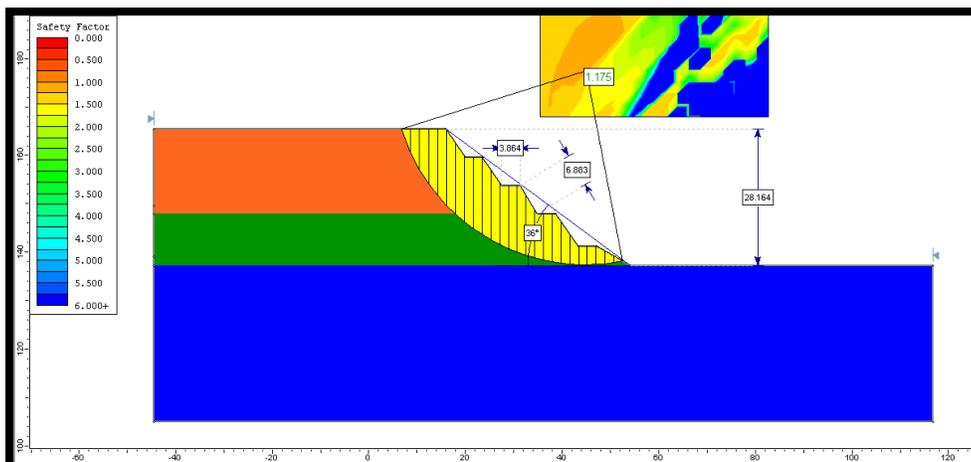
LAMPIRAN E
HASIL SIMULASI REKOEMNDASI LERENG



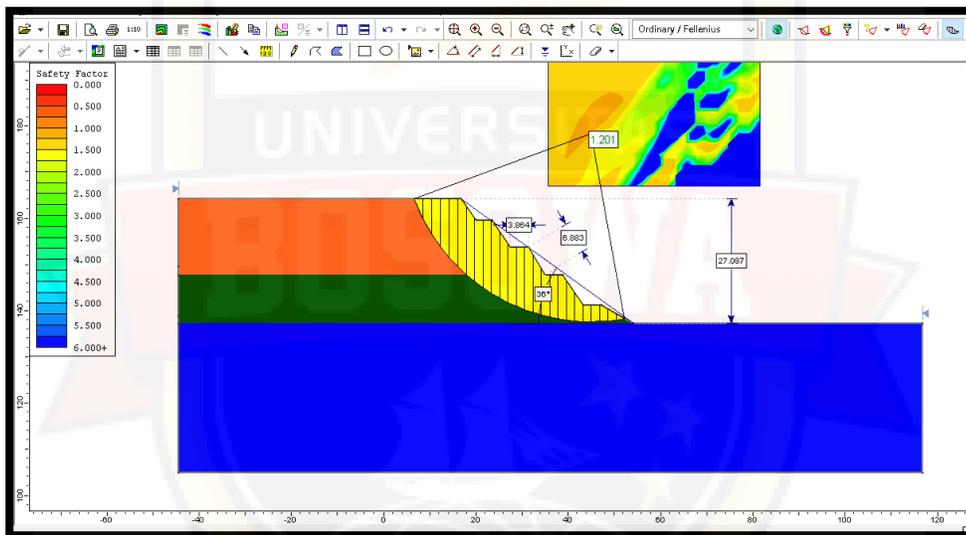
Gambar E. 1 Hasil analisis faktor keamanan optimasi 1 penampang Timur dengan variabel tetap pada sudut overall slope



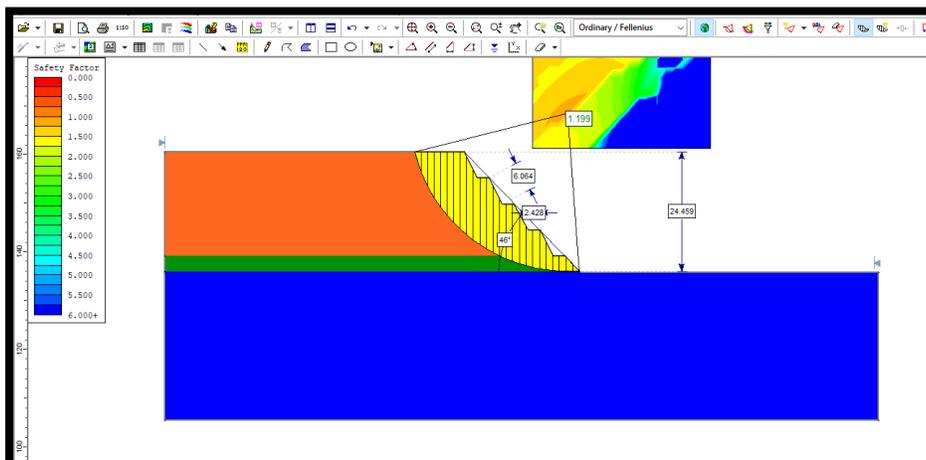
Gambar E. 2 Hasil analisis faktor keamanan optimasi 2 penampang timur dengan variabel tetap pada sudut overall slope



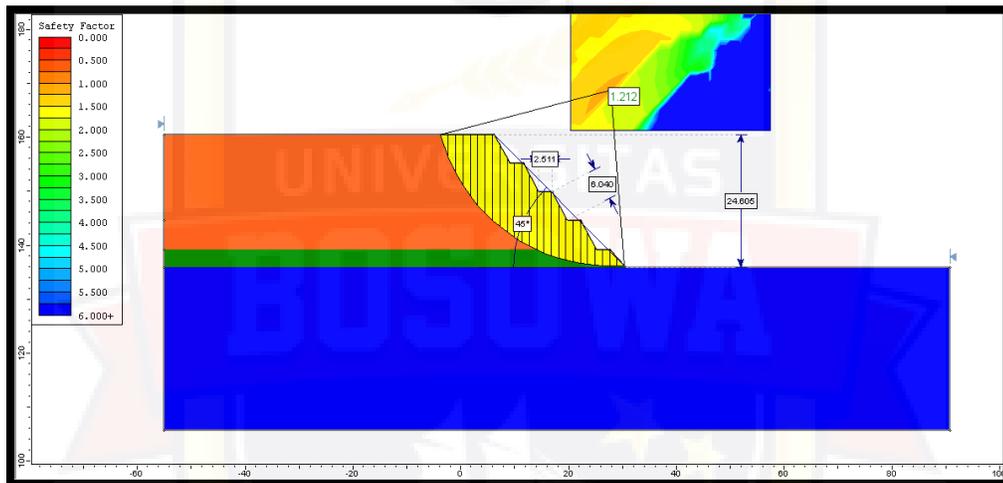
Gambar E.3 Hasil analisis faktor keamanan optimasi 1 penampang selatan dengan variabel tetap pada sudut overall slope



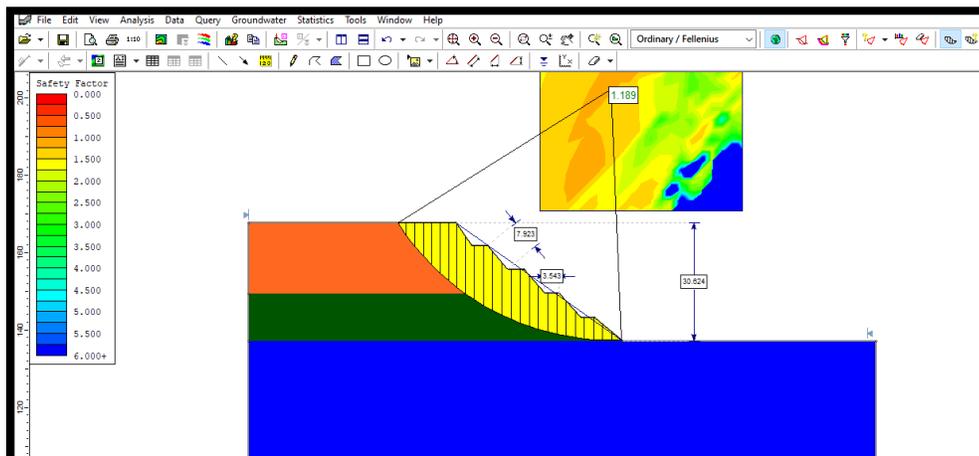
Gambar E.4 Hasil analisis faktor keamanan optimasi 2 penampang selatan dengan variabel tetap pada sudut overall slope



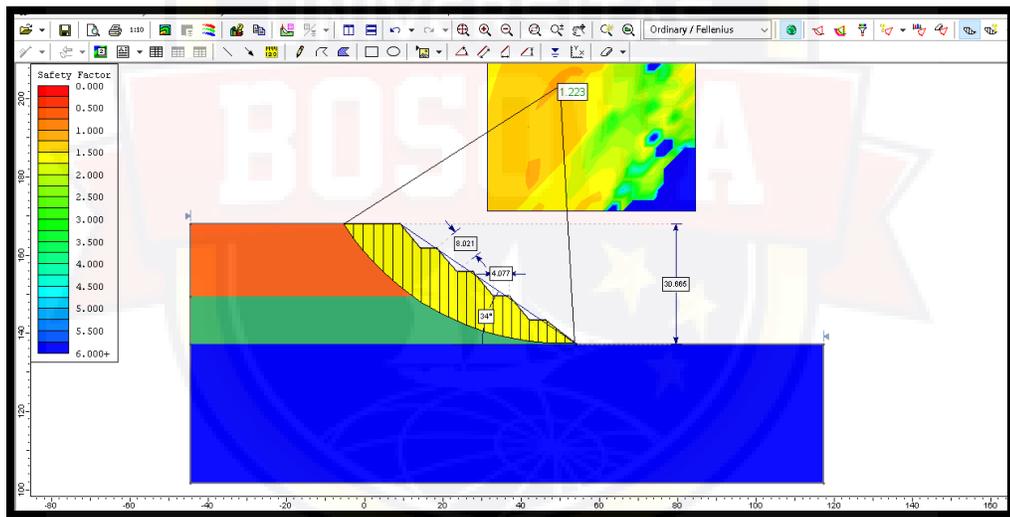
Gambar E.5 Hasil analisis faktor keamanan optimasi 1 penampang Timur dengan variabel tetap pada tinggi overall slope



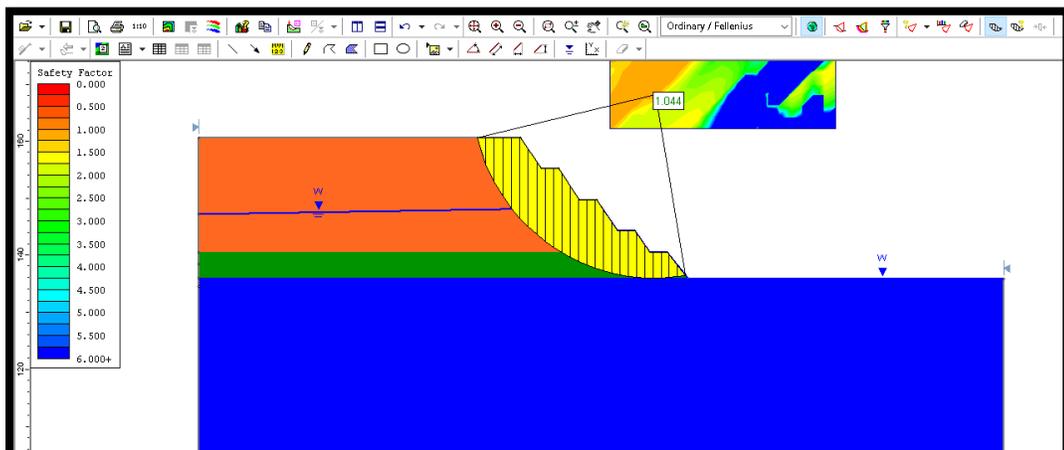
Gambar E.6 Hasil analisis faktor keamanan optimasi 2 penampang Timur dengan variabel tetap pada tinggi overall slope



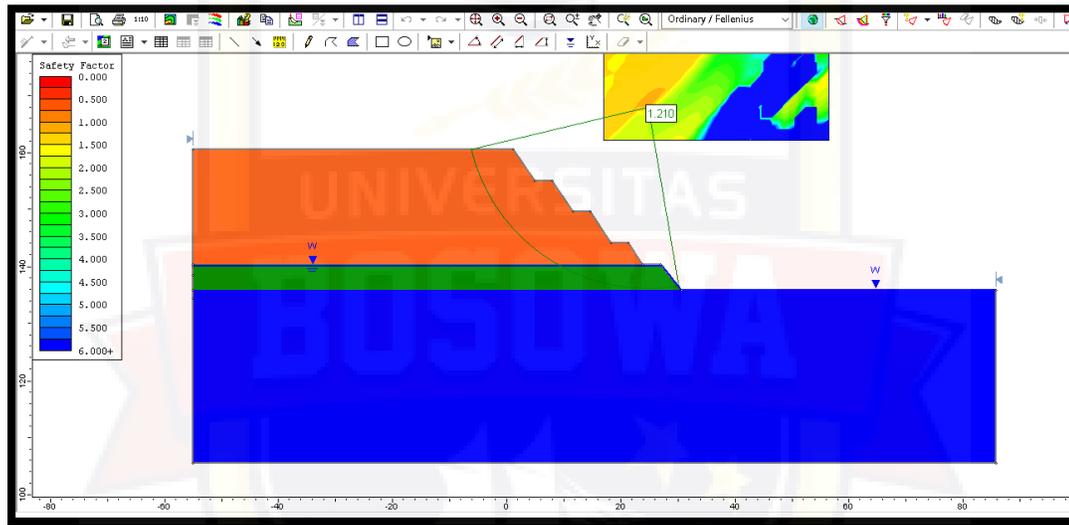
Gambar E.7 Hasil analisis faktor keamanan optimasi 1 penampang Selatan dengan variabel tetap pada tinggi overall slope



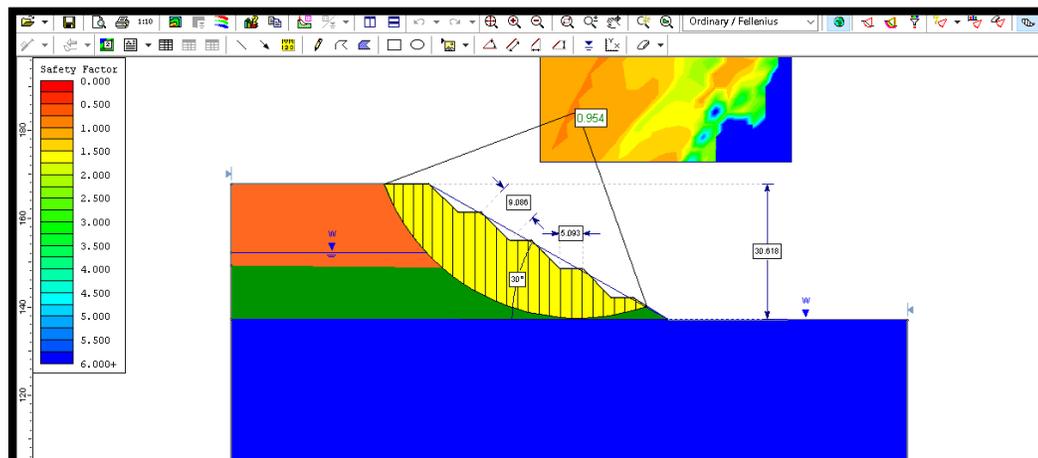
Gambar E. 8 Hasil analisis faktor keamanan optimasi lereng



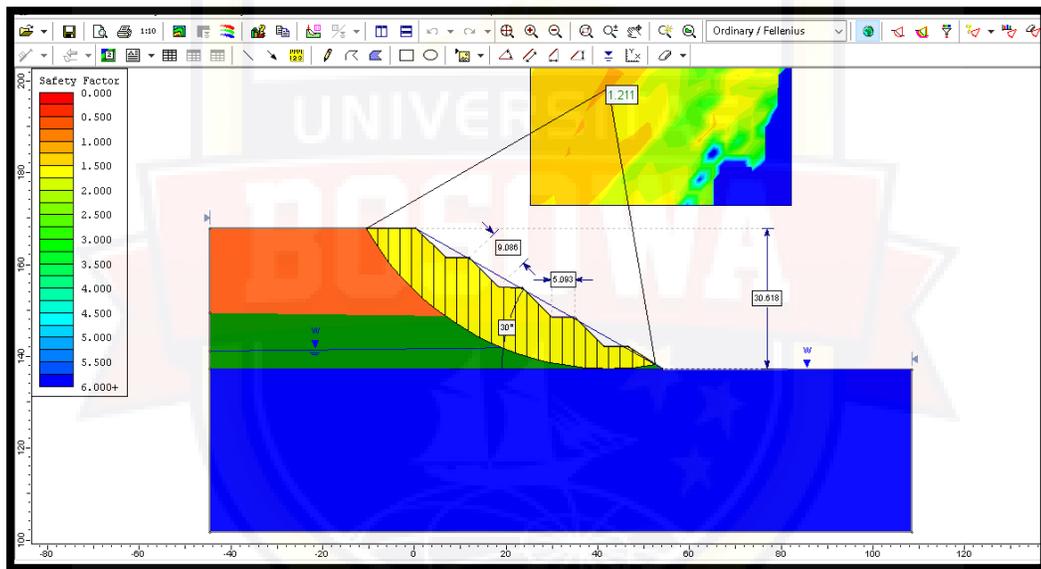
Gambar E.9 Hasil analisis faktor keamanan optimasi lereng



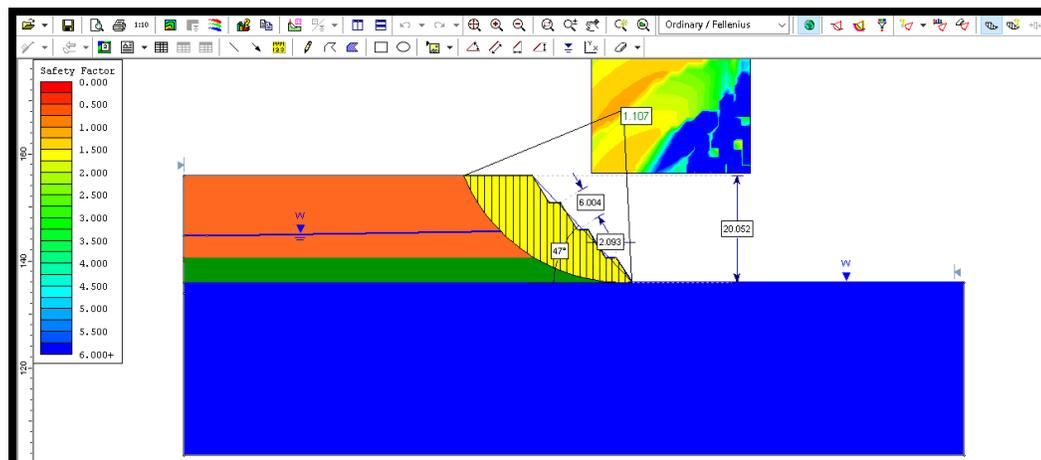
Gambar E. 10 Hasil analisis faktor keamanan optimasi lereng



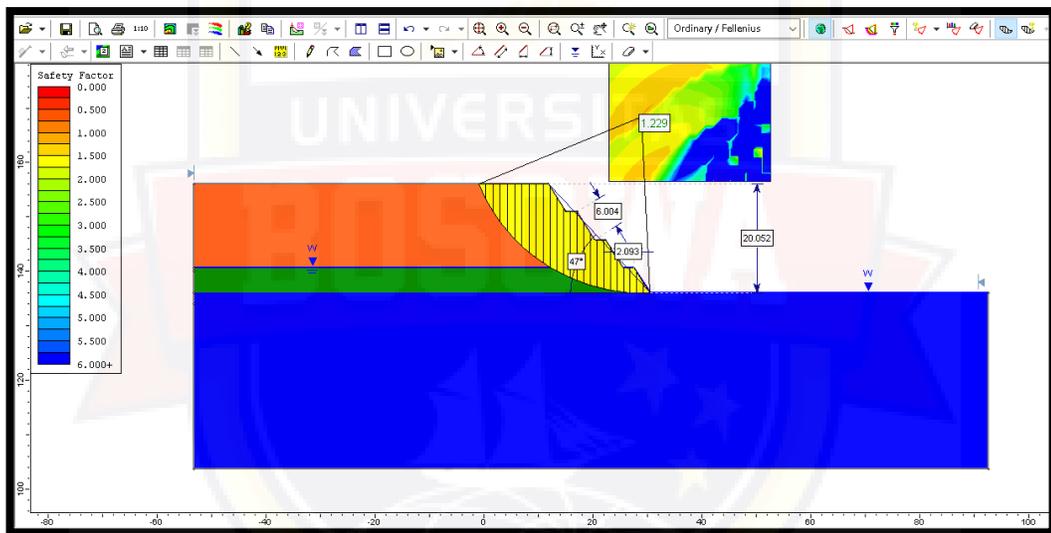
Gambar E.11 Hasil analisis faktor keamanan optimasi lereng



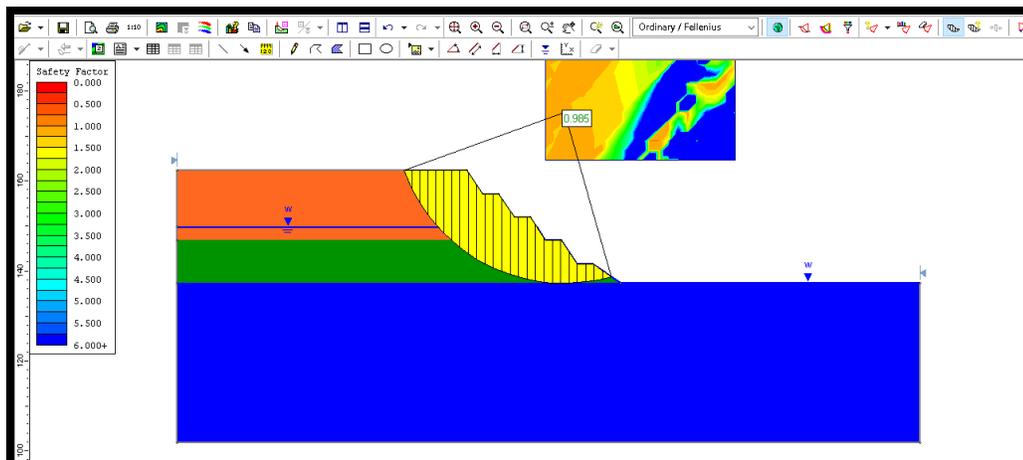
Gambar E. 12 Hasil analisis faktor keamanan optimasi lereng



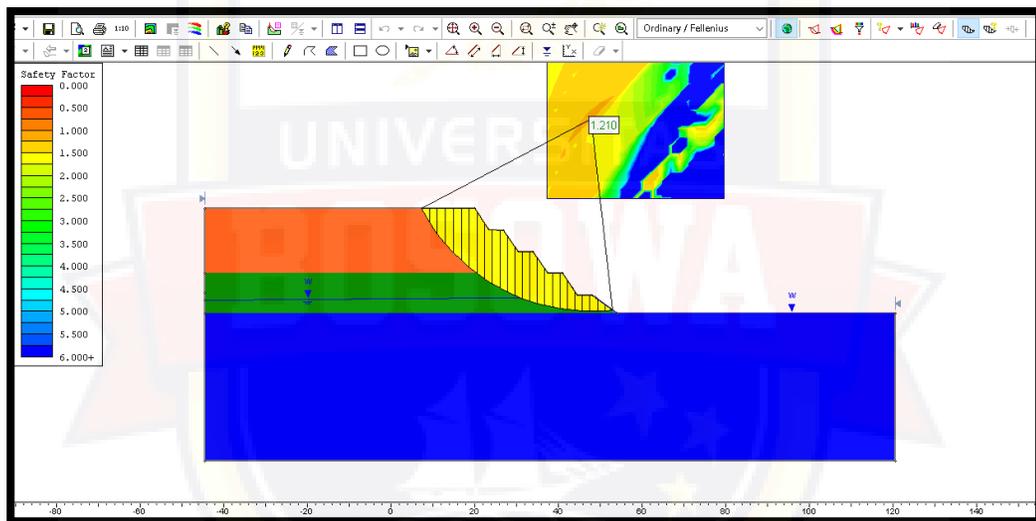
Gambar E. 13 Hasil analisis faktor keamanan optimasi lereng



Gambar E. 14 Hasil analisis faktor keamanan optimasi lereng



Gambar E. 15 Hasil analisis faktor keamanan optimasi lereng



Gambar E. 16 Hasil analisis faktor keamanan optimasi lereng

LAMPIRAN F

DOKUMENTASI LAPANGAN



Gambar F. 1 Proses Stripping pada tambang



Gambar F. 2 Kegiatan survey pada tambang



Gambar F. 3 Proses pemuatan Ore



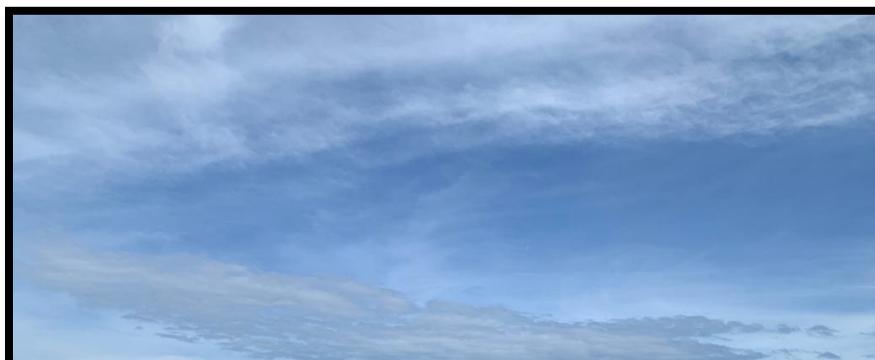
Gambar F. 4 Alat Grizzly



Gambar F. 5 Proses pemuatan Ore pada ETO



Gambar F. 6 Proses Sampling pada EFO



Gambar F. 7 Proses Shipping



Gambar F. 8 Jalan Hauling pada tambang