

**DESAIN GEOMETRI PIT DAN ANALISIS KESTABILAN
LERENG DI PT. VALE INDONESIA TBK, SOROWAKO,
KAB. LUWU TIMUR, PROV. SULAWESI SELATAN**



SKRIPSI

AKRAM

4519046046

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA
MAKASSAR
2023**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Judul Skripsi : Desain Geometri Pit Dan Analisis Kestabilan lereng Di PT Vale Indonesia Tbk, Sorowako, Kab.Luwu Timur, Prov. Sulawesi Selatan

Nama Penulis : Akram

NIM : 4519046046


Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan pada Sidang Skripsi.


Makassar, 17 Juli 2023

Mengetahui,

Pembimbing I

Pembimbing II


Enni Tri Mahyuni, ST., MT.
NIDN : 0912127306


Hedianto, ST., MT.
NIDN : 0931079202

Menyetujui,
Ketua Prodi/Jurusan
Teknik Pertambangan Universitas Bosowa



Enni Tri Mahyuni, S.T., MT.
NIDN : 0912127306

PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

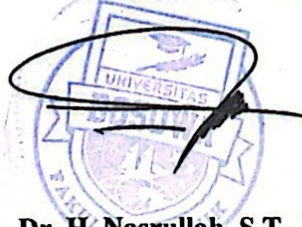
Judul Skripsi : Desain Geometri Pit Dan Analisis Kestabilan lereng Di PT Vale
Indonesia Tbk, Sorowako, Kab.Luwu Timur, Prov.Sulawesi
Selatan
Nama Penulis : Akram
Stambuk : 4519046046
Disetujui Tanggal : 17 juli 2023

TIM PENGUJI

Ketua : Enni Tri Mahyuni, S.T., M.T (.....)
Sekertaris : Hedianto, S.T., M.T (.....)
Penguji 1 : Amran, S.T., M.Ling (.....)
Penguji 2 : Tri Utomo Taliding, S.T., M.T (.....)

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Bosowa



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

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Akram
NIM : 45 19 046 046
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, 12 juli 2023
Yang Menyatakan,



Akram

ABSTRAK

AKRAM, Desain Geometri Pit dan Analisis Kestabilan Lereng Di PT Vale Indonesia Tbk, Sorowako, Kab. Luwu timur, Prov. Sulawesi Selatan. (dibimbing oleh (**Enni Tri Mahyuni, ST., MT** dan **Hedianto ST., MT**).

PT Vale Indonesia Tbk menambang nikel laterit untuk menghasilkan produk akhir berupa nikel dalam matte. Volume produksi nikel PT Vale Indonesia Tbk rata-rata mencapai 75.000 metrik ton per tahunnya. Dalam memproduksi logam nikel, PT Vale menggunakan metode pyrometalurgi atau metode dengan jalur api dimana bijih nikel laterit dilebur dengan suhu tinggi. Penelitian ini dilaksanakan pada desa Sorowako kecamatan Nuha Kabupaten Luwu Timur provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Jumlah material tertambang dan untuk mengetahui faktor keamanan lereng. Metode yang digunakan untuk analisis faktor keamann lereng adalah metode Bishop dan Janbu. Dari hasil perhitungan software Vulcan dan Microsoft eexcel di dapatkan volume OB total sebanyak 9.499.187.67ton, volume ORE total sebanyak 5.837.613.98ton dan SR total Sebanyak 1.68ton. hasil analisis perhitungan kestabilan lereng menggunakan metode Bishop didapatkan nilai faktor keamanan pada Geometri A yaitu 1.11, Geometri B yaitu 1.51, Geometri C yaitu 1.65 dan Geometri D yaitu 1.16 dan hasil dari perhitungan menggunakan metode Janbu didapatkan nilai faktor keamanan pada Geometri A yaitu 1.06, Geometri B yaitu 1.44, Geometri C yaitu 1.58 dan Geometri D yaitu 1.1

Kata Kunci : Desain Pit, Metode Bishop dan Janbu, Nikel

ABSTRAC

AKRAM, Pit Geometry Design and Slope Stability Analysis at PT Vale Indonesia Tbk, Sorowako, Kab. Luwu Timur, Prov. South Sulawesi. (supervised by (Enni Tri Mahyuni, ST., MT and Hedianto ST., MT).

PT Vale Indonesia Tbk mines laterite nickel to produce the final product in the form of nickel in matte. PT Vale Indonesia Tbk's nickel production volume averages 75,000 metric tons per year. In producing nickel metal, PT Vale uses the pyrometallurgical method or the fire method where lateritic nickel ore is smelted at high temperatures. This research was conducted in the village of Sorowako, Nuha sub-district, East Luwu Regency, South Sulawesi province. This study aims to determine the amount of mined material and to determine the safety factor of the slope. The method used for the analysis of the safety factor of the slope is the Bishop and Janbu method. From the calculation results of the Vulcan and Microsoft excel software, a total OB volume of 9,499,187.67 tons, a total ORE volume of 5,837,613.98 tons and a total SR of 1.68 tons. the results of the analysis of slope stability calculations using the Bishop method showed that the safety factor value for Geometry A, was 1.11, Geometry B, was 1.51, Geometry C, was 1.65 and Geometry D, was 1.16 and the results of the calculations using the Janbu method showed that the safety factor value for Geometry A, was 1.06, Geometri B is 1.44, Geometri C is 1.58 and Geometri D is 1.1

Keywords: Pit Design, Bishop and Janbu Method, Nickel

PRAKATA

Dengan memanjatkan puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Desain Geometri Pit Dan Analisis Kestabilan Lereng Di PT VALE INDONESIA Tbk, Sorowako, Kab. Luwu Timur, Prov Sulawesi Selatan**”. Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program sarjana (S1) Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya 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 Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar dan sekaligus dosen pembimbing I.
3. Bapak **Hedianto. ST., MT.**, selaku Dosen Prodi Teknik Pertambangan sekaligus pembimbing II atas bimbingan, saran dan motivasi yang diberikan.
4. Segenap **Dosen, staf, dan karyawan** Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar.
5. Bapak **Mukti Triyanto, ST.** selaku pembimbing lapangan Di PT VALE INDONESIA TBK.
6. Kepada Orang tua, **Alwis dan Fitriani**, atas doa, bimbingan, serta kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
7. Kepada saudara saya, **Sulkifli, dan Dimas**, atas doa, dukungan selama ini.

8. Kepada saudari saya **Adelia**, dan **Salwa**, atas doa, dukungan selama ini.
9. Kepada rekan-rekan TA saya, **Mersi joni**, **Annisa**, **Harto andi irawan** dan **Erik Casandra** atas kebersamaan, Kerjasama, serta dukungan dalam pengambilan data hingga penyusunan skripsi ini dapat selesai.

Penulis menyadari skripsi ini tidak luput dari berbagai kekurangan. Penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan dan perbaikannya sehingga akhirnya skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi bidang pendidikan dan penerapan di lapangan serta bisa dikembangkan lagi lebih lanjut.

Makassar, 08 Desember 2022



Akram

4519046046



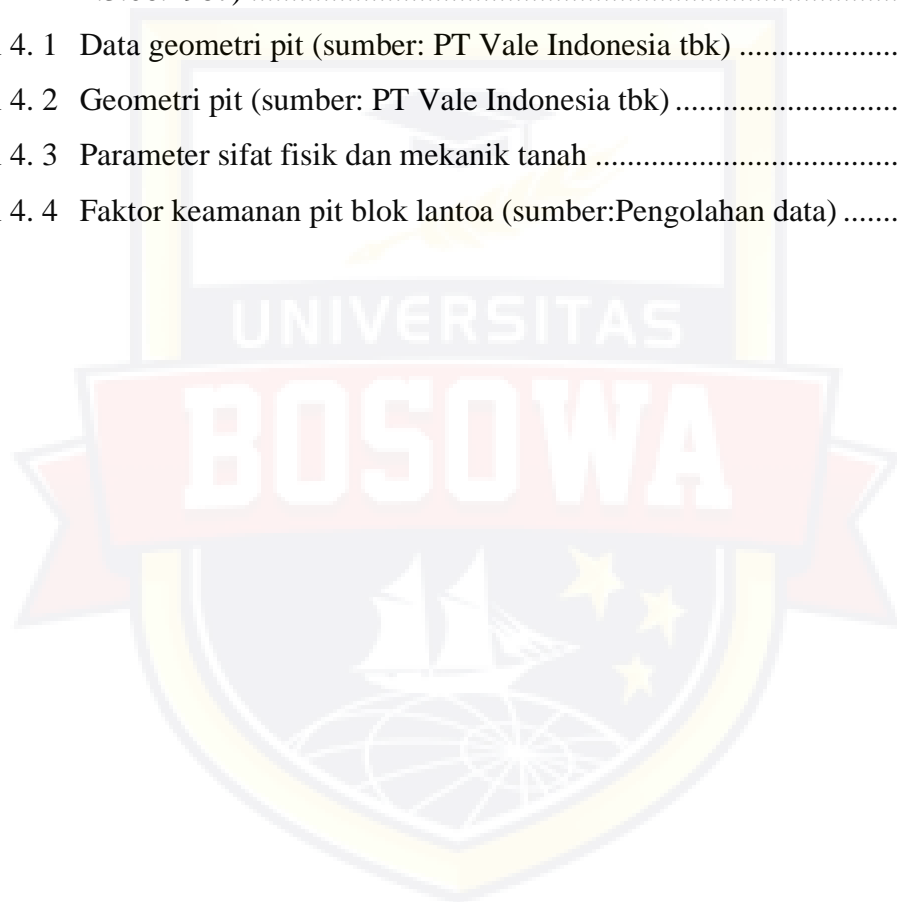
DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
PENGESAHAN DEWAN PENGUJI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRAC	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Batasan Masalah.....	2
D. Tujuan Penelitian	3
E. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Geomorfologi	4
B. Geologi Lokal.....	5
C. Landasan Teori.....	9
1. Desain Geometri Pit	9
2. Nisbah Pengupasan (Stripping Rasio)	10
3. Definisi Lereng.....	10
4. Definisi Tanah Longsor Menurut Para Pakar.....	14
5. Jenis-Jenis Longsoran.....	15
6. Analisis Kemantapan Lereng Dengan Metode Kesetimbangan	30
7. Kriteria Keruntuhan Mohr – Coulomb	32

8. Asumsi Aliran Air Bawah Tanah Menurut Hoek & Bray (1981).....	34
BAB III METODE PENELITIAN	36
A. Lokasi Penelitian	36
B. Metode Penelitian.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
A. Desain Geometri Pit	40
1. Desain geometri pit lantoa_01	40
2. Desain geometri pit lantoa_02.....	42
3. Desain geometri pit lantoa_03.....	44
4. Desain geometri pit lantoa_04.....	46
5. Desain geometri pit lantoa_05.....	48
6. Desain geometri pit lantoa_06.....	50
7. Desain geometri pit lantoa_07.....	52
8. Desain geometri pit lantoa_08.....	54
B. Analisis Kestabilan Lereng.....	57
1. Geometri Pit	57
2. Parameter tanah laterit.....	58
3. Analisa stabilitas overall slope	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	62
A. KESIMPULAN.....	62
B. SARAN.....	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Nilai F dan maknanya (Bowles 1989, dalam Zakaria, 2010)	28
Tabel 2.2	Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor (sumber : KEPMEN ESDM No.1827 K/ 30/ MEM/ 2018).....	28
Tabel 2.3	Faktor Keamanan Minimum Stabilitas Lereng (sumber: (SKBI- 2.3.06.1987)	29
Tabel 4. 1	Data geometri pit (sumber: PT Vale Indonesia tbk)	40
Tabel 4. 2	Geometri pit (sumber: PT Vale Indonesia tbk)	57
Tabel 4. 3	Parameter sifat fisik dan mekanik tanah	58
Tabel 4. 4	Faktor keamanan pit blok lantoa (sumber: Pengolahan data)	61



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Geologi regional daerah Pulau Sulawesi.....	9
Gambar 2. 2 Bagian-bagian lereng (sumber: google).....	10
Gambar 2. 3 Longsor Bidang (Hoek & Bray, 1981).....	17
Gambar 2. 4 Longsor Baji (Hoek & Bray, 1981).....	18
Gambar 2. 5 Longsor Busur (Hoek & Bray, 1981).....	19
Gambar 2. 6 Longsor Guling (Hoek & Bray, 1981).....	20
Gambar 2. 7 Sketsa lereng bekerja pada satu potong.....	23
Gambar 2. 8 Sketsa lereng dan gaya yang bekerja.....	24
Gambar 2. 9 Grafik antara kohesi dan friksi (sumber: google).....	26
Gambar 2. 10 Kriteria Mohr-Coulomb (Rai dkk, 2013).....	33
Gambar 2. 11 Konsep Penentuan Bentuk Aliran Air Bawah Tanah.....	35
Gambar 2. 12 Bentuk Aliran Air pada Lereng Tiap Kondisi MAT.....	35
Gambar 3. 1 Lokasi penelitian.....	36
Gambar 3. 2 Bagan alir penelitian.....	39
Gambar 4. 1 Desain pit lantoa 1.....	41
Gambar 4. 2 Grafik Volume OB Pit Lantoa 1 (sumber: Pengolahan data).....	41
Gambar 4. 3 Grafik Volume ORE Pit Lantoa 1 (sumber: Pengolahan data).....	42
Gambar 4. 4 Grafik Stripping Rasio Pit lantoa 1 (sumber: Pengolahan data).....	42
Gambar 4. 5 Desain pit lantoa 2 (sumber: Pengolahan data).....	43
Gambar 4. 6 Grafik Volume OB Pit Lantoa 2 (sumber: Pengolahan data).....	43
Gambar 4. 7 Grafik Volume ORE Pit Lantoa 2 (sumber: Pengolahan data).....	44
Gambar 4. 8 Grafik Stripping Rasio Pit lantoa 2 (sumber: Pengolahan data).....	44
Gambar 4. 9 Desain pit lantoa 3 (sumber: Pengolahan data).....	45
Gambar 4. 10 Volume OB Pit lantoa 3 (sumber: Pengolahan data).....	45
Gambar 4. 11 Grafik Volume ORE Pit Lantoa 3 (sumber: Pengolahan data).....	46
Gambar 4. 12 Grafik Stripping rasio Pit Lantoa 3 (sumber: Pengolahan data).....	46
Gambar 4. 13 Desain pit lantoa 4 (sumber: Pengolahan data).....	47
Gambar 4. 14 Grafik Volume OB Pit Lantoa 4 (sumber: Pengolahan data).....	47
Gambar 4. 15 Grafik Volume ORE Pit Lantoa 4 (sumber: Pengolahan data).....	48

Gambar 4. 16 Grafik Stripping Rasio Pit Lantoa 4 (sumber: Pengolahan data)	48
Gambar 4. 17 Desain pit lantoa 5 (sumber: Pengolahan data)	49
Gambar 4. 18 Grafik Volume OB Pit Lantoa 5 (sumber: Pengolahan data)	49
Gambar 4. 19 Grafik Volume ORE Pit Lantoa 5 (sumber: Pengolahan data)	50
Gambar 4. 20 Grafik Stripping Rasio Pit Lantoa 5 (sumber: Pengolahan data)	50
Gambar 4. 21 Desain pit lantoa 6 (sumber: Pengolahan data)	51
Gambar 4. 22 Grafik Volume OB Pit Lantoa 6 (sumber: Pengolahan data)	51
Gambar 4. 23 Grafik Volume ORE Pit Lantoa 6 (sumber: Pengolahan data)	52
Gambar 4. 24 Grafik Stripping Rasio Pit Lantoa 6 (sumber: Pengolahan data)	52
Gambar 4. 25 Desain pit lantoa 7 (sumber: Pengolahan data)	53
Gambar 4. 26 Grafik Volume OB Pit Lantoa 7 (sumber: Pengolahan data)	53
Gambar 4. 27 Grafik Volume ORE Pit lantoa 7 (sumber: Pengolahan data)	54
Gambar 4. 28 Grafik Stripping Rasio Pit Lantoa 7 (sumber: Pengolahan data)	54
Gambar 4. 29 Desain pit lantoa 8 (sumber: Pengolahan data)	55
Gambar 4. 30 Grafik Volume OB Pit Lantoa 8 (sumber: Pengolahan data)	56
Gambar 4. 31 Grafik Volume ORE Pit Lantoa 8 (sumber: Pengolahan data)	56
Gambar 4. 32 Grafik Stripping Rasio Pit Lantoa 8 (sumber: Pengolahan data)	57
Gambar 4. 33 Analisi kestabilan lereng pit A (sumber: Pengolahan data)	59
Gambar 4. 34 Analisi kestabilan lereng pit B (sumber: Pengolahan data)	59
Gambar 4. 35 Analisis kestabilan lereng pit C (sumber: Pengolahan data)	60
Gambar 4. 36 Analisis kestabilan lereng pit D (sumber: Pengolahan data)	60

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A ORE BLOCK MODEL PIT LANTOA.....	67
LAMPIRAN B FAKTOR KEAMANAN LERENG METODE JANBU	71
LAMPIRAN C DESAIN PIT BLOK LANTOA	73



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar belakang

PT Vale Indonesia Tbk (PT Vale) merupakan perusahaan tambang dan pengolahan nikel terintegrasi yang beroperasi di Blok Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. PT Vale Indonesia Tbk. (PTVI) merupakan bagian dari Vale, perusahaan multitambang asal Brasil yang beroperasi di 30 negara dengan total pekerja dan kontraktor di seluruh unit bisnisnya mencapai 110.000 orang. PTVI menambang nikel laterit untuk menghasilkan produk akhir berupa nikel dalam matte. Volume produksi nikel PTVI rata-rata mencapai 75.000 metrik ton per tahunnya. Dalam memproduksi logam nikel, PT Vale menggunakan metode pyrometalurgi atau metode dengan jalur api dimana bijih nikel laterit dilebur dengan suhu tinggi. (PTVI, 2019)

Nikel laterit merupakan bahan galian yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Sebelum melakukan penambangan endapan bahan galian nikel laterit dibuatlah desain geometri pit yang terdiri dari tinggi lereng, lebar lereng, dan kemiringan lereng. Endapan bahan galian nikel laterit digali dengan mempertimbangkan kestabilan lereng agar proses pengambilan ore/bijih berjalan sesuai dengan kaidah teknik pertambangan. (Indrajaya,dkk, 2020)

Untuk melakukan proses eksploitasi, terlebih dahulu harus dilakukan perencanaan tambang yang yang terukur dan akurat, salah satunya adalah desain pit penambangan. Perencanaan yang akan dibuat dalam mendesain pit penambangan adalah menghitung jumlah cadangan bijih, volume pit, *over burden*,

menentukan batas penambangan dan *stripping ratio*, serta umur tambang sehingga dapat dirancang pit penambangan yang aman. (Bargawa, W.S. 2018)

Pada tambang terbuka lereng merupakan tantangan utama karena memerlukan pengetahuan tentang struktur geologi, litologi, dan sifat geoteknik massa tanah dan batuan. Stabilitas lereng dalam operasi penambangan dan penggalian terbuka sangat penting baik dari sudut pandang ekonomi maupun keselamatan, karena lereng yang tidak stabil dapat mengakibatkan hilangnya nyawa dan kerusakan properti. (Naghadhi, dkk, 2011)

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan riset dengan judul, **‘DESAIN GEOMETRI PIT & ANALISIS KESTABILAN LERENG DI PT. VALE INDONESIA TBK, SOROWAKO, KAB. LUWU TIMUR, SULAWESI SELATAN.**

B. Rumusan Masalah

Penelitian tugas akhir ini dikerjakan atas dasar masalah-masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana pengaruh geometri pit terhadap material tertambang ?
- b. Bagaimana pengaruh geometri pit terhadap kestabilan lereng?

C. Batasan Masalah

Penelitian mengenai desain geometri pit dan analisis kestabilan lereng penambangan dibatasi oleh beberapa hal berikut:

- a. Penelitian ini dilakukan di PT Vale Indonesia Tbk pada blok pit lantoa.
- b. Desain geometri pit dan analisis kestabilan lereng dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Vulcan* dan *Rockscience Slide 6.0*.
- c. Menghitung cadangan dan sumberdaya dengan software *Vulcan* dan

microsoft excel.

- d. Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan bantuan *software Rockscience Slide 6.0.*, menggunakan konsep Kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium*) metode Bishop dan metode janbu dengan pendekatan perhitungan kriteria keruntuhan *Mohr-Coulomb*.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah :

- a. Menganalisis pengaruh geometri pit terhadap material tertambang.
- b. Menganalisis pengaruh geometri pit terhadap kestabilan lereng.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

- a. Mengetahui geometri pit yang stabil dan cadangan *ore* sehingga memungkinkan dilakukan penambangan.
- b. Meminimalisir terjadinya kecelakaan akibat longsor pada lereng penambangan.
- c. Dapat dijadikan bahan perbandingan bagi penelitian yang ada kaitannya dengan rancangan geometri lereng.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Geomorfologi

Secara umum Sulawesi terletak pada pertemuan 3 lempeng besar yaitu Eurasia, Pasifik, dan IndoAustralia serta sejumlah lempeng kecil (lempeng Filipina) yang menyebabkan kondisi tektoniknya sangat kompleks. Kumpulan batuan dari busur kepulauan, batuan bancuh, Ofiolit, dan bongkah dari mikrokontinen terbawa bersama penunjaman, tubrukan, serta proses tektonik lainnya (Van Leeuwen, 1994).

Kabupaten ini memiliki luas wilayah 6.944,98 km² dengan jumlah penduduk tahun 2021, berjumlah 296.741 jiwa. Kabupaten ini terdiri atas 11 Kecamatan yakni Kecamatan Malili, kecamatan Angkona, Tomoni, Tomoni Timur, Kalena, Towuti, Nuha, Wasponda, Wotu, Burau dan Mangkutana

Pada Tahun 2011, skala perekonomian Luwu Timur yang ditunjukkan besarnya Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) atas dasar harga berlaku sudah sekitar 13,83 triliun rupiah dan terus meningkat menjadi 19,21 triliun rupiah pada tahun 2015. Pada Tahun 2016, PDRB harga berlaku Luwu Timur sedikit mengalami penurunan menjadi 19,06 triliun rupiah.

Kabupaten Luwu Timur merupakan wilayah yang memiliki curah hujan yang cukup tinggi. Selama tahun 2011, tercatat rata-rata curah hujan mencapai 258 mm, dengan rata-rata jumlah hari hujan per bulan mencapai 17 hari. Curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Desember, yakni 393 mm dengan jumlah hari hujan sebanyak 23 hari.

B. Geologi Lokal

Sorowako adalah desa di kecamatan Nuha, Luwu Timur, Sulawesi Selatan, Indonesia. Berlokasi di 2°31'13"S 121°21'27"E. Berada di ketinggian ±1388 kaki dpl dengan luas daerah sekitar 480,27 km² serta jumlah penduduk 22.582 jiwa. Desa-desa di sekitar Sorowako yang termasuk dalam Kecamatan Nuha adalah: Desa Nuha, Desa Matano, Desa Magani, Desa Nikkel dan dusun disekitarnya antara lain: Pontada, Salonsa, Old Camp, Helai dan Lawewu.

Sekarang area Sorowako sudah berkembang dan dipecah menjadi 3 desa, yaitu desa Sorowako, kelurahan Magani dan desa Nikkel. Hingga sekarang dengan adanya perusahaan *Vale Indonesia* yang dulunya PT. INCO, Tbk. beroperasi di daerah ini, menjadikan Sorowako yang dulunya penduduknya sedikit (thn 1968), sekarang (2013) sudah bertambah banyak karena sebagian besar karyawan berdomisili di daerah ini hampir 70% penduduk di Sorowako adalah pendatang yang berasal dari hampir semua provinsi di Indonesia dan sebagian kecil berasal dari *ekspatriat*. Selain itu Sorowako juga mempunyai penduduk asli yang bahasa aslinya adalah Soroako.

Geologi daerah Sorowako dan sekitarnya telah dideskripsikan sebelumnya dan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu (Golightly, 1979):

1. Satuan batuan sedimen yang berumur kapur; terdiri dari batu gamping laut dalam dan rijang. Bagian Barat Sorowako dibatasi oleh sesar naik dengan kemiringan ke arah Barat.
2. Satuan batuan ultrabasa yang berumur awal tersier umumnya terdiri dari jenis Peridotit, sebagian mengalami serpentinisasi dengan derajat yang bervariasi

dan umumnya terdapat di bagian timur. Satuan ini memiliki intrusi-intrusi pegmatit yang bersifat Gabroik dan terdapat di bagian utara.

3. Satuan aluvial dan sedimen danau (lacustrine) yang berumur Kwartar, umumnya terdapat di bagian utara dekat Desa Sorowako.

Bijih Nikel yang terdapat di bagian Tengah dan Timur Sulawesi tepatnya di Daerah Sorowako termasuk ke dalam jenis laterit nikel dan bijih nikel silikat (Garnerit). Bijih Nikel tersebut akibat pelapukan dan pelindihan (leaching) batuan ultrabasa seperti peridotit dan serpentinit dari rombakan batuan ultrabasa. Penampang lapisan bijih laterit Nikel Daerah Sorowako dapat digambarkan sebagai berikut (Ahmad, 2006):

1. Lapisan Tanah Penutup (Overburden)

Lapisan Tanah penutup terletak di bagian atas permukaan. Kondisi fisik lunak dan memiliki warna coklat kemerahan hingga gelap dengan kadar air antara 25% sampai 35%, kadar Nikel kecil 1,3% mempunyai ketebalan berkisar antara 1 -12 meter.

2. Lapisan Limonit berkadar menengah (Medium Grade Limonit)

Lapisan Limonit berkadar menengah terletak di bawah lapisan tanah penutup. Lapisan ini memiliki warna kuning kecoklatan, agak lunak, berkadarair antara 30% - 40%, kadar Nikel 1,5%, Fe 44%, MgO 3%, SiO₂ 2%. Lapisan ini mempunyai ketebalan rata-rata 3 meter

3. Lapisan Bijih (Ore)

Lapisan Bijih merupakan hasil pelapukan batuan peridotite. Lapisan ini memiliki warna kuning kecoklatan agak kemerahan. Lapisan Bijih terletak di

bagian bawah dari Medium Grade Limonit, dengan ketebalan rata-rata 7 meter. Lapisan Bijih terdapat bersama batuan yang keras atau rapuh sebagian saprolit. Kadar Ni 1,85%, Fe 16%, MgO 25%, SiO₂ 35%. Lapisan Bijih merupakan lapisan yang bernilai ekonomis untuk ditambang sebagai bijih.

4. Lapisan Batuan Dasar (Bedrock/Blue Zone)

Lapisan ini merupakan batuan peridotit yang tidak atau belum mengalami pelapukan dengan kadar Ni 1,3%. Batuan bedrock pada umumnya merupakan bongkah-bongkah massif yang memiliki warna kuning pucat sampai abu-abu kehijauan. Secara lokal batuan dasar ini disebut *Blue Zone*. Ketebalan dari masing-masing lapisan tidak merata hal tersebut tergantung dari relief.

Sejarah tektonik dan geomorfik di kompleks ini sangat penting untuk pembentukan Ni laterit yang bernilai ekonomis (Golightly, 1979). Daerah Sorowako sebagian besar disusun oleh batuan ultramafik yang membentang hingga 10.000 km² di bagian timur Sulawesi serta merupakan host dari endapan Ni laterit (Suratman, 2000).

Berdasarkan perbedaan boulder, penambangan bijih Nikel oleh PT Vale Indonesia Tbk di Sorowako terbagi atas empat daerah penambangan, yaitu Blok Barat, Blok Timur, Petea di Sorowako, Sulawesi Selatan dan Bahodopi di Morowali, Sulawesi Tengah.

Secara stratigrafi formasi-formasi batuan yang menyusun daerah penelitian dan sekitarnya terdiri atas :

1. Kompleks Ultramafik

Konpleks Ultramafik tersebar luas di bagian utara dan selatan daerah

penelitian, kompleks ini tersusun oleh satuan-satuan batuan Harzburgit, lherzolit, wehrlit, websterit, serpentin, serta dunit. Formasi ini berumur kapur.

2. Melange wasuponda

Melange wasuponda tersebar setempat di bagian barat daerah penelitian. Kompleks ini tersusun oleh satuan-satuan batuan terdiri dari bongkahan asing, sekis, gneis, batuan mafik, amfibolit, diabas malih, batuan ultramafik (pikrit), batu gamping terdaunkan juga eklogit, formasi ini berumur kapur.

3. Endapan permukaan

Tersebar sekitar danau towuti dan danau mahalona. Endapan ini tersusun oleh lempung, pasir dan kerikil. Endapan ini berumur Resen.

4. Formasi tomata

Formasi tomata tersebar setempat-setempat di bagian utara daerah penelitian. Formasi ini tersusun oleh perselingan batupasir konglomerat, batu lempung dan tuf dengan sisipan lignit, formasi ini berumur miasen.

5. Formasi masiku

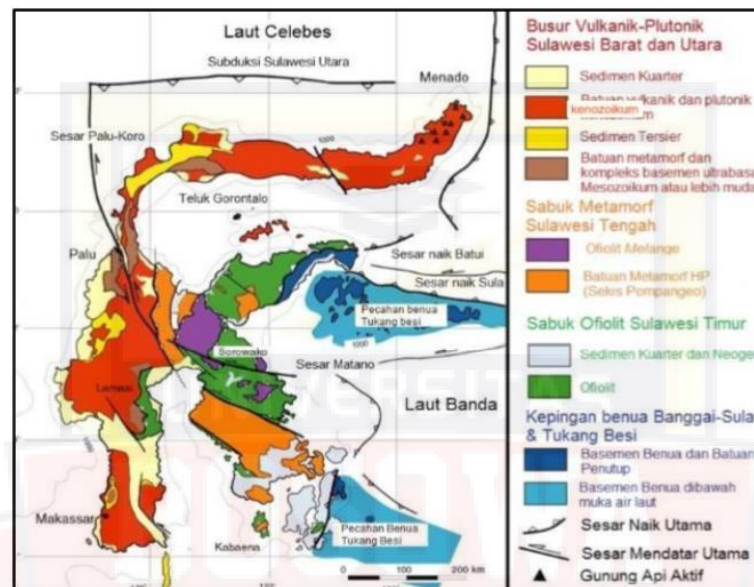
Formasi ini tersebar di bagian tenggara, formasi tersusun oleh batu sabak, serpih, filit, batupasir, batugamping dengan buncah gamping rijangan, formasi ini berumur Jura.

6. Formasi matano

Tersebar disebelah barat danau matano. Formasi tersusun oleh batu gamping hablur, kalsilit, napal, serpih, bersisipan rijang maupun batu sabak. Formasi ini berumur kapur Akhir.

7. Formasi Larona

Tersebar dibagian barat daya daerah penelitian. Formasi ini tersusun oleh konglomerat, batu pasir, batu lempung dengan sisipan tufa. Formasi ini berumur kapur.



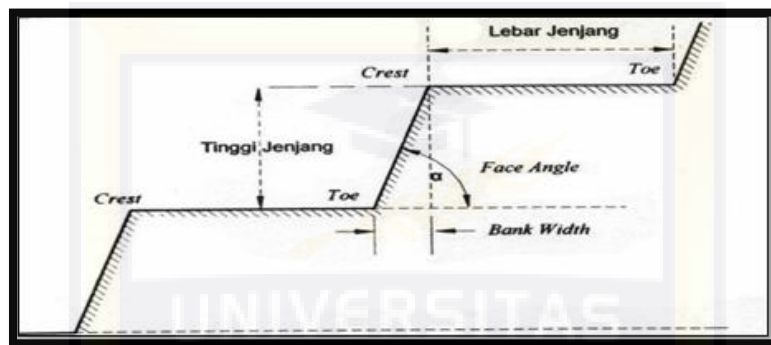
Gambar 2. 1 Geologi regional daerah Pulau Sulawesi (Kadarusman, et al ., 2004)

C. Landasan Teori

1. Desain Geometri Pit

Desain geometri pit dirancang dengan mempertimbangkan kajian teknis, geologi dan serta faktor keamanan lereng. Cadangan nikel laterit yang akan ditambang dengan menggunakan sistem tambang terbuka (surface mining) sangat dipengaruhi oleh beberapa aspek meliputi ukuran bentuk endapan nikel laterit, orientasi dan faktor kedalaman dari permukaan cadangan nikel laterit tersebut. Pada penambangan menggunakan sistem terbuka tahapan yang dilakukan dengan mendesain geometri pit tambang terdapat beberapa pertimbangan geometri pit yang harus diperhatikan yaitu geometri jenjang

(*bench*). Pada tambang terbuka, masing-masing jenjang (*bench*) memiliki permukaan bagian bagian atas dan bagian bawah yang di pisahkan jarak disebut dengan tinggi jenjang. Permukaan subvertikal yang tersingkap disebut dengan muka jenjang. Kombinasi tersebut di gambarkan dengan kaki lereng(*toe*), puncak(*crest*), dan sudut muka jenjang (*face angle*).



Gambar 2. 2 Bagian-bagian lereng (sumber: Tabay, 2010)

2. Nisbah Pengupasan (Stripping Rasio)

Stripping rasio (SR) adalah perbandingan antara jumlah volume tanah penutup yang harus dibongkar untuk mendapatkan satu ton ore Nikel pada areal yang akan ditambang. Rumusan umum yang sering digunakan untuk menyatakan perbandingan ini dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$SR = \text{VOLUME OB} / \text{VOLUME ORE}$$

3. Definisi Lereng

Lereng merupakan permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami atau buatan manusia. Lereng yang terbentuk secara alami contohnya adalah: lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia misalnya: galian dan timbunan (Arief, 2016).

a. Lereng Alam

Lereng alam atau dalam bahasa Inggris *Natural slope* adalah lereng yang terbentuk karena adanya fenomena alam yang terjadi akibat dari suatu proses geologi. Dalam perencanaan teknik jalan, lereng alam sering dijumpai pada kawasan dengan topografi berbukit dan pegunungan, dimana posisi badan jalan berada pada elevasi tanah asli (*existing ground*) berada pada di sisi sebuah bukit, atau elevasi badan jalan berada pada lereng bukit yang sebagian digali/dipotong untuk posisi badan jalan. lereng alam adalah apabila tidak ada perlakuan dan atau penanganan terhadap lereng tersebut, sehingga kestabilan dan kemantapan dari lereng alam tersebut benar-benar mengandalkan kestabilan internal yang terbentuk akibat sifat, karakteristik, dan struktur tanah serta bentuk alaminya.

b. Lereng Buatan

lereng buatan adalah lereng yang terbentuk akibat aktivitas manusia seperti pada penggalian tambang atau konstruksi galian pada pekerjaan teknik sipil. Dalam penelitian ini dibatasi pada pengertian lereng untuk suatu galian tambang. Terdapat beberapa jenis geometri pada lereng bukaan tambang, antara lain, *Single slope*, *Inter-ramp slope*, dan *Overall Pit Slope*.

c. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kemantapan Lereng

Menurut Rai (1995) faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam menganalisis kestabilan suatu lereng, antara lain:

1) Penyebaran Batuan

Pada daerah penyelidikan harus diketahui macam dan jenis dari

batuan/tanah, demikian juga dengan persebarannya. Hal ini sangat penting dilakukan karena sifat-sifat fisis dan mekanis suatu batuan dengan batuan lain berbeda sehingga kekuatan untuk menahan beban juga berbeda pula.

2) Relief permukaan bumi

Faktor ini mempengaruhi laju erosi dan pengendapan serta menentukan arah aliran air permukaan dan air tanah. Hal ini disebabkan karena untuk daerah yang curam, kecepatan aliran air permukaan tinggi dan mengakibatkan pengikisan lebih intensif dibandingkan pada daerah yang landai, karena erosi yang intensif banyak dijumpai singkapan batuan menyebabkan pelapukan yang lebih cepat. Batuan yang lapuk mempunyai kekuatan yang rendah sehingga kemantapan lereng menjadi berkurang.

3) Geometri lereng

Geometri lereng mencakup tinggi lereng dan sudut kemiringan lereng. Kemiringan dan tinggi suatu lereng sangat mempengaruhi kemantapannya. Semakin besar kemiringan dan tinggi suatu lereng maka kemantapannya semakin kecil. Muka air tanah yang dangkal menjadikan lereng sebagian besar basah dan batuan mempunyai kandungan air yang tinggi, sehingga menyebabkan kekuatan batuan menjadi rendah dan lereng lebih mudah longsor.

4) Orientasi bidang

Orientasi bidang lemah (*discontinuitas*) terhadap orientasi lereng

Struktur batuan yang sangat mempengaruhi kemantapan lereng adalah bidang- bidang sesar, perlapisan dan rekahan. Oleh karena itu perlu diperhatikan dalam analisa adalah struktur regional dan lokal. Struktur batuan tersebut merupakan bidang-bidang lemah dan sekaligus sebagai21 tempat merembesnya air sehingga batuan menjadi lebih mudah longsor. Dalam mendesain lereng haruslah mempertimbangkan arah atau orientasi bidang lemah tersebut. Dapat dilihat pada gambar dibawah, arah lereng yang sejajar dengan bidang lemah akan sangat mungkin untuk mengalami kelongsoran dibanding dengan arah lereng yang berlawanan atau tegak lurus terhadap arah bidang lemah. Hal ini disebabkan karena orientasi bidang lemah yang berlawanan dengan orientasi lereng akan menahan gaya normal yang bekerja pada lereng. Dalam istilah struktur geologi terdapat dua macam *discontinuity*, yaitu:

- a) *Mayor discontinuity*, seperti sesar (patahan)
- b) *Minor discontinuity*, seperti kekar dan bidang perlapisan

Adanya bidang-bidang lemah ini yang mempunyai arah atau orientasi, panjang, spasi dan kekuatan dari material pengisinya akan menentukan model dari potensial longsor yang terjadi.

5) Iklim

Iklim berhubungan dengan temperatur dan jumlah hujan, dimana hal ini berhubungan dengan proses pelapukan. Hal ini selanjutnya mempengaruhi dari ketebalan dari tanah dan kekuatannya. Daerah tropis akan memiliki lapisan tanah yang lebih tebal jika dibandingkan dengan

daerah sub-tropis, begitu juga dengan batuan segarnya, daerah sub-tropis memiliki batuan segar yang lebih tebal, yang pada akhirnya berpengaruh pada besar kecil kekuatan.

6) Tingkat pelapukan

Tingkat pelapukan mempengaruhi sifat- sifat asli dari batuan, misalnya angka kohesi, besarnya sudut geser dalam, bobot isi, dan lain-lain. Semakin tinggi tingkat pelapukan maka kekuatan batuan akan menurun.

7) Hasil kerja manusia

Selain faktor alamiah, manusia juga memberikan andil yang tidak kecil. Seperti suatu lereng yang awalnya mantap karena manusia menebangi pohon pelindung, pengolahan tanah yang tidak baik, saluranair yang tidak baik, penggalian / tambang, dan lainnya menyebabkan lereng tersebut menjadi tidak mantap, sehingga erosi dan longsor mudah terjadi.

8) Sifat fisik dan mekanik batuan

Sifat fisik batuan yang mempengaruhi kemantapan lereng adalah : bobot isi (*density*), porositas dan kandungan air. Kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, kohesi dan sudut geser dalam merupakan sifat mekanik batuan yang juga mempengaruhi lereng.

4. Definisi Tanah Longsor Menurut Para Pakar

- a. Skempton dan Hutchinson (1969), tanah longsongsor atau gerakan tanah di definisikan sebagai gerakan menuruni lereng oleh massa tanah dan atau batuan penyusun lereng akibat terganggunya kestabilan tanah atau batuan lereng tersebut.

- b. Brunsdan (1984) mengusulkan gerakan massa (*mass movement*) yang dianggap lebih tepat dipakai dalam mendefinisikan proses Gerakan massa penyusun lereng, daripada istilah longsor (*landslide*) yang lebih populer dikenal di masyarakat.
- c. Arsyad (1989) mengemukakan bahwa longsor terjadi sebagai akibat munculnya suatu volume diatas suatu lapisan agak kedap air yang jenuh air. Dalam hal ini lapisan terdiri dari tanah liat atau mengandung kadar tanah liattinggi dan juga dapat berupa lapisan batuan napal liat (*clay shale*) setelah jenuh air akan bertindak sebagai peluncur.
- d. Crudden (1991) mendefinisikan longSORan (*land slide*) sebagai pergerakan suatu massa batuan, tanah atau bahan rombakan, material lereng (yang merupakan pencampuran tanah dan batuan) menuruni lereng.
- e. Brook dkk. (1991) mengatakan tanah longsor adalah salah satu bentuk dari Gerakan massa tanah, batuan, dan runtuhan batuan/tanah yang terjadi seketika yang bergerak menuju lereng bawah tanah yang dikendalikan oleh gaya gravitasi dan meluncur dari atas suatu lapisan kedap yang jenuh air (bidang luncur). Oleh karena itu tanah longsor juga dikatakan sebagai bentukerosi.

5. Jenis-Jenis LongSORan

a. LongSORan Bidang

LongSORan bidang merupakan merupakan suatu longSORan batuan yang terjadi sepanjang bidang luncur yang dianggap rata. Bidang luncur tersebut dapat berupa bidang sesar, rekahan maupun bidang perlapisan batuan

(Gambar 2.3). Menurut Wyllie dan Mah (2004) longsoran bidang dapat terjadi apabila memenuhi beberapa syarat antara lain:

- a. Arah bidang luncur sejajar atau mendekati sejajar dengan arah bidang permukaan lereng dengan perbedaan maksimal 20°
- b. Bagian ujung atas permukaan bidang gesek memotong bagian atas lereng atau berujung pada retakan tarik.
- c. Terdapatnya bidang bebas yang merupakan batas lateral dari massa batuan yang longsor.
- d. Kemiringan bidang luncur harus lebih kecil dari kemiringan lereng, atau pada Gambar 2.3 $p < f \psi \psi$.
- e. Kemiringan bidang luncur lebih besar dari pada sudut gesek dalam, atau pada Gambar 2.3 $p > \phi$.

Berdasarkan kondisi diatas dapat disusun suatu hubungan yaitu: $f > p > \phi$

Keterangan :

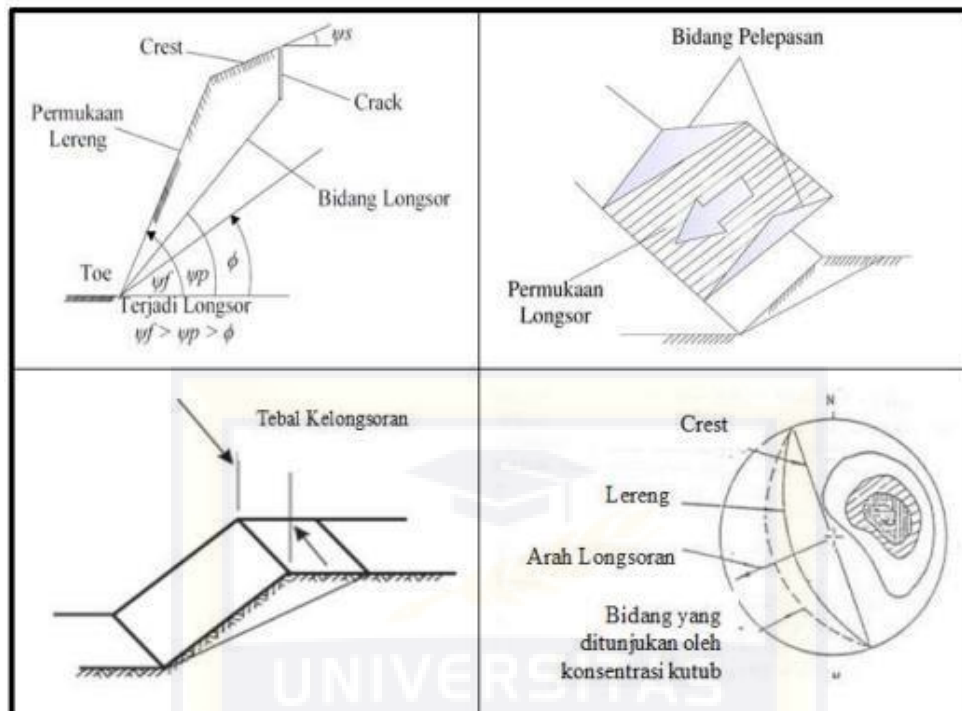
f = Kemiringan muka lereng

p = Kemiringan dari bidang diskontinyu

ϕ = Sudut gesek dalam

Asumsi yang digunakan dalam analisis longsoran bidang di antaranya :

- a) Jurus permukaan bidang luncur dan retakan tarik mempunyai arah sejajar dengan lereng.
- b) Retakan tarik mempunyai arah vertikal dan terisi air dengan kedalaman tertentu.
- c) Air masuk menuju bidang luncur melalui dasar dari retakan tarik dan meresap di sepanjang bidang luncur.



Gambar 2. 3 Longsor Bidang (Hoek & Bray, 1981)

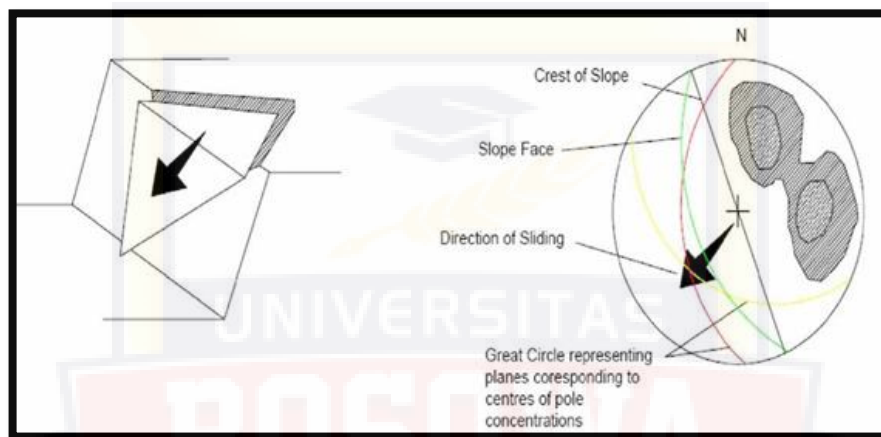
b. Longsor Baji

Longsor ini hanya bisa terjadi pada batuan yang mempunyai lebih dari satu bidang lemah yang saling berpotongan. Sudut perpotongan antara bidang lemah tersebut lebih besar dari sudut gesek dalam batuan (Gambar 2.3). Bidang lemah ini dapat berupa bidang sesar, rekahan (joint) maupun bidang perlapisan. Menurut Wyllie dan Mah (2004) longsor baji dapat terjadi dengan syarat geometri sebagai berikut :

- a. Dua bidang berpotongan dalam satu garis.
- b. Kemiringan garis perpotongan kedua bidang harus lebih landai dibandingkan dengan kemiringan muka lereng dan lebih curam dari sudut gesek dalam rata-rata dua bidang lurus, $f_i > i$.
- c. Permukaan bidang lemah a dan bidang lemah b rata, tetapi kemiringan

bidang lemah a lebih besar daripada bidang lemah b (Bidang yang mempunyai kemiringan lebih besar dinamakan bidang a dan sebaliknya bidang b).

- d. Kemiringan garis perpotongan harus menuju keluar muka lereng agar longsoran baji mungkin terjadi.

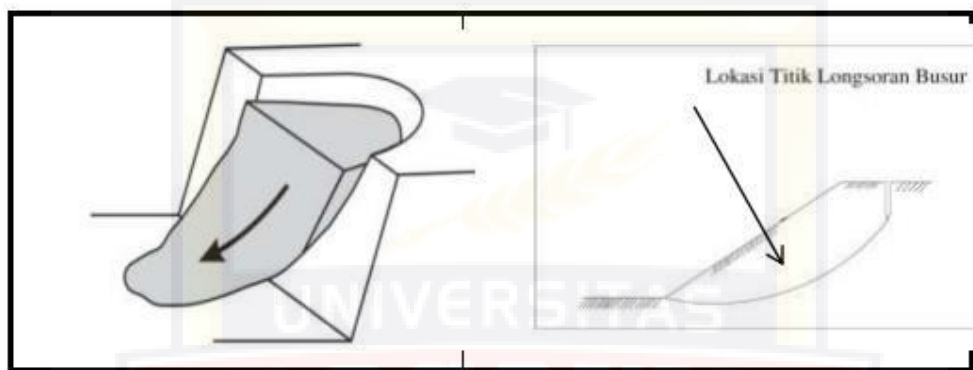


Gambar 2. 4 Longsoran Baji (Hoek & Bray, 1981)

c. Longsoran Busur

Longsoran batuan yang terjadi sepanjang bidang luncur yang berbentuk busur disebut longsoran busur. Longsoran busur paling umum terjadi di alam, terutama pada batuan yang lunak (tanah). Longsoran busur dapat terjadi pada batuan keras jika batuan tersebut sudah mengalami pelapukan dan mempunyai bidang lemah (rekahan) yang sangat rapat dan tidak dapat dikenal lagi kedudukannya. Longsoran busur terjadi jika partikel individu pada suatu tanah atau massa batuan sangat kecil dan tidak saling mengikat. Batuan yang telah lapuk oleh sebab itu cenderung mempunyai sifat seperti tanah. Tanda pertama suatu longsoran busur biasanya berupa suatu rekahan

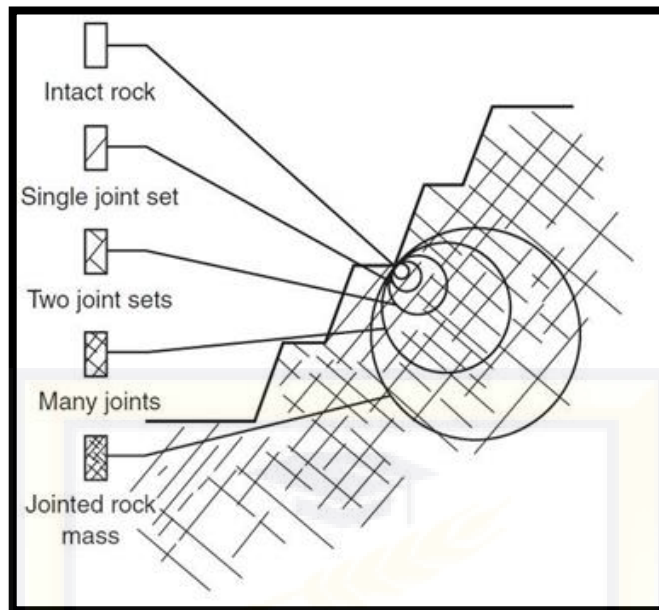
tarik permukaan atas atau muka lereng, kadang-kadang disertai dengan menurunnya sebagian permukaan atas lereng yang berada disamping rekahan. Penurunan ini menandakan adanya gerakan lereng yang pada akhirnya akan terjadi longsor, hanya dapat dilakukan apabila belum terjadi gerakan lereng tersebut (Gambar 2.5).



Gambar 2. 5 Longsor Busur (Hoek & Bray, 1981)

d. Longsor Guling

Longsor guling terjadi pada batuan yang keras dan memiliki lereng terjal dengan bidang – bidang lemah yang tegak atau hampir tegak dan arahnya berlawanan dengan arah kemiringan lereng. Longsor ini dapat berbentuk blok atau bertingkat. Kondisi untuk menggelincir atau meluncur ditentukan oleh sudut gesek dalam dan kemiringan bidang luncurnya, tinggi balok dan lebar balok terletak pada bidang miring (Gambar 2.6)



Gambar 2. 6 Longsoran Guling (Hoek & Bray, 1981)

e. Stabilitas Lereng

Masalah Stabilitas lereng di dalam suatu pekerjaan yang melibatkan kegiatan penggalian maupun penimbunan merupakan masalah penting karena melibatkan keselamatan manusia, peralatan, dan bangunan yang ada di sekitar lereng tersebut. Di alam, tanah maupun batuan umumnya berada dalam kesetimbangan (*equilibrium*), artinya keadaan distribusi tegangan pada tanah atau batuan tersebut dalam keadaan mantap. Apabila tanah ataupun batuan tersebut dikenakan suatu kegiatan, seperti penggalian, penurunan, penimbunan, pengangkutan, erosi atau aktivitas lain yang membuat terganggunya kesetimbangan, tanah ataupun batuan tersebut akan berusaha mencapai kesetimbangan baru dengan cara melepaskan beban terutama dalam bentuk longsoran.

Permukaan lereng yang tidak datar memiliki kemiringan tertentu terhadap

bidang horizontal yang dapat menyebabkan komponen berat tanah yang sejajar dengan kemiringan bergerak ke arah bawah. Bila berat tanah tersebut cukup besar longsor tanah dapat terjadi, dengan kata lain gaya dorong melampaui gaya yang berlawanan dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor. Tanah yang tidak datar akan menghasilkan gaya gravitasi dari berat tanah yang cenderung menggerakkan massa tanah dari elevasi yang lebih tinggi ke elevasi yang lebih rendah.

Diperlukan suatu cara untuk menjaga stabilitas lereng, salah satunya adalah dengan perkuatan lereng. Perkuatan lereng dibutuhkan agar tidak terjadi keruntuhan akibat beban di atasnya. Secara umum terdapat 2 (dua) cara agar lereng menjadi stabil (Wesley, 2010) yaitu sebagai berikut:

- 1) Gaya penggerak atau momen penggerak diperkecil dengan cara mengubah bentuk lereng yang bersangkutan seperti mengubah lereng lebih landai atau mengurangi sudut kemiringan lereng, memperkecil ketinggian lereng dan mengubah lereng menjadi lereng bertingkat (*multi slope*).
- 2) Gaya melawan atau momen diperbesar yaitu dengan cara menggunakan *counterweight* yaitu timbunan pada kaki lereng, mengurangi tekanan air pori di dalam lereng dan memasang tiang dan membuat dinding penahan tanah.
- 3) Secara teknis stabilitas didefinisikan sebagai faktor keamanan. Faktor keamanan (*safety factor*) itu sendiri merupakan perbandingan antar kekuatan geser (*shear strength*) yang bekerja menahan kelongsoran

dengan tegangan geser (*share stress*) yang bekerja mendorong longsor karena berat tanah itu sendiri. Di bawah ini akan menunjukkan nilai-nilai kestabilan suatu lereng menurut Hardiyatmo 2006.

kestabilan lereng dapat dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK) dimana:

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

- a) $FK > 1,25$ Massa tanah pada lereng dianggap stabil
- b) $FK < 1,25$ Massa tanah pada lereng dianggap tidak stabil
- c) $FK = 1,2$ Massa tanah pada lereng diambang kelongsoran

Terdapat rumus perhitungan faktor keamanan lereng yang diperkenalkan oleh Fellenius dan kemudian dikembangkan oleh Lamde dan Whitman (1969) dan Parcher dan Means (1974) untuk mengetahui tingkat kestabilan lereng ini. rumus dasar faktor keamanan lereng dinyatakan pada **Persamaan (2.1)**, **Persamaan (2.2)**, rumus didasari berdasarkan **Gambar 2.7** dan **Gambar 2.8**.

$$r = CL + \{(w + v) \cos a - \mu\} \tan \phi$$

$$S = (w + v) \sin a$$

$$F = rs \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

F = Faktor keamanan lereng

L = Panjang segmen bidang gelincir (m)

r = Gaya ketahanan geser/ tanah geser sepanjang L (ton/m²)

s = Gaya dorong geser (ton/m^2)

c = Kohesi massa lereng (ton/m^2)

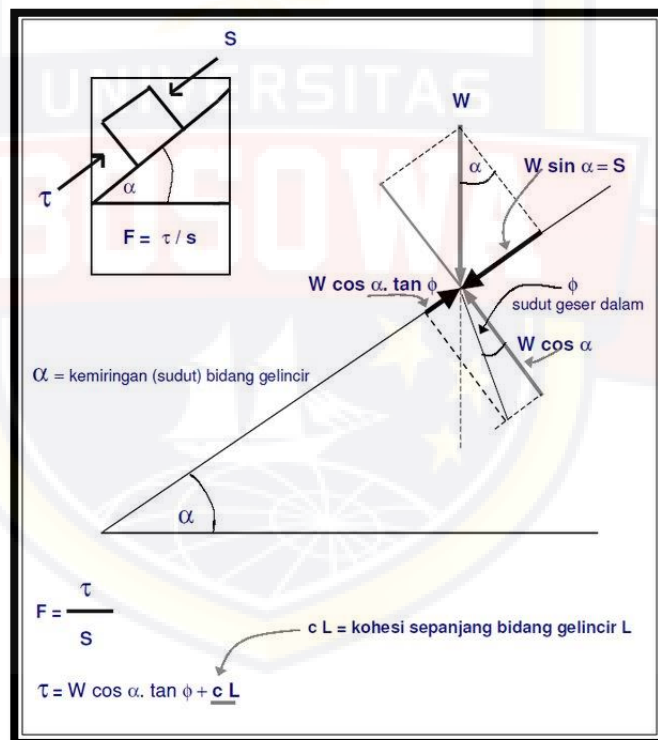
ϕ = Sudut geser pada massa lereng ($^\circ$)

W = Bobot diatas massa segmen L (ton) V = Beban luar

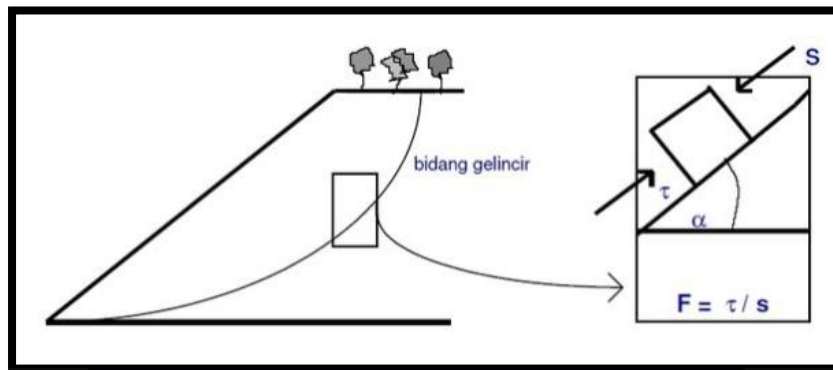
μ = Tekanan pori

h = Panjang garis ekuipotensial ke titik L (m)

α = Sudut yang dibentuk oleh bidang gelincir dengan bidang horizontal ($^\circ$).



Gambar 2. 7 Sketsa lereng bekerja pada satu potong (amde & Whitman, 1969 dan Parcher & Means, 1974)



Gambar 2. 8 Sketsa lereng dan gaya yang bekerja (Lamde & Whitman, 1969 dan Parcher & Means, 1974)

Ada beberapa persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung nilai faktor keamanan. Persamaan-persamaan yang sering digunakan untuk menentukan nilai faktor keamanan diasumsikan nilai faktor keamanan tidak akan berubah pada bidang-bidang diskontinu, dan dianggap berhubungan dengan kesetimbangan momen dan/atau kesetimbangan gaya (Cheng dan Lau, 2008).

1) Kesetimbangan Momen

Pada umumnya digunakan untuk analisis momen inersia, dengan mempertimbangkan bidang gelincirnya, maka persamaan kesetimbangan

momen sebagai berikut:

$$F_m = \frac{Mr}{Md} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

Mr = jumlah dari momen penahan (*resisting moment*).

Md = jumlah momen penggerak (*driving moment*) Titik pusat efektif digunakan sebagai pusat momen, seperti pada longsoran busur,

pusat lingkaran menjadi pusat momen. Pada bidang gelincir *non circular*, titikpusat harus dipertimbangkan (Cheng dan Lau, 2008).

2) Kestimbangan Gaya

Diaplikasikan pada keruntuhan sejajar maupun rotasional termasuk pada bidang gelincir planar, atau bidang gelincir poligonal. Persamaan kestimbangan gaya sebagai berikut:

$$F_f = \frac{F_r}{F_d} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

F_r = jumlah dari gaya penahan (*resisting forces*)

F_d = jumlah momen penggerak (*driving forces*)

Geotechnical Engineering Office (GEO) menentukan nilai dari faktor keamanan didasarkan pada pertimbangan dari periode hujan, efek keruntuhan lereng dan pengetahuan tentang perilaku jangka panjang dari material penyusun lereng.

f. Faktor Keamanan

Karena lereng terbentuk oleh banyaknya variabel dan banyaknya faktor ketidak pastian antara lain parameter-parameter tanah seperti kuat geser tanah, kondisi tekanan air pori maka dalam menganalisis selalu dilakukan penyederhanaan dengan berbagai asumsi. Secara teoritis massa yang bergerak dapat dihentikan dengan meningkatkan kekuatan gesernya. Hal yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan kriteria faktor keamanan adalah resiko yang dihadapi, kondisi beban dan parameter yang digunakan dalam melakukan analisis stabilitas lereng. Resiko yang dihadapi dibagi menjadi tiga

yaitu: tinggi, menengah dan rendah. Tugas seorang engineer meneliti stabilitas lereng untuk menentukan faktor keamanannya.

$$FK = \frac{cf}{cd} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana

FK = Angka kewanan dari suatu tanah

τ_f = Kekuatan geser rata-rata dari tanah

τ_d = Tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor

Kekuatan geser suatu lahan terdiri dari dua komponen, friksi (gesekan)

dan kohesi. Dapat ditulis dalam persamaan

$$\tau_f = c + \sigma_f \tan \phi \dots \dots \dots (2.5)$$

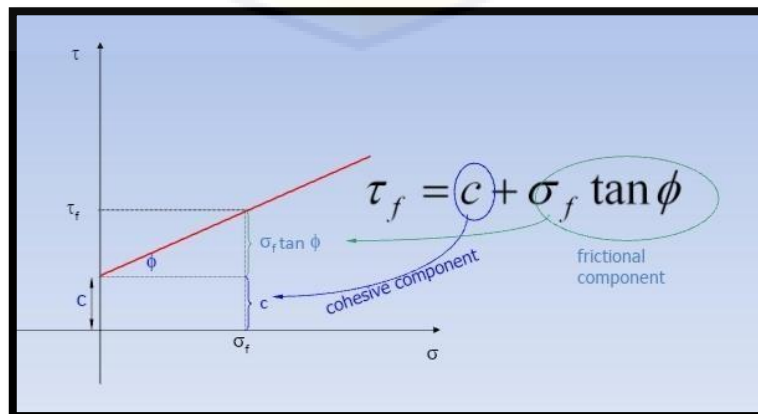
Dimana

C = Kohesi tanah penahan

ϕ = Sudut geser penahan

σ = Tegangan normal rata-rata pada permukaan bidang longsor

Didalam sebuah grafik hubungan antara kohesi dan friksi seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 9 Grafik antara kohesi dan friksi (sumber: google)

Hubungan antara kohesi dan friksi terhadap kuat geser rata-rata tanah Pada tegangan geser rata-rata yang bekerja dalam bidang longsor, dapat ditulis persamaannya sebagai berikut:

$$\tau_d = c + \sigma_d \tan \phi \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana =

c = Kohesi tanah penahan

ϕ = Sudut geser penahan yang bekerja pada bidang longsor

σ_d = Tegangan normal rata-rata pada permukaan bidang longsor Dari kedua persamaan diatas maka nilai faktor keamanan dapat kita tuliskan sebagai,

$$FK = \frac{c + \sigma_d \tan \phi}{c + \sigma_d \tan \phi} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dari persamaan diatas kita mengetahui bahwa terdapat beberapa parameter lain yang mempengaruhi nilai keamanan, yaitu keamanan terhadap kohesi (F_c) dan keamanan terhadap sudut geser (F_ϕ), dapat kita rumuskan,

$$F_c = \frac{c}{c} \text{ dan } F_\phi = \frac{\tan \phi}{\tan \phi} \text{ Jika } \frac{c}{c} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi} \dots \dots \dots (2.8)$$

Maka kita dapat menuliskan

$$FK = F_c = F_\phi \dots \dots \dots (2.9)$$

FK sama dengan 1 maka lereng dalam keadaan akan longsor. Biasanya, 1.5 untuk angka keamanan terhadap kekuatan geser yang dapat diterima untuk merencanakan suatu stabilitas lereng (SKBI-2.3.06, 1987). Dalam kajian tentang analisis lereng, Bowles 1989 (dalam Zakaria, 2010) memberikan nilai FK dengan maknanya seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 1 Nilai F dan maknanya (Bowles 1989, dalam Zakaria, 2010)

Nilai Faktor Keamanan	Makna Lereng	Kejadian Pada Lereng
$F > 1,25$	Relatif Stabil	Jarang Longsor
$1,25 < F < 1,07$	Kritis	Pernah Longsor
$F < 1,07$	Labil	Sering Longsor

Pengolahan data hasil penyelidikan geoteknik yang menggambarkan model dengan parameter yang ditetapkan dari probabilitas longsor sebagaimana tabel berikut :

Tabel 2.2 Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor (sumber : KEPMEN ESDM No.1827 K/ 30/ MEM/ 2018)

Jenis Lereng	Keparahan Longsor	Kriteria dapat diterima		
		Faktor Keamanan Statis	Faktor Keamanan Dinamis	Probabilitas Longsor (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%
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%

Kemantapan lereng tergantung pada gaya-gaya penggerak dan gaya penahan yang ada pada lereng tersebut. Gaya-gaya penggerak, berupa gaya berat, gaya tiris atau muatan sedangkan gaya-gaya penahan berupa gaya gesekan atau geseran, kohesi dan kuat geser. Apabila gaya penggerak lebih besar dibanding gaya penahan maka akan menyebabkan terjadinya kelongsoran. Tetapi, bila gaya

penahan lebih besar dari gaya penggerak, maka lereng tersebut tidak akan mengalami kelongsoran atau lereng dalam keadaan stabil (Andriani dkk, 2018).

FK sama dengan 1 maka lereng dalam keadaan akan longsor. Biasanya, 1.5 untuk angka keamanan terhadap kekuatan geser yang dapat diterima untuk merencanakan suatu stabilitas lereng (SKBI-2.3.06, 1987).

Parameter yang digunakan menyangkut hasil pengujian dengan harga batas atau sisa dengan mempertimbangkan ketelitiannya. Tabel 2.3 memperlihatkan faktor keamanan terendah berdasarkan hal-hal tersebut di atas.

Tabel 2.3 Faktor Keamanan Minimum Stabilitas Lereng (sumber: (SKBI-2.3.06.1987))

Dampak Resiko	Keadaan Beban	Kriteria Kekuatan Geser			
		Maksimal		Minimal	
		Akurat	Kurang akurat	Akurat	Kurang Akurat
Tinggi	Gempa	1,50	1,75	1,35	1,5
	Tidak Gempa	1,80	2,00	1,60	1,80
Menengah	Gempa	1,30	1,60	1,20	1,40
	Tidak Gempa	1,50	1,80	1,35	1,50
Rendah	Gempa	1,10	1,25	1,00	1,10
	Tidak Gempa	1,25	1,40	1,10	1,20

Resiko tinggi jika ada konsekuensi terhadap manusia cukup besar (ada pemukiman), dan atau bangunan sangat mahal, dan atau sangat penting. Resiko menengah bila ada konsekuensi terhadap manusia tetapi sedikit (bukan pemukiman), dan atau bangunan tidak begitu mahal dan atau tidak begitu penting. Resiko rendah bila tidak ada konsekuensi terhadap manusia dan terhadap bangunan (sangat murah) (SKBI-2.3.06.1987).

6. Analisis Kemantapan Lereng Dengan Metode Kesetimbangan

Batas Analisis longsor dan kestabilan lereng dinding akhir pada rencana penambangan dengan menggunakan konsep kesetimbangan batas, secara prinsip gaya geser yang diperlukan untuk mempertahankan kemantapan akan dibandingkan dengan gaya yang menyebabkan longsor. Pada longsor berbentuk busur, gaya-gaya tersebut diperhitungkan pada bidang gelincir yang berbentuk busur. Gaya penyebab longsor yang selanjutnya disebut sebagai momen penggerak berasal dari berat tanah/batuan dan berat air yang berada di atas bidang gelincir. Gaya atau momen penahan longsor berasal dari kekuatan geser tanah/batuan sepanjang bidang gelincir. Kedua momen ini dibandingkan sehingga didapatkan faktor keamanan (FK) pada bidang yang berbentuk busur tersebut.

a. Metode Bishop Simplified

Salah satu dari metode keseimbangan batas untuk longsor busur (*Circular Failure*) yaitu metode Bishop. Metode ini menjelaskan keseimbangan gaya vertikal untuk setiap segmen dan keseimbangan momen keseluruhan yang berkaitan dengan pusat lingkaran. Lapisan yang berada di atas bidang longsor dibagi dalam beberapa segmen tegak agar perlapisan tanah/batuan dapat dipertimbangkan lebar dari tiap segmen tidak harus sama. Gaya normal pada dasar tiap segmen ditentukan dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam arah vertikal. Metode ini mengabaikan gaya gesek pada segmen dan kemudian mengasumsikan suatu gaya normal cukup untuk mendefinisikan gaya – gaya antara segmen (Bishop, 1955).

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

b. Metode Janbu

Simplified Metode Janbu yang disederhanakan termasuk salah satu metode yang populer dan sering digunakan dalam analisis kestabilan lereng. Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu gaya geser antar irisan sama dengan nol. Metode ini memenuhi kesetimbangan gaya dalam arah vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan gaya dalam arah horisontal untuk semua irisan, namun kesetimbangan momen tidak dapat dipenuhi. Sembarang bentuk bidang runtuh dapat dianalisis dengan metode ini.

c. Metode Morgenstern-Price

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

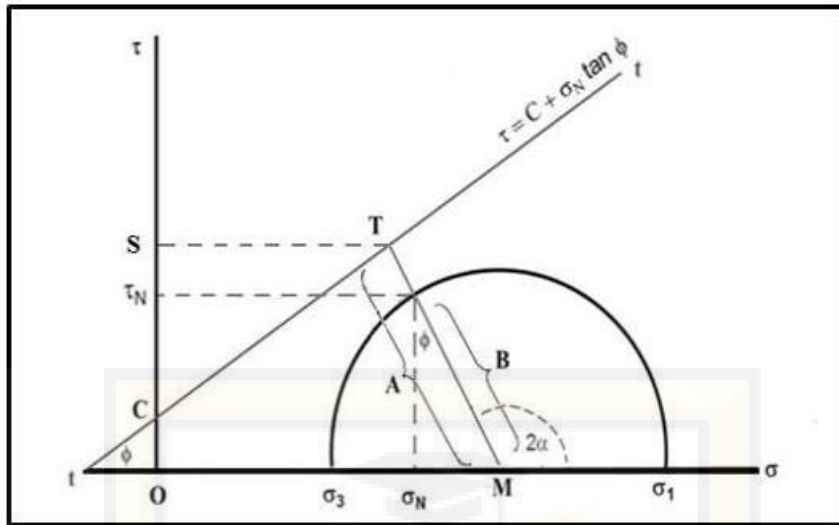
Prinsip dari perhitungan faktor keamanan dalam metode *Morgenstern Price* adalah mencari pasangan nilai faktor keamanan dan faktor skala, sehingga syarat batas pada irisan terakhir dapat dipenuhi. Persyaratan lainnya yang

harus dipenuhi adalah tidak ada gaya normal pada dasar irisan yang mempunyai nilai negatif dan semua titik kerja gaya antar irisan harus berada di dalam massa gelinciran.

7. Kriteria Keruntuhan Mohr – Coulomb

Menurut Saptono 2012, kriteria runtuh Mohr – Coulomb sampai saat ini masih banyak digunakan untuk menganalisis lereng. Kriteria runtuh Mohr – Coulomb sangat sederhana dan sangat praktis pada penerapannya, yaitu dengan hanya mengetahui kohesi dan sudut gesek dalam maka kriteria runtuh sudah dapat diperoleh. Kriteria runtuh Mohr-Coulomb merupakan kriteria yang pertama & sederhana, walaupun kurang teliti dalam mempresentasikan batuan. Kriteria ini sering digunakan untuk memecahkan permasalahan mekanika tanah, karena pada umumnya tanah memiliki selubung kuat dengan kuat tarik = nol. Untuk mendapatkan kohesi dan sudut gesek dalam juga dapat dilakukan dengan cara membuat garis regresi linier dari titik – titik tegangan normal (σ_n) dan tegangan geser (τ) hasil uji geser langsung laboratorium. Sudut gesek dalam ditentukan dari sudut yang dibentuk oleh garis regresi dengan garis horisontal, dan kohesi dari titik perpotongan garis regresi pada garis koordinat tegangan geser (τ) pada sistem koordinat $\sigma_n - \tau$.

Menurut Rai, dkk. (2013), untuk mempermudah perhitungan didalam kriteria runtuh Mohr-Coulomb maka selubung Mohr dianggap sebagai garis lurus dan persamaannya dinyatakan sebagai kriteria runtuh Mohr-Coulomb yang didefinisikan pada Gambar 2.10



Gambar 2. 10 Kriteria Mohr-Coulomb (Rai dkk, 2013)

$$\tau = c + \mu \sigma \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

τ = Tegangan geser (kPa)

σ_n = Tegangan normal (kPa)

μ = Koefisien gesek dalam dari batuan = $\tan \phi$

c = Kohesi (kPa)

Faktor keamanan dengan menggunakan kriteria runtuh Mohr-Coulomb ditentukan berdasarkan jarak dari titik pusat lingkaran Mohr ke garis kekuatan batuan (kurva intrinsik) dibagi dengan jari-jari setengah lingkaran Mohr-Coulomb. Faktor keamanan ini menyatakan perbandingan keadaan kekuatan batuan terhadap tegangan yang bekerja pada batuan tersebut.

$$\begin{aligned} \text{Faktor Keamanan} &= \frac{A}{B} = \left(\frac{c}{\tan \phi} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sin \phi} \right) \\ &= \frac{2}{\sigma_1 - \sigma_3} = 2 \end{aligned}$$

Keterangan :

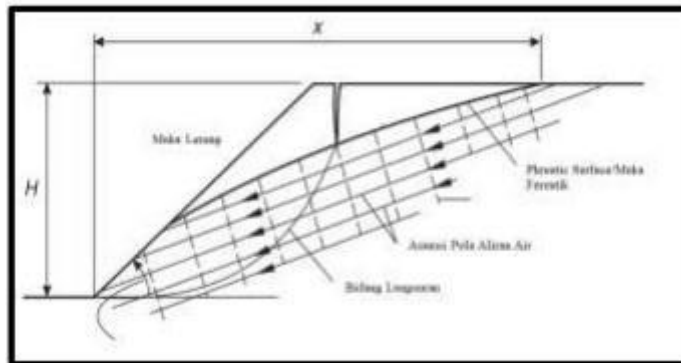
A = Jarak dari titik pusat lingkaran Mohr ke kurva intrinsik

B = Jari-jari setengah lingkaran Mohr-Coloumb

8. Asumsi Aliran Air Bawah Tanah Menurut Hoek & Bray (1981)

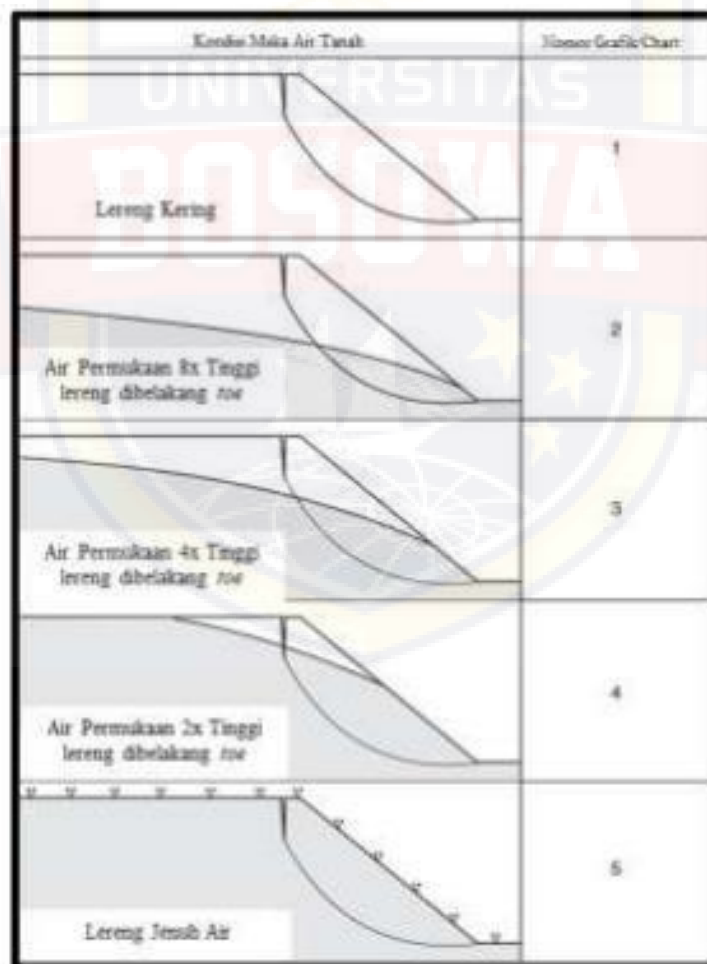
Dalam perhitungan nilai faktor keamanan lereng dan pengaruh tekanan air terhadap nilai FK diperlukan asumsi yang dapat menunjukkan bentuk aliran air bawah tanah pada lereng dan mendekati bentuk aliran aslinya di lapangan. Diketahui bahwa aliran air bawah tanah dominan mengalir pada lokasi bidang lemah batuan, dimana batuan bersifat impermeable. Dalam lereng dengan litologi tanah, batuan bongkaran (*waste rock*) maupun batuan lepas memiliki permeabilitas yang lebih besar dibanding batuan asli (*intact rock*) oleh karena itu bentuk aliran air bawah tanah pada lereng akan menunjukkan bentuk aliran yang umum.

Muka freatik yang terdapat pada lereng menunjukkan batas tekanan air pori sama dengan tekanan atmosfer (Gambar 2.11), sehingga garis aliran air atau *flow line* akan sejajar dengan muka *freatic* tersebut. Permukaan muka freatic tersebut diasumsikan dengan perhitungan "x" sebagai jarak dari dasar lereng dikalikan 46 dengan tinggi lereng "H", perhitungan tersebut diusulkan oleh L. Casagrande (1934) dan didiskusikan oleh Taylor (1937) dalam tulisannya.



Gambar 2. 11 Konsep Penentuan Bentuk Aliran Air Bawah Tanah (Hoek & Bray, 1981)

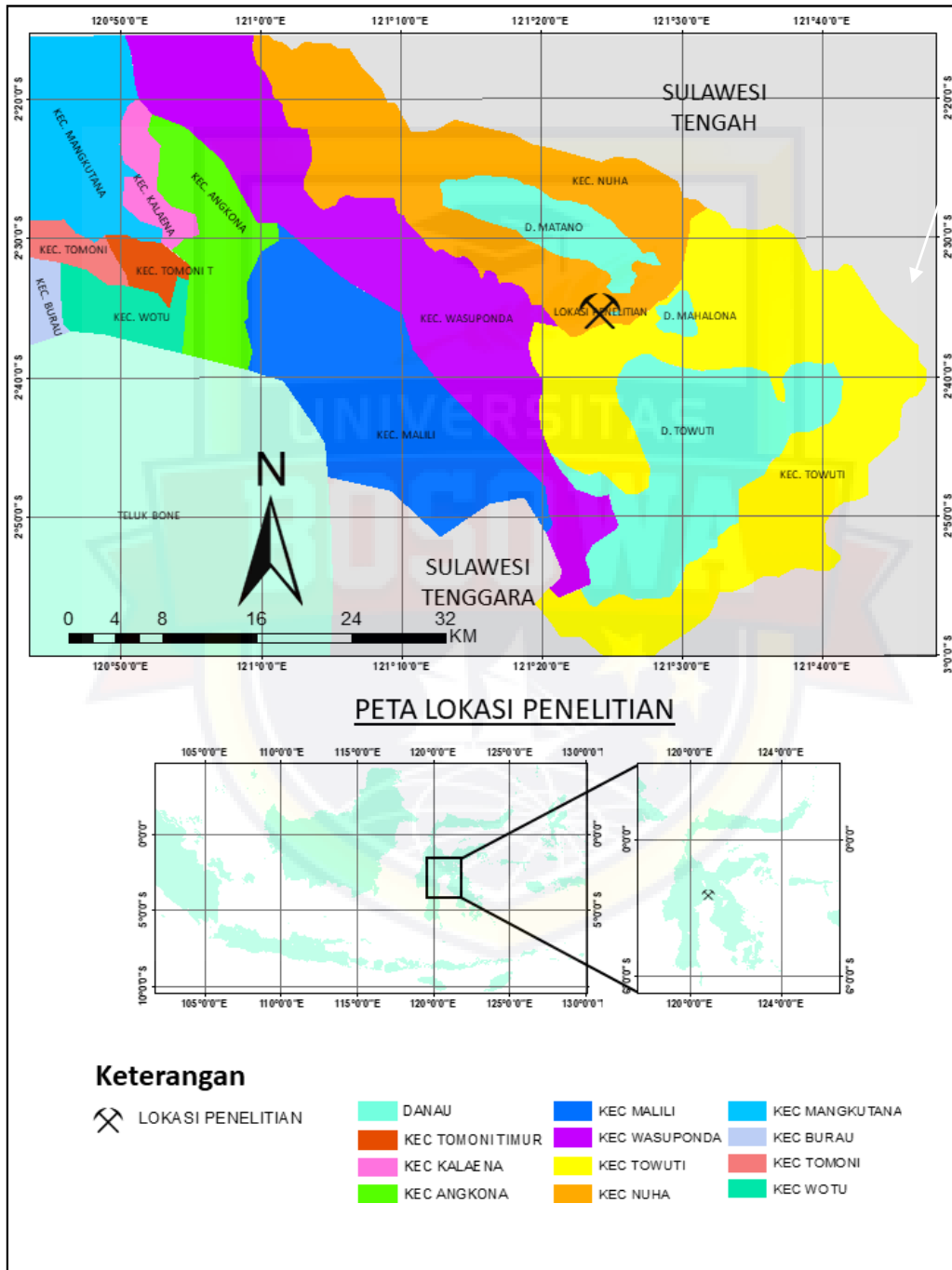
Permodelan bentuk aliran air bawah tanah pada lereng dapat dilihat pada pada Gambar dibawah ini disesuaikan dengan lima kondisi muka air tanah.



Gambar 2. 12 Bentuk Aliran Air pada Lereng Tiap Kondisi MAT (Hoek & Bray, 1981)

BAB III METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian



Gambar 3. 1 Lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. Vale Indonesia, Tbk yang secara administratif berada di desa Sorowako, kecamatan Nuha, kabupaten luwu timur, provinsi Sulawesi Selatan dengan letak astronomis $120^{\circ}30'$ BT dan $6^{\circ}30'$ LS sampai $5^{\circ}30'$ LS. Berlokasi di $2^{\circ}31'13''S$ $121^{\circ}21'27''E$. Berada di ketinggian ± 1388 kaki dpl dengan luas daerah sekitar $480,27 \text{ km}^2$ serta jumlah penduduk 22.582 jiwa. Desa-desa di sekitar Sorowako yang termasuk dalam Kecamatan Nuha adalah: Desa Nuha, Desa Matano, Desa Magani, Desa Nikkel dan dusun disekitarnya antara lain: Pontada, Salonsa, Old Camp, Helai dan Lawewu. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.

B. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap penelitian. Tahapan penelitian berupa studi literatur, pengambilan data, pengolahan dan analisis data, dan penarikan kesimpulan apakah rancangan tersebut memenuhi kriteria keamanan atau tidak. Jika tidak memenuhi kriteria keamanan, maka akan dilakukan perubahan variasi lebar jentang. Alur penelitian dapat dilihat pada diagram alir yang ada pada Gambar 1.1. Tahap-tahap dalam penelitian ini meliputi:

1. Studi literatur

Studi literatur ditujukan untuk mencari referensi teori maupun data yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan, sehingga diperoleh sumber yang digunakan sebagai acuan dan juga sebagai bahan penunjang dalam penelitian.

2. Observasi Lapangan

Penelitian yang dilakukan di lapangan bertujuan untuk memperoleh data

primer dengan melakukan pengamatan secara langsung terhadap kondisi pada lokasi penelitian yang berhubungan dengan perancangan desain geomtri pit dan analisis kestabilan lereng penambang.

3. Pengambilan Data

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang di peroleh secara langsung di perusahaan.

- 1) Volume OB dan ORE
- 2) Nilai stripping rasio
- 3) Nilai faktor keamanan lereng

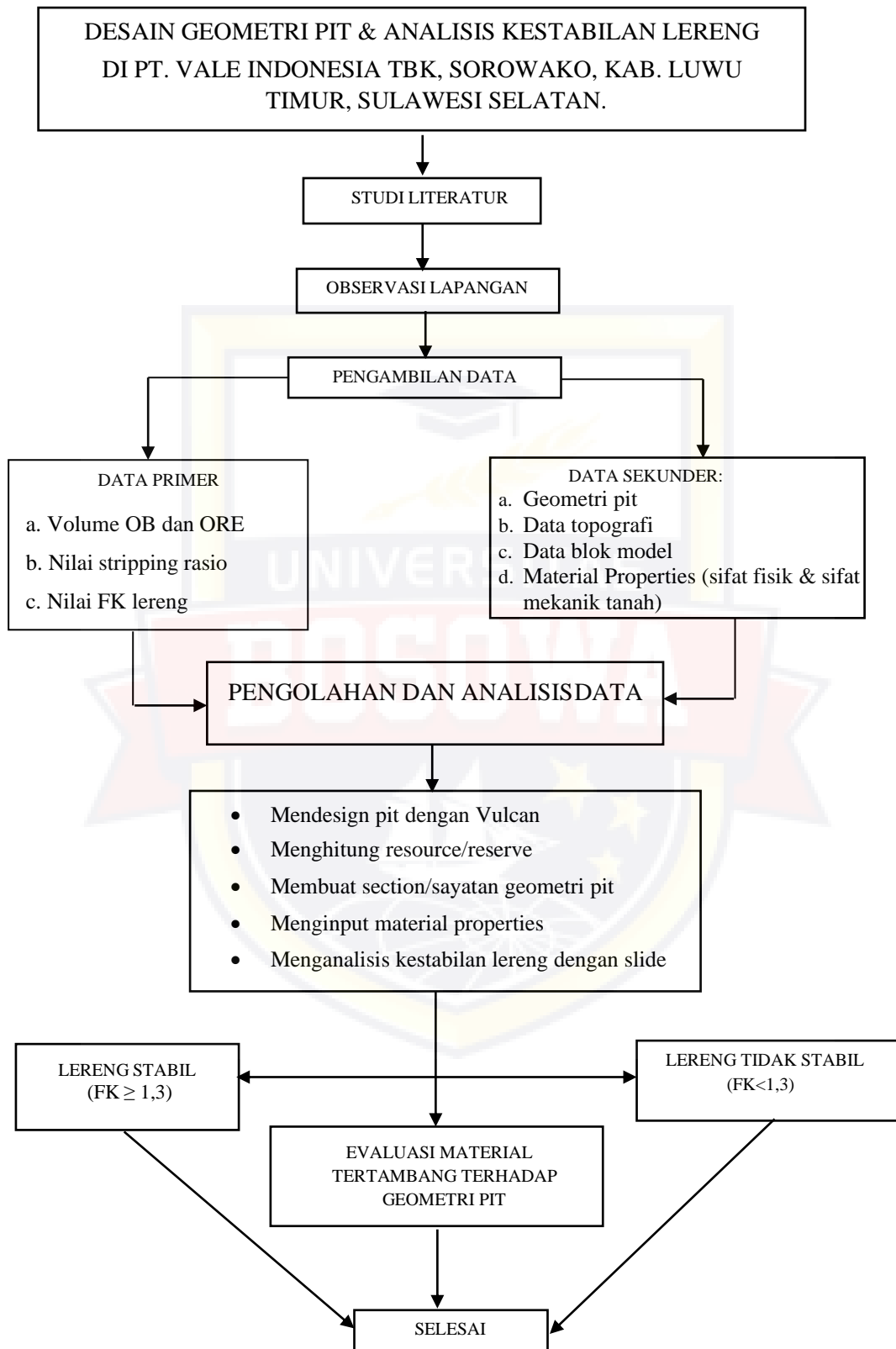
b. Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung, bisa diperoleh dari buku literatur, laporan yang sudah ada, dan sumber lainnya.

- 1) Geometri pit
- 2) Data topografi
- 3) Data blok model
- 4) Material Properties (sifat fisik & sifat mekanik tanah)

4. Pengolahan dan analisis data

Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan software vulcan hingga menghasilkan desain pit, menghitung cadangan dan sumberdaya pada pit yang diteliti. Data-data tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan perangkat lunak Microsoft excel yang bertujuan untuk mendapatkan data statistic berupa volume OB, ORE, dan SR setiap pit. Dan data material properties diolah menggunakan software rocscience slide untuk mendapatkan nilai faktor keamanan lereng.



Gambar 3. 2 Bagan alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain geometri pit dibuat dengan software Vulcan dimulai dari membuat geometri pit, Ore block model, membuat section per level, mendigitasi bentuk ore per level (polygon), memproykesikan dengan sudut lereng tunggal 45⁰ dan 33⁰, membuat berm dengan lebar yang bervariasi dan membuat bench dengan tinggi yang bervariasi. Jadi, secara umum, pembuatan desain pit yaitu mengikuti bentuk badan bijih (ore body) dari bawah ke atas. Berikut adalah variasi geometri pit yang digunakan dalam penelitian ini:

Tabel 4. 1 Data geometri pit (sumber: PT Vale Indonesia tbk)

GEOMETRI PIT BLOK LANTOA				
GEOMETRI	BENCH (m)	SLOPE (degree)	BERM (m)	OVERALL SLOPE (degree)
A	5	45	3	32.01
B	10	33	7	24.44
C	7	33	7	21.49
D	10	45	7	30.47

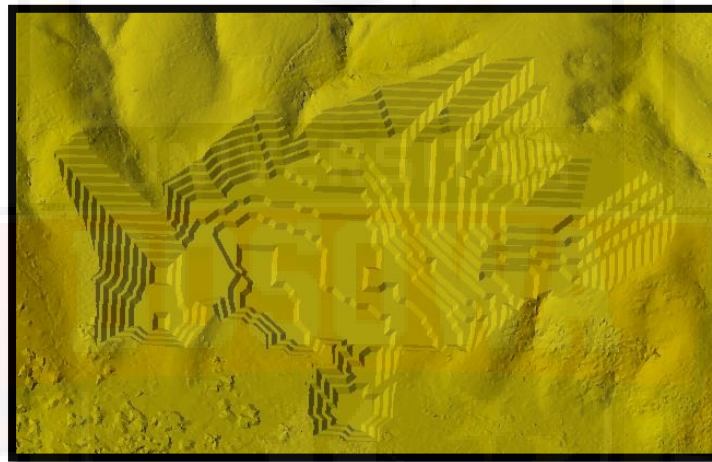
A. Desain Geometri Pit

Desain geometri pit dibuat dengan tujuan untuk mengetahui jumlah volume overburden, volume ore, dan nilai stripping rasio.

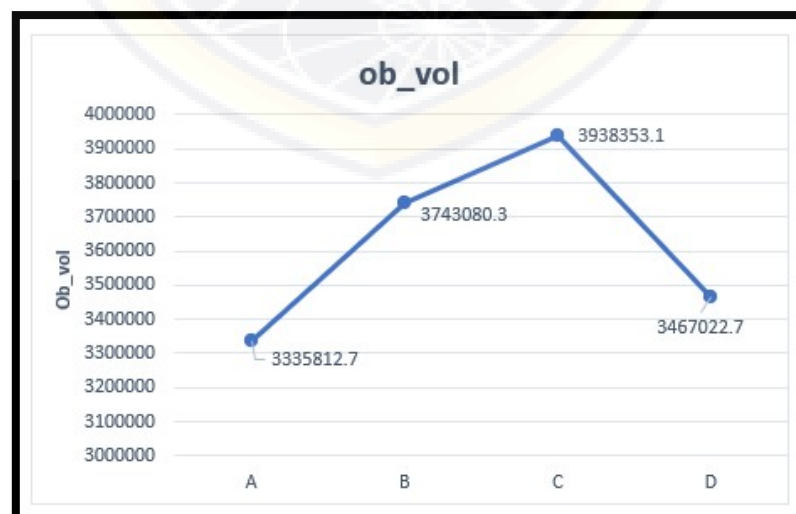
1. Desain geometri pit lantoa_01

Desain geometri pit lantoa_01 memiliki 4 geometri dengan jumlah volume OB, volume Ore, dan nilai stripping rasio berbeda. Geometri A dengan jumlah

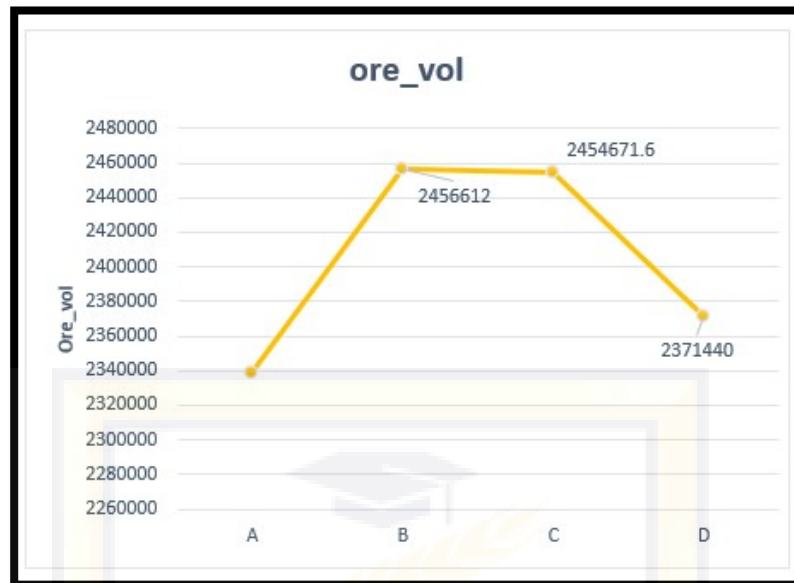
volume Ob 3335812.7 ton, volume Ore 2338840.4 ton dan nilai SR 1.45 ton. Geometri B dengan jumlah volume Ob 3743080.3 ton, volume Ore 2456612 ton dan nilai SR 1.55 ton. Geometri C dengan jumlah volume Ob 3938353.1 ton, volume Ore 2454671.6 ton dan nilai SR 1.63 ton. Geometri D dengan jumlah volume Ob 3467022.7 ton, volume Ore 2371440 ton dan nilai SR 1.49 ton. Sehingga pada pit lantoa 1 ini layak untuk di tambang atau menguntungkan untuk di tambang



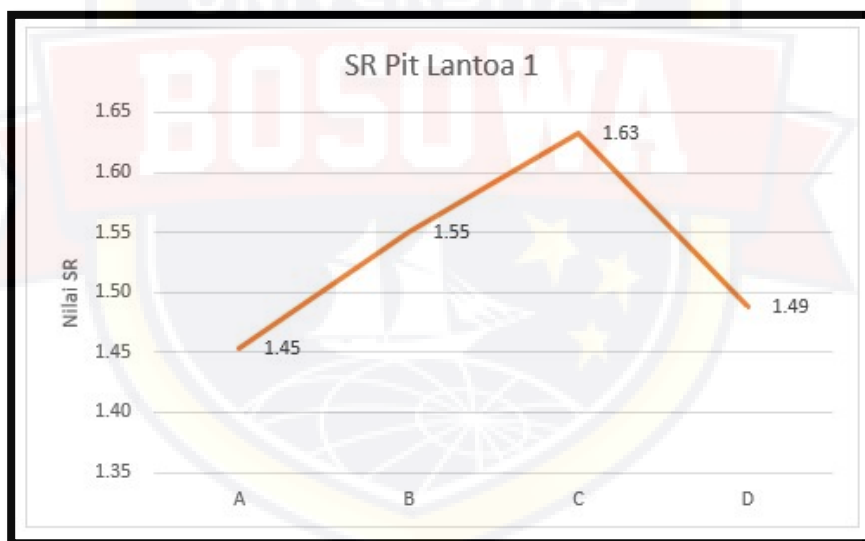
Gambar 4. 1 Desain pit lantoa 1 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 2 Grafik Volume OB Pit Lantoa 1 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 3 Grafik Volume ORE Pit Lantoa 1 (sumber: Pengolahan data)

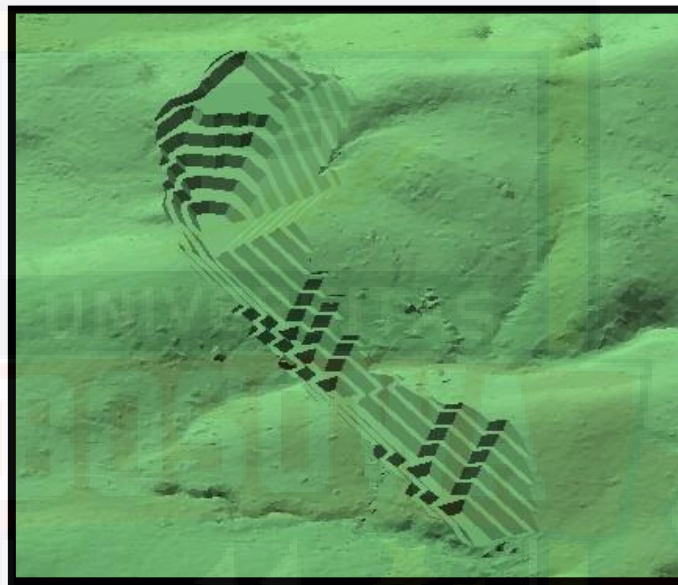


Gambar 4. 4 Grafik Stripping Rasio Pit lantoa 1 (sumber: Pengolahan data)

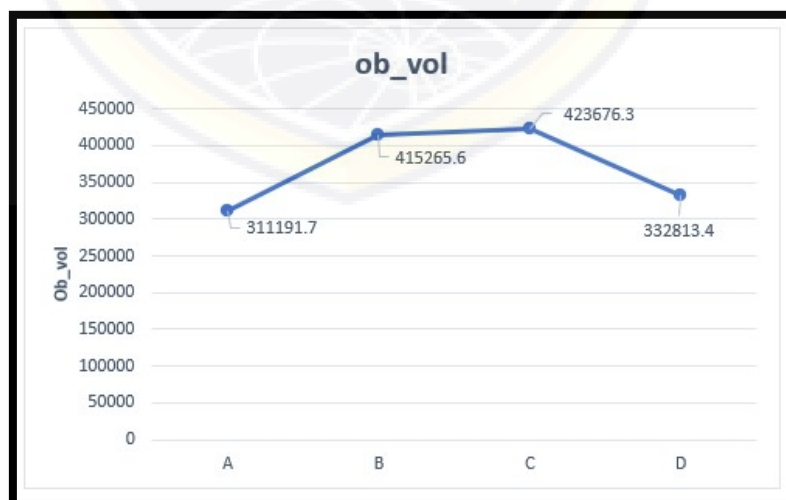
2. Desain geometri pit lantoa_02

Desain geometri pit lantoa_02 memiliki 4 geometri dengan jumlah volume OB, volume Ore, dan nilai stripping rasio berbeda. Geometri A dengan jumlah volume Ob 311191.7 ton, volume Ore 272983.4 ton dan nilai SR 1.16 ton. Geometri B dengan jumlah volume Ob 415265.6 ton, volume Ore 344255.7 ton

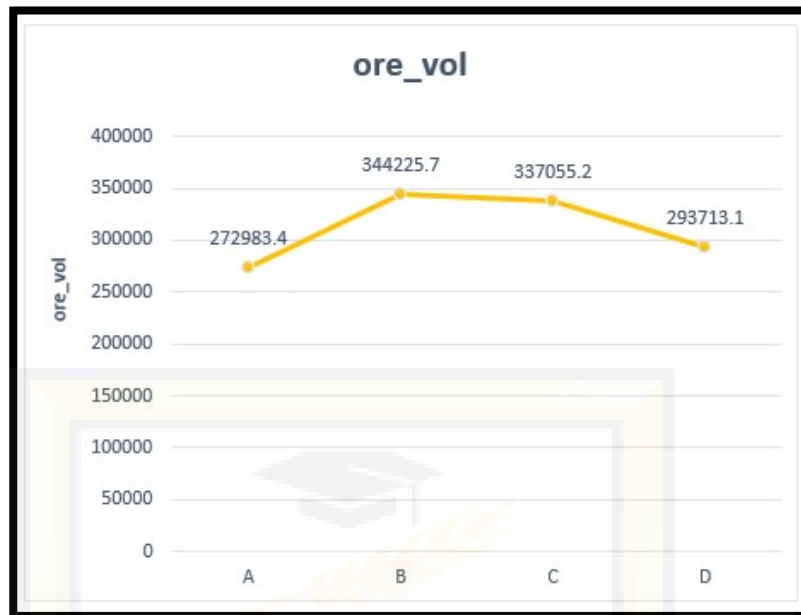
dan nilai SR 1.23 ton. Geometri C dengan jumlah volume Ob 423676.3 ton, volume Ore 337055.2 ton dan nilai SR 1.28 ton. Geometri D dengan jumlah volume Ob 332813.4 ton, volume Ore 293713.1 ton dan nilai SR 1.16 ton. Pada hasil perhitungan stripping rasio pit lantoa 2 ini layak untuk di tambang atau menguntungkan untuk di lakukan penambangan.



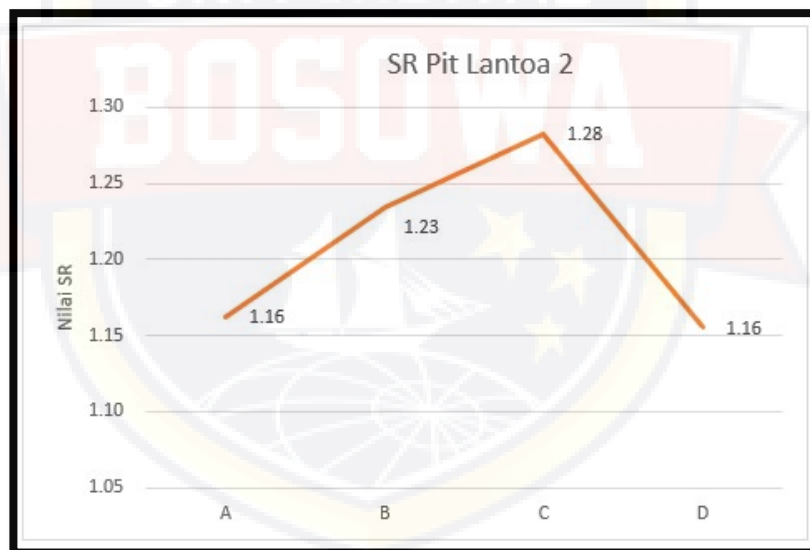
Gambar 4. 5 Desain pit lantoa 2 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 6 Grafik Volume OB Pit Lantoa 2 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 7 Grafik Volume ORE Pit Lantoa 2 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 8 Grafik Stripping Rasio Pit lantoa 2 (sumber: Pengolahan data)

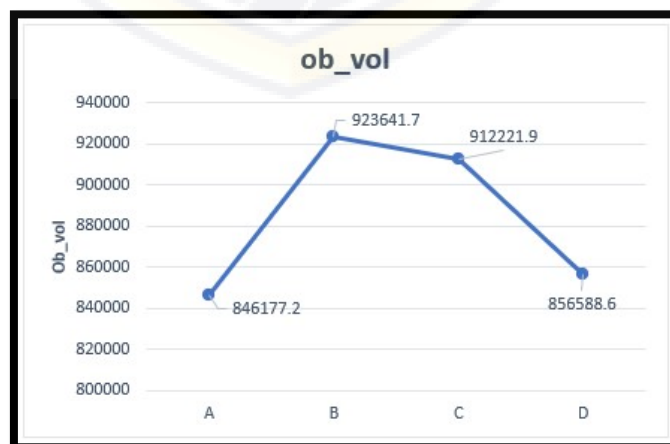
3. Desain geometri pit lantoa_03

Desain geometri pit lantoa_03 memiliki 4 geometri dengan jumlah volume OB, volume Ore, dan nilai stripping rasio berbeda. Geometri A dengan jumlah volume Ob 846177.2 ton, volume Ore 543285.7 ton dan nilai SR 1.74 ton.

Geometri B dengan jumlah volume Ob 923641.7 ton, volume Ore 559766.1 ton dan nilai SR 1.83 ton. Geometri C dengan jumlah volume Ob 912221.9 ton, volume Ore 552417.7 ton dan nilai SR 1.83 ton. Geometri D dengan jumlah volume Ob 856588.6 ton, volume Ore 515706.3 ton dan nilai SR 1.85 ton. Pit lantoa 3 layak untuk di tambang karena memiliki nilai stripping rasio ≤ 3 sehingga menguntungkan untuk di tambang.



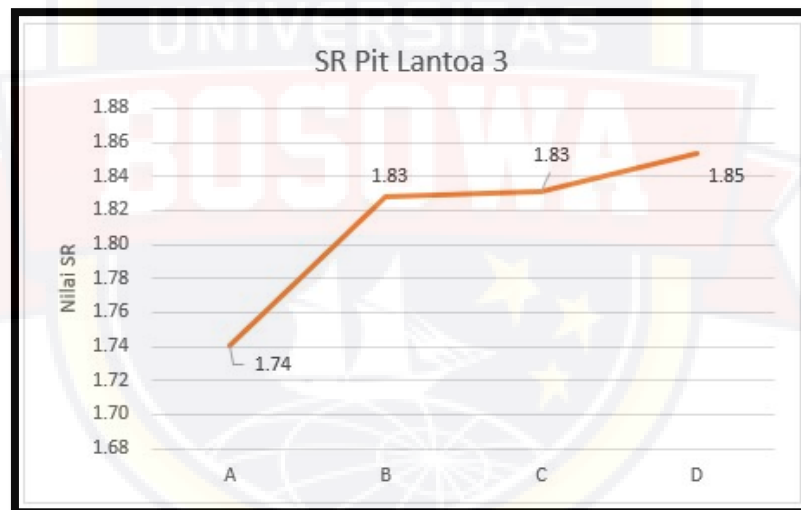
Gambar 4. 9 Desain pit lantoa 3 (sumber:Pengolahan data)



Gambar 4. 10 Volume OB Pit lantoa 3 (sumber:Pengolahan data)



Gambar 4. 11 Grafik Volume ORE Pit Lantoa 3 (sumber:Pengolahan data)

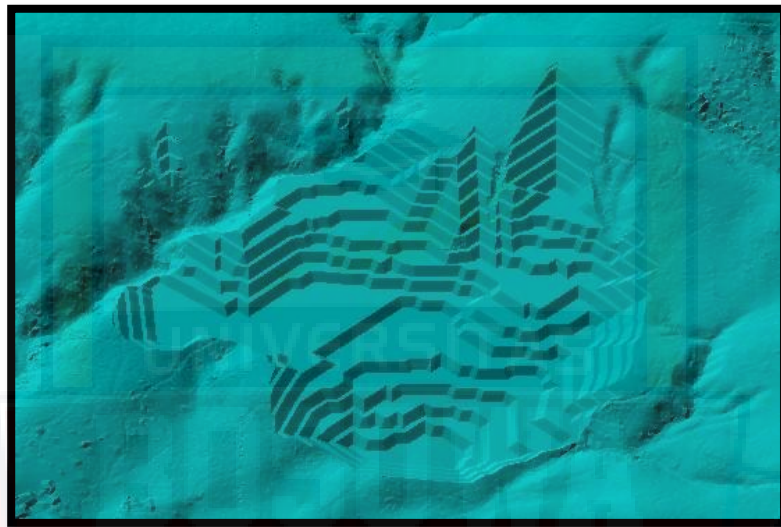


Gambar 4. 12 Grafik Stripping rasio Pit Lantoa 3 (sumber:Pengolahan data)

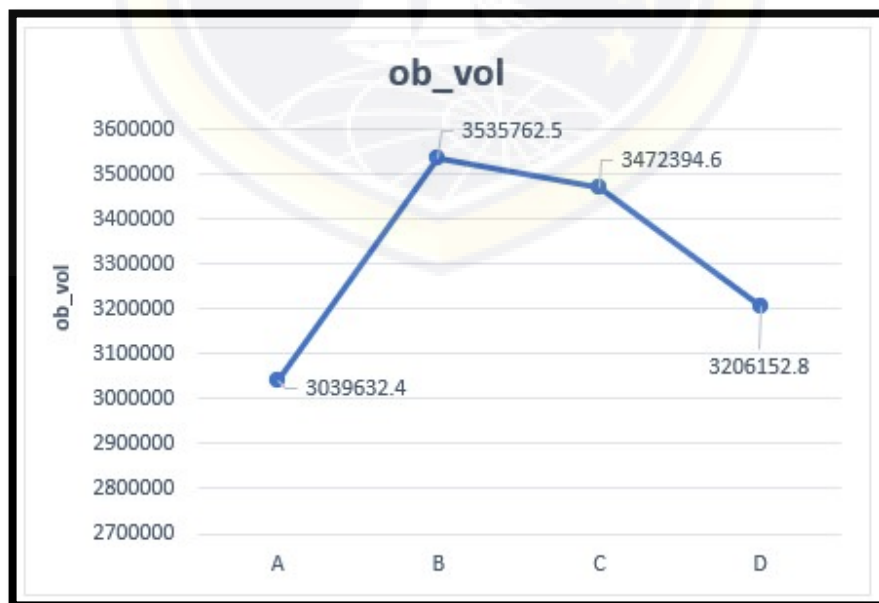
4. Desain geometri pit lantoa_04

Desain geometri pit lantoa_04 memiliki 4 geometri dengan jumlah volume OB, volume Ore, dan nilai stripping rasio berbeda. Geometri A dengan jumlah volume Ob 3039632.4 ton, volume Ore 2508610.9 ton dan nilai SR 1.27 ton. Geometri B dengan jumlah volume Ob 3535762.5 ton, volume Ore 2611074 ton dan nilai SR 1.41 ton. Geometri C dengan jumlah volume Ob 3472394.6

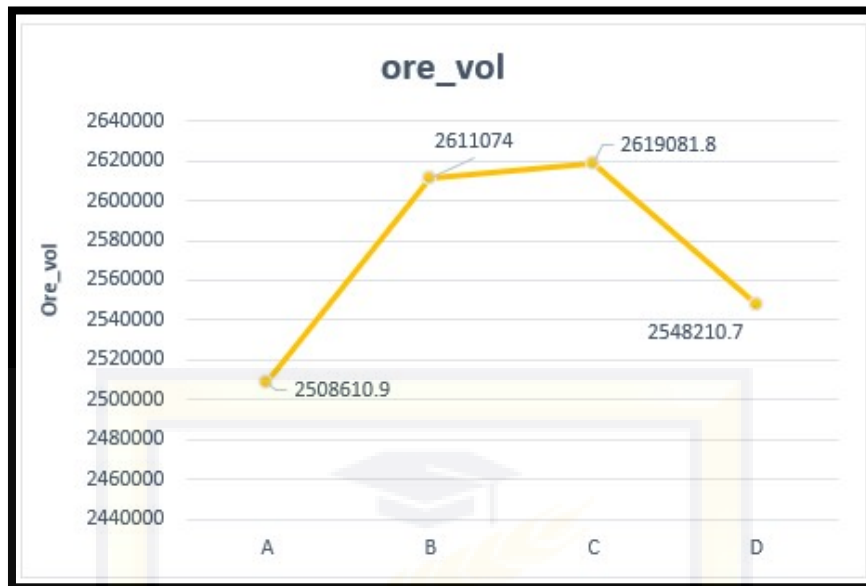
ton, volume Ore 2619081.8 ton dan nilai SR 1.39 ton. Geometri D dengan jumlah volume Ob 3206152.8 ton, volume Ore 2548210.7 ton dan nilai SR 1.32 ton. Dari hasil perhitungan stripping rasio maka pit lantoa 4 dinyatakan layak ditambang.



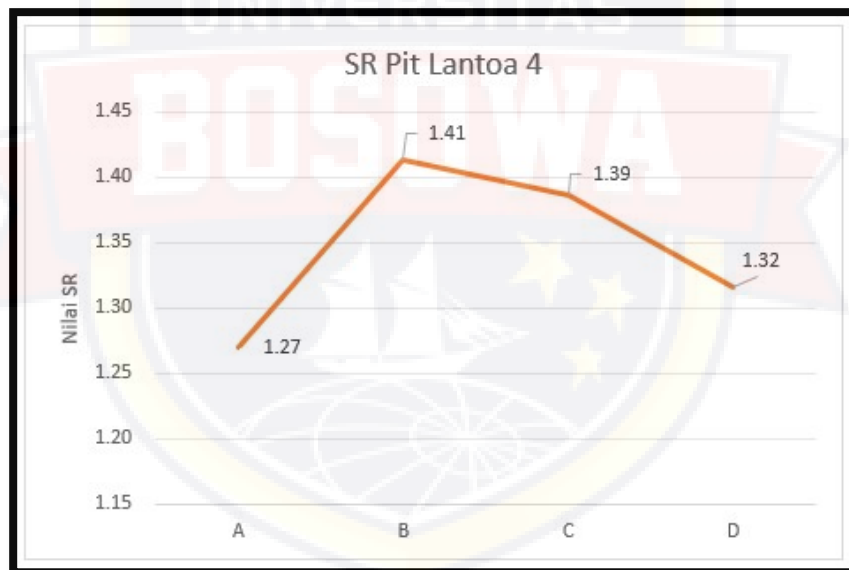
Gambar 4. 13 Desain pit lantoa 4 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 14 Grafik Volume OB Pit Lantoa 4 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 15 Grafik Volume ORE Pit Lantoa 4 (sumber: Pengolahan data)

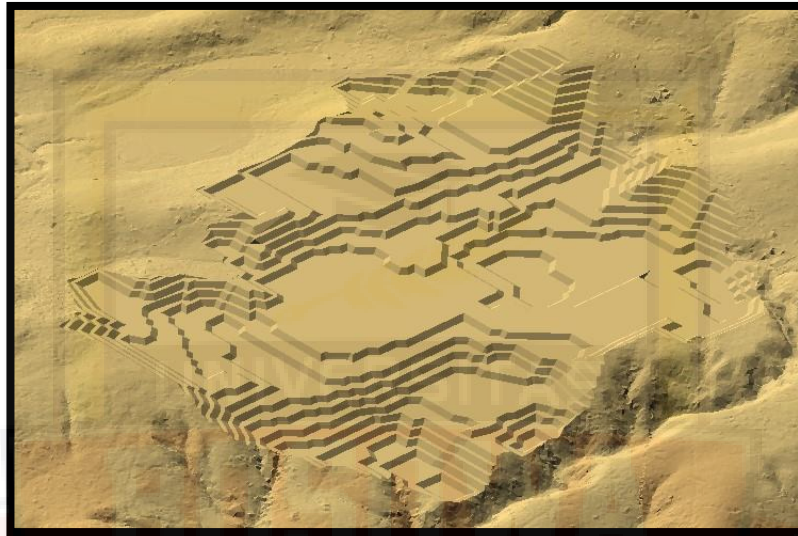


Gambar 4. 16 Grafik Stripping Rasio Pit Lantoa 4 (sumber: Pengolahan data)

5. Desain geometri pit lantao_05

Desain geometri pit lantao_05 memiliki 4 geometri dengan jumlah volume OB, volume Ore, dan nilai stripping rasio berbeda. Geometri A dengan jumlah volume Ob 7069080.5 ton, volume Ore 3639599.1 ton dan nilai SR 2.03 ton. Geometri B dengan jumlah volume Ob 7491383.4 ton, volume Ore 3730935.1

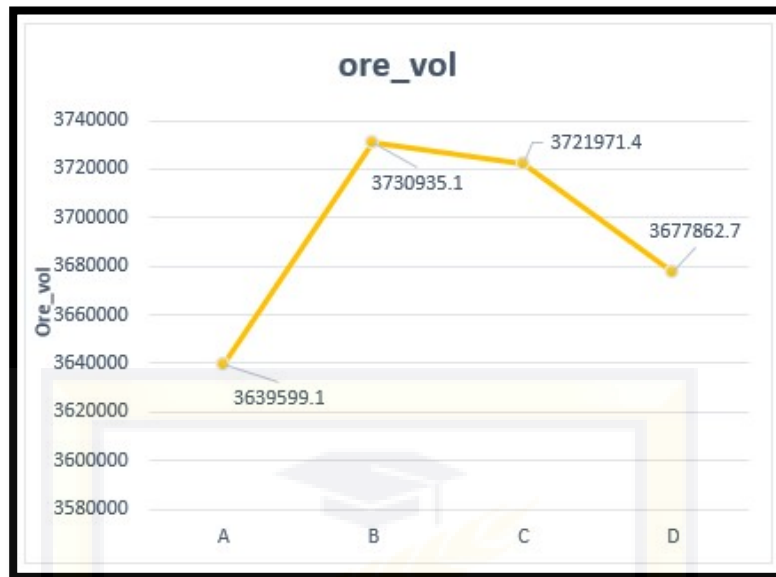
ton dan nilai SR 2.09 ton. Geometri C dengan jumlah volume Ob 7512480.6 ton, volume Ore 3721971.4 ton dan nilai SR 2.10 ton. Geometri D dengan jumlah volume Ob 7199460.4 ton, volume Ore 3677862.7 ton dan nilai SR 2.04 ton. Pit lantoa 5 ini layak untuk di tambang karena memiliki nilai $SR \leq 3$.



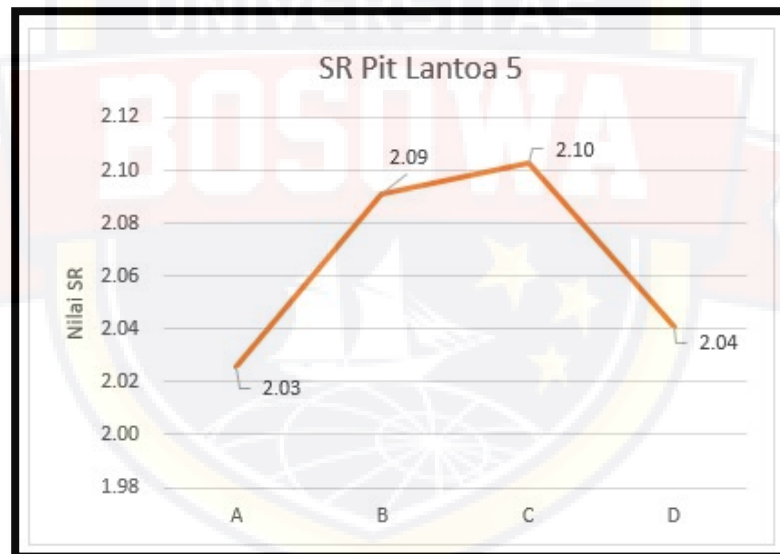
Gambar 4. 17 Desain pit lantoa 5 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 18 Grafik Volume OB Pit Lantoa 5 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 19 Grafik Volume ORE Pit Lantoa 5 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 20 Grafik Stripping Rasio Pit Lantoa 5 (sumber: Pengolahan data)

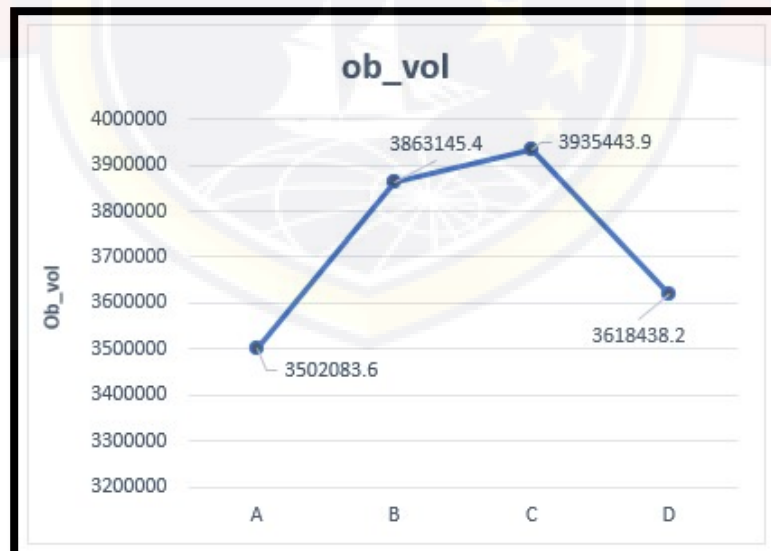
6. Desain geometri pit lantoa_06

Desain geometri pit lantoa_06 memiliki 4 geometri dengan jumlah volume OB, volume Ore, dan nilai stripping rasio berbeda. Geometri A dengan jumlah volume Ob 3502083.6 ton, volume Ore 2204299.4 ton dan nilai SR 1.62. Geometri B dengan jumlah volume Ob 3863145.4 ton, volume Ore 2266423.2

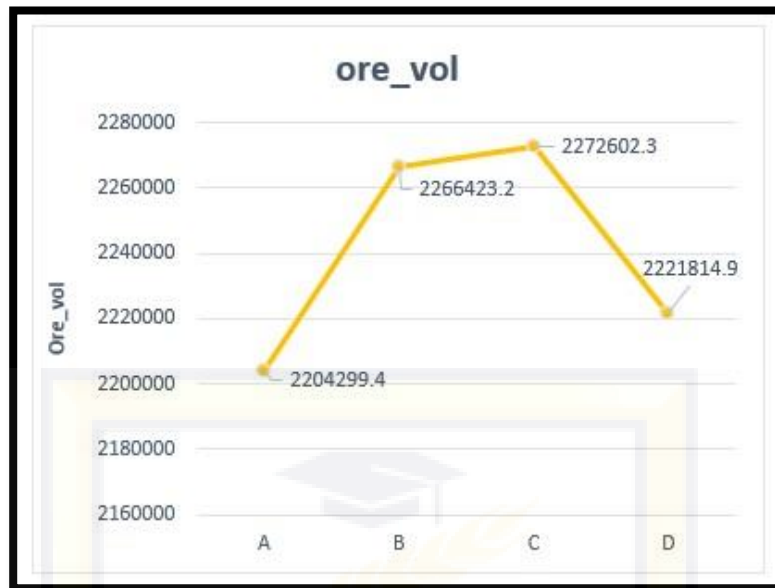
ton dan nilai SR 1.74 ton. Geometri C dengan jumlah volume Ob 3935443.9 ton, volume Ore 2272602.3 ton dan nilai SR 1.76 ton. Geometri D dengan jumlah volume Ob 3618438.2 ton, volume Ore 22211814.9 ton dan nilai SR 1.66 ton. Dari hasil perhitungan nilai stripping rasio pit lanto 6 dinyatakan layak untuk di tambang



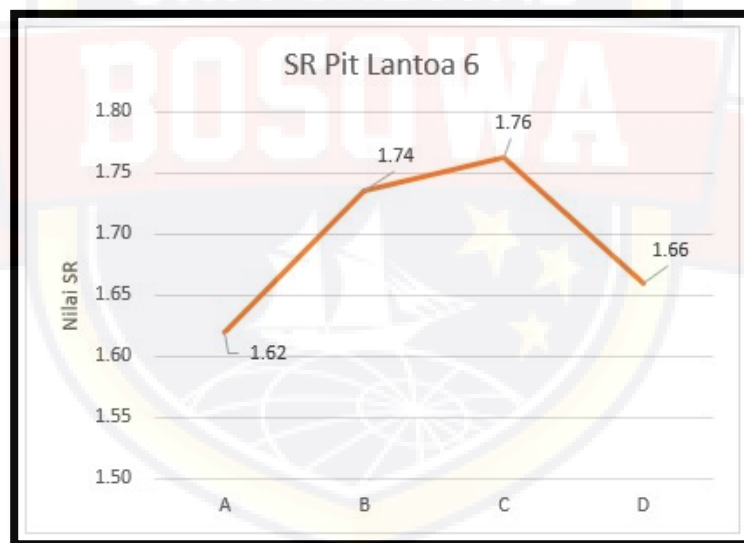
Gambar 4. 21 Desain pit lantoa 6 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 22 Grafik Volume OB Pit Lantoa 6 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 23 Grafik Volume ORE Pit Lantoa 6 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 24 Grafik Stripping Rasio Pit Lantoa 6 (sumber: Pengolahan data)

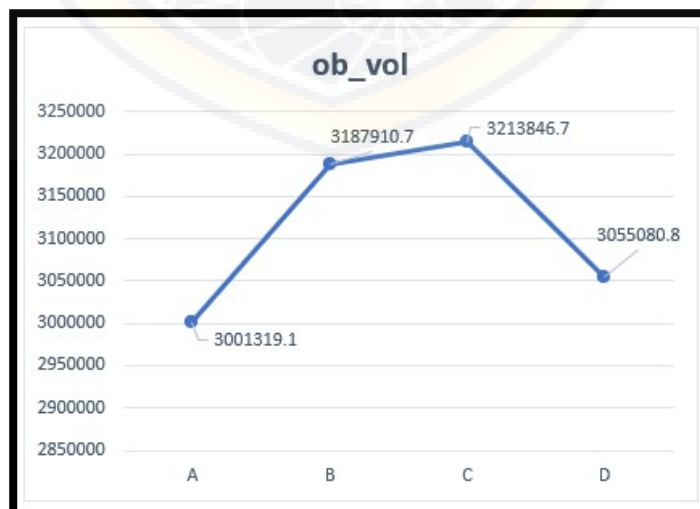
7. Desain geometri pit lantoa_07

Desain geometri pit lantoa_03 memiliki 4 geometri dengan jumlah volume OB, volume Ore, dan nilai stripping rasio berbeda. Geometri A dengan jumlah volume Ob 3001319.1 ton, volume Ore 2586268.6 ton dan nilai SR 1.20 ton. Geometri B dengan jumlah volume Ob 3187910.7 ton, volume Ore 2640120.4

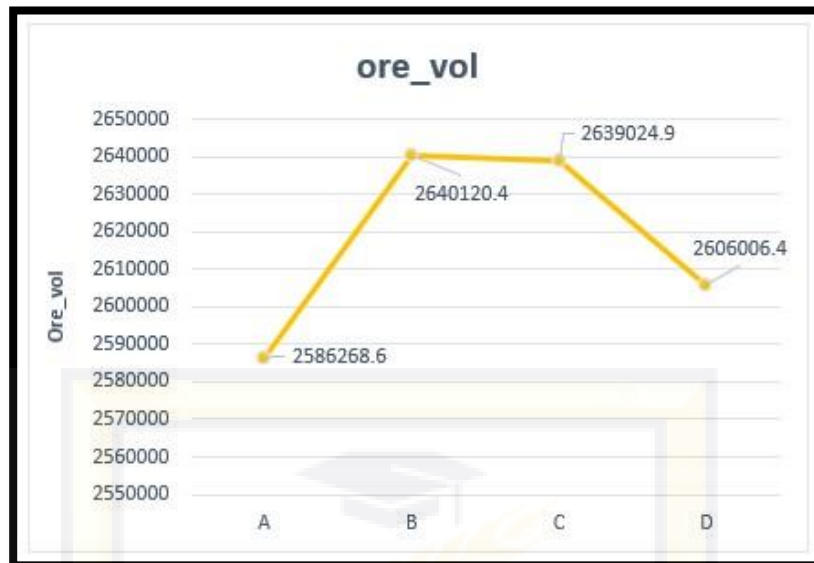
ton dan nilai SR 1.24 ton. Geometri C dengan jumlah volume Ob 3213846.7 ton, volume Ore 2639024.9 ton dan nilai SR 1.25 ton. Geometri D dengan jumlah volume Ob 3055080.8 ton, volume Ore 2606006.4 ton dan nilai SR 1.21 ton. Pit lantoa 7 memiliki nilai ekonomis sehingga layak untuk ditambang.



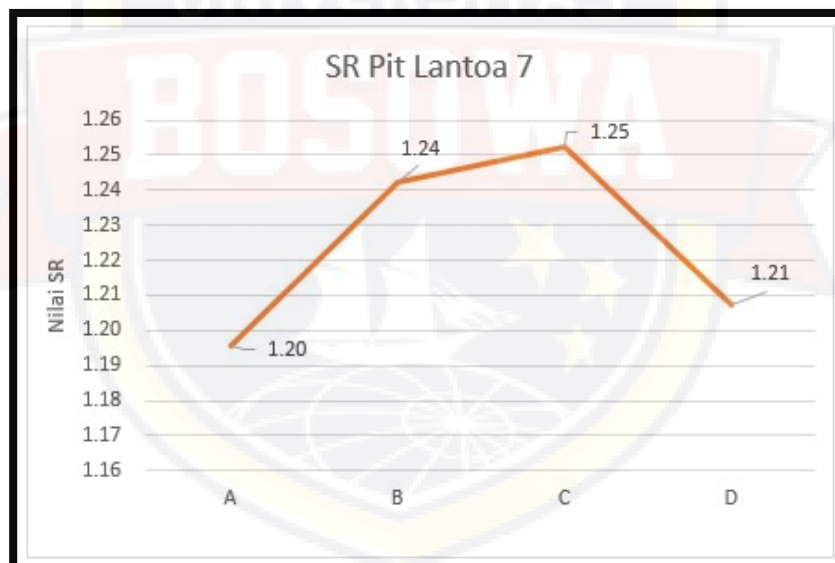
Gambar 4. 25 Desain pit lantoa 7 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 26 Grafik Volume OB Pit Lantoa 7 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 27 Grafik Volume ORE Pit lantoa 7 (sumber: Pengolahan data)

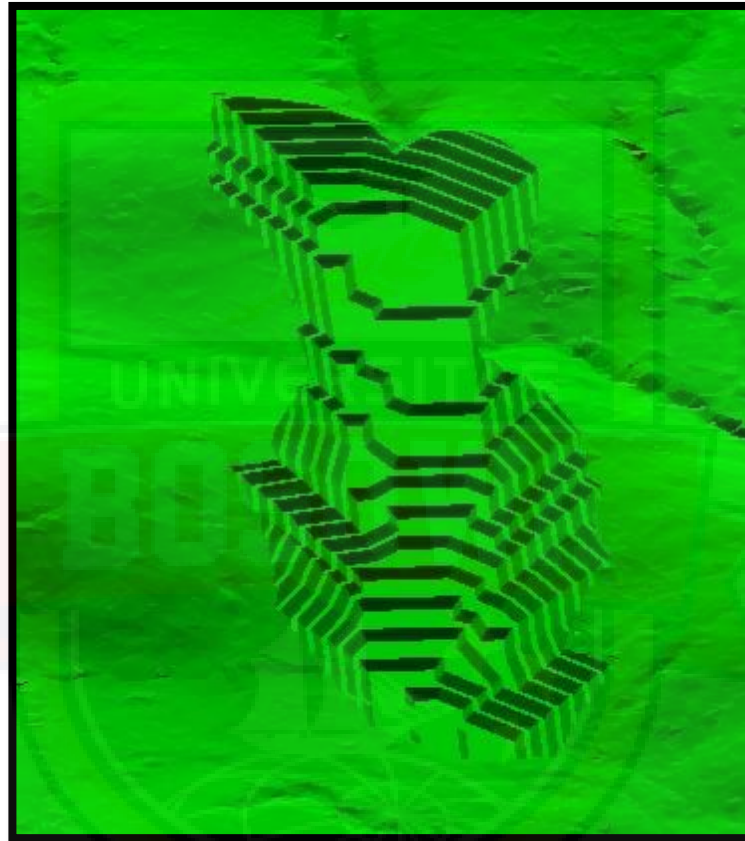


Gambar 4. 28 Grafik Stripping Rasio Pit Lantoa 7 (sumber: Pengolahan data)

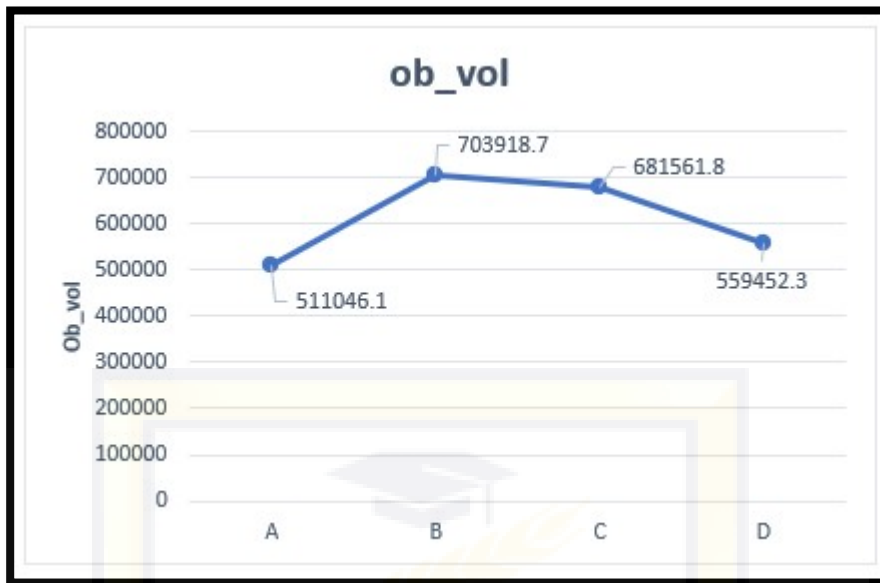
8. Desain geometri pit lantoa_08

Desain geometri pit lantoa_08 memiliki 4 geometri dengan jumlah volume OB, volume Ore, dan nilai stripping rasio berbeda. Geometri A dengan jumlah volume Ob 511046.1 ton, volume Ore 93116.2 ton dan nilai SR 5.49 ton. Geometri B dengan jumlah volume Ob 703918.7 ton, volume Ore 107400.9 ton

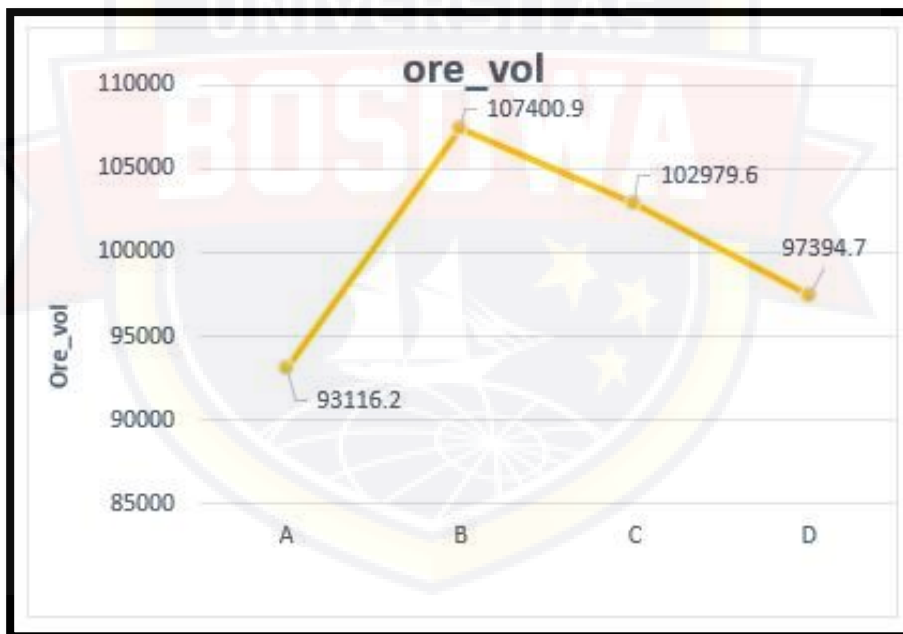
dan nilai SR 6.55 ton. Geometri C dengan jumlah volume Ob 681561.8 ton, volume Ore 102979.6 ton dan nilai SR 6.62 ton. Geometri D dengan jumlah volume Ob 559452.3 ton, volume Ore 97394.7 ton dan nilai SR 5.74 ton. Pit lanto 8 tidak layak untuk di tambang dengan nilai stripping rasio ≥ 3



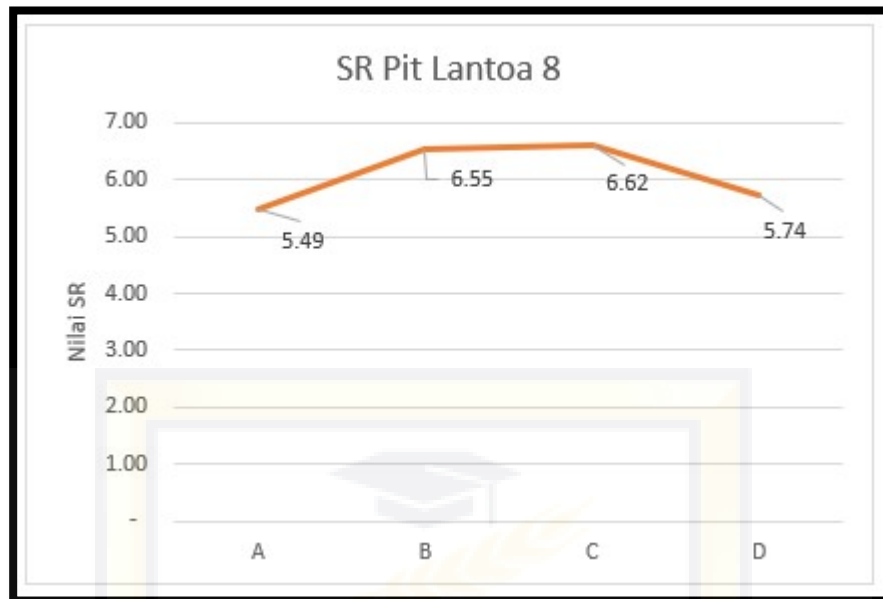
Gambar 4. 29 Desain pit lantoa 8 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 30 Grafik Volume OB Pit Lantoa 8 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 31 Grafik Volume ORE Pit Lantoa 8 (sumber: Pengolahan data)



Gambar 4. 32 Grafik Stripping Rasio Pit Lantoa 8 (sumber: Pengolahan data)

B. Analisis Kestabilan Lereng

Untuk mengetahui kestabilan dari suatu lereng ada beberapa factor yang harus di ketahui yaitu, geometri lereng, sifat fisik dan mekanik tanah.

1. Geometri Pit

Pengukuran geometri pit dilakukan dengan mengukur tinggi lereng, kemiringan lereng, dan lebar lereng.

Tabel 4. 2 Geometri pit (sumber: PT Vale Indonesia tbk)

GEOMETRI PIT				
GEOMETRI	BENCH (m)	SLOPE (degree)	BERM (m)	OVERALL SLOPE (degree)
A	5	45	3	32.01
B	10	33	7	24.44
C	7	33	7	21.49
D	10	45	7	30.47

2. Parameter tanah laterit

Parameter tanah ini merupakan hasil dari pengujian laboratorium dari sampel tanah di lapangan. Parameter tanah yang digunakan dalam melakukan analisis kestabilan lereng dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 3 Parameter sifat fisik dan mekanik tanah (*sumber:PT Vale Indonesia tbk*)

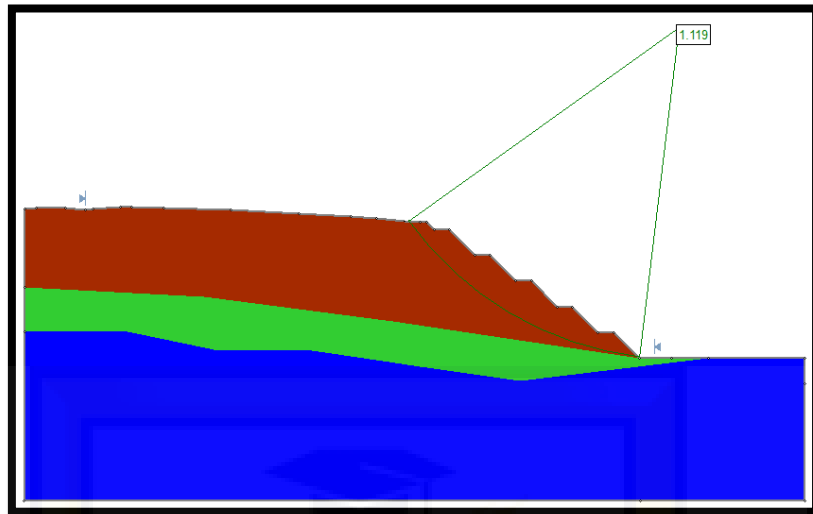
material	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion (kPa)	Friction Angle (°)
limonite	16	10	25
saprolite	17	15	35

3. Analisa stabilitas overall slope

Analisis stabilitas lereng sangat diperlukan hal ini bertujuan untuk menciptakan keselamatan kerja operasional penambangan. Dalam penelitian ini digunakan dua metode analisis dimana dua metode analisis tersebut memiliki persamaan asumsi. Metode bhisop memiliki asumsi bahwa gaya geser antar irisan sama dengan nol.

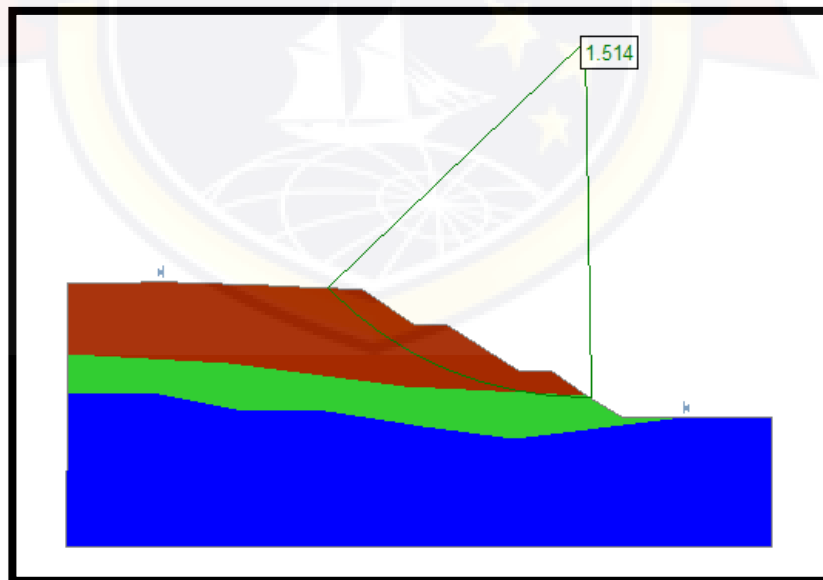
Model geometri yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 4 model. Pada masing-masing model mempunyai perbedaan tinggi lereng, lebar lereng dan sudut kemiringan lereng

Model geometri pit A membentuk sudut lereng tunggal sebesar 45⁰, tinggi bench sebesar 5 meter dan lebar berm sebesar 3 meter. Hasil analisi stabilitas pada geometri lereng menghasilkan nilai factor keamanan dengan menggunakan metode bhisop 1.11 dan metode janbu 1.06.



Gambar 4. 33 Analisa kestabilan lereng geometri A

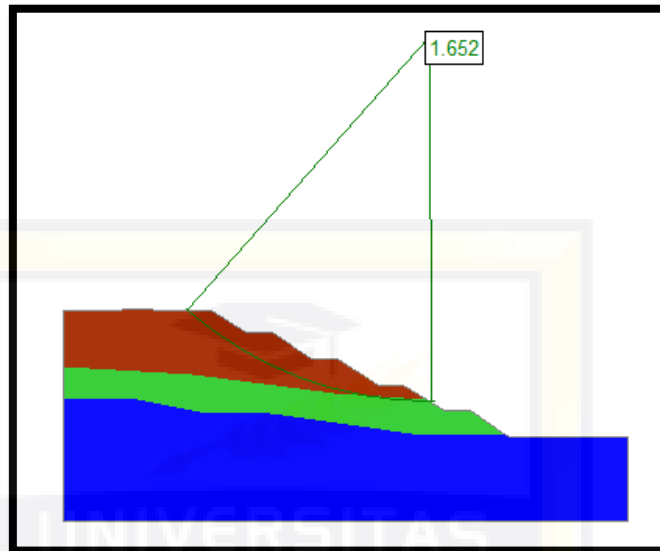
Geometri B Pada model geometri ini di gunakan model dengan sudut lereng tunggal 33° , tinggi bench 10 meter dan lebar bench 7 meter. Dari hasil 59nalisa stabilitas dengan metode bhisop dan metode janbu menunjukkan nilai factor keamanan masing-masing 1.51 dan 1.44.



Gambar 4. 34 Analisa kestabilan lereng geometri B

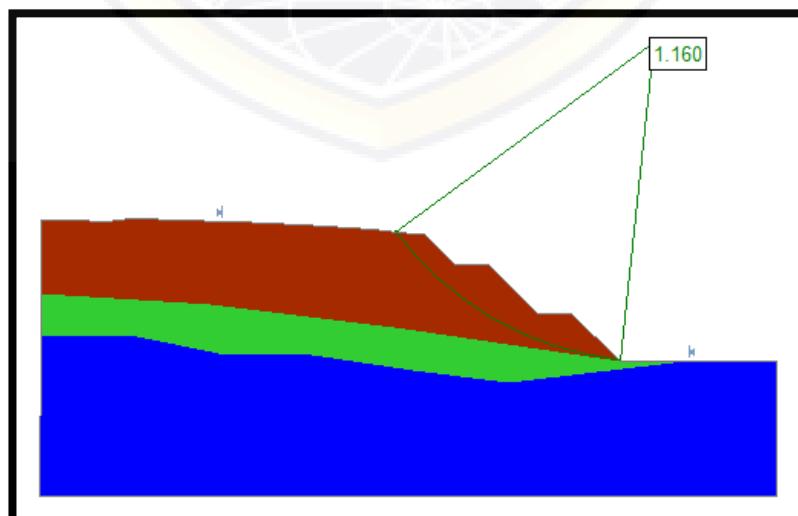
Geometri lereng C menunjukkan nilai factor keamanan 1.65 dengan menggunakan metode bhisop dan 1.58 dengan menggunakan metode janbu.

Geometri pit pada lereng ini menggunakan tinggi bench 7 meter, lebar berm 7 meter, dan sudut lereng tunggal 33° .



Gambar 4. 35 Analisis kestabilan lereng geometri C

Hasil analisa stabilitas terhadap model geometri D didapatkan nilai faktor keamanan 1.16 dengan metode bhisop dan 1.11 dengan metode janbu. Pada geometri ini sudut lereng tunggal 45° , tinggi bench 10 meter dan lebar berm 7 meter.



Gambar 4. 36 Analisis kestabilan lereng geometri D

Berdasarkan analisa stabilitas yang telah dilakukan, maka dapat di tulis ulang nilai faktor keamanan seperti pada tabel.

Tabel 4. 4 Faktor keamanan pit blok lantoa (sumber: Pengolahan data)

Pit	Faktor keamanan		keadaan lereng
	Bhisop	Janbu	
A	1,11	1,06	tidak stabil
B	1,51	1,44	stabil
C	1,65	1,58	stabil
D	1,16	1,1	tidak stabil

Faktor keamanan (FK) ini diperlukan untuk mengetahui apakah suatu lereng stabil dan aman, dengan standar peraturan yang berlaku di Indonesia yaitu keputusan Menteri Energi Sumber Daya Mineral Nomor 1827/30/MEM/2018 tentang pedoman pelaksanaan kaidah Teknik pertambangan yang baik. Lereng dinyatakan stabil dan aman, jika memiliki nilai faktor keamanan $FK \geq 1.3$ untuk lereng stabil (aman) dan $FK \leq 1.3$ untuk kondisi lereng tidak stabil (tidak aman).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan tujuan penelitian dan hasil penelitian serta pembahasan pada penelitian ini, maka dapat di simpulkan:

1. Geometri pit berpengaruh terhadap material tertambang. Dimana geometri B dan C dengan jumlah material tertambang yang banyak, Sedangkan geometri A dan D dengan jumlah material tertambangya sedikit.
2. Kestabilan lereng dipengaruhi oleh geometri pit (sudut lereng tunggal, tinggi bench dan lebar berm). Dimana geometri A dan D dengan nilai faktor keamanan yang tidak stabil, sedangkan geometri B dan C didapatkan nilai faktor keamanan yang stabil.

B. SARAN

1. Salah satu cara meningkatkan nilai FK adalah dengan mengurangi ketinggian lereng atau sudut kemiringan lereng.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, W. 2006. *Laterite: Mine Geology at PT. International Nickel Indonesia*.
- Andriani dkk. 2018. "Analisis Stabilitas Lereng Area Timbunan Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas Pada Tambang Terbuka Batubara Daerah Purwajaya Kecamatan Kutai Kartanegara". repository.unpad.ac.id, diakses 21 Januari 2020.
- Arif, I. 2016. *Geoteknik Tambang Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Arsyad, S. 1989. *Konservasi Tanah Dan Air*. Bogor: Penerbit IPB Press.
- Bargawa, W.S. 2018. *Edisi kedelapan perencanaan tambang*. Yogyakarta: Kilau book
- Bishop, A.W. 1955. *The Use of Slip Circle in the Stability Analysis of Slope. Geotechnique*.
- Bowles 1989 (dalam Zakaria, 2010). *Sifat-sifat fisik dan Geoteknis Tanah*. PT. Erlangga. Jakarta.
- Brook, K.N., P. F. Ffolliott, H.M. Gregersen, dan J.K. Thames. 1991. *Hydrology and the management of watersheds*. Iowa State University Press, Ames, USA.
- Brunsdan, D., Schorrt, L., & Ibsen, M. 1984. *Landslide Recognition, Identification Movement and Causes*. England: John Wiley & Sons
- Casagrande, L. 1934. *Naherungsverfahren zur Ermittlung der Sickerung in geschutteten Dammen auf underchlaassiger Sohle. Die Bautechnik*.
- Cheng, Y. M., & C. K. Lau. (2008). *Slope Stability Analysis and Stabilization, New Methods and Insight London: Routledge*.
- Crudden, D. M. (1991). *A Simple definition of landslide. Bulletin Int. Assoc. for,*
- Elias M., 2002. *Nickel laterite deposits – geologic overview, resources and exploitation in Giant ore Deposits: characteristics, genesis, and exploration, Cooke, D.R.,*
- Evans, A.M., 1993. *Ore Geologi and Industrial 3rd Edition, Blackwell Scientific Publications, London*.

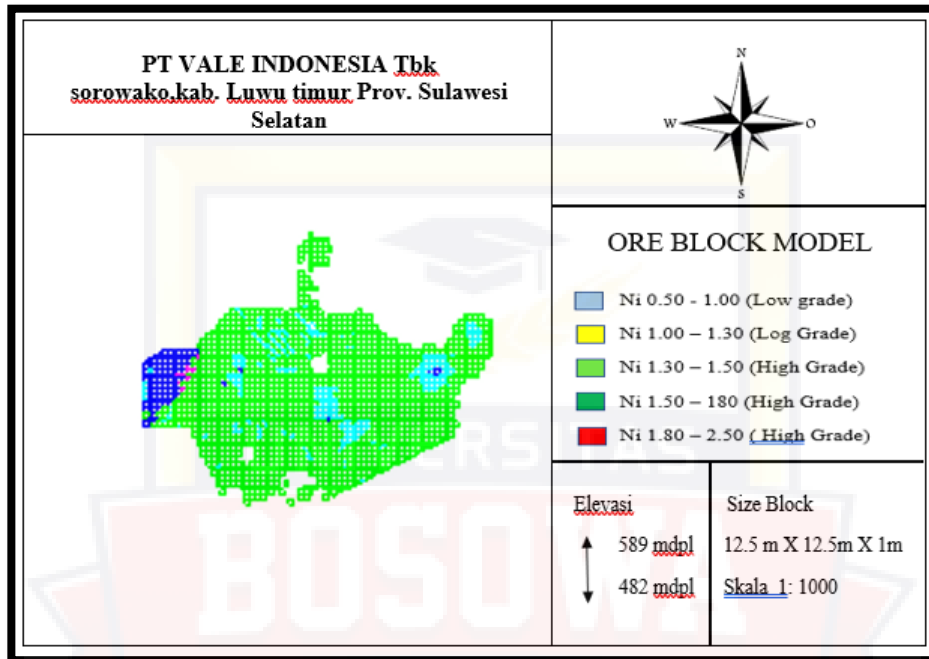
- Febrian, D. T. (2014). Rancangan Desain Pit Batubara Di PT Cakra Persada Mandiri Mining (PT CPMM) Desa Panaan, Kec. Bintang Ara Kabupaten Barito Utara Provinsi Kalimantan Tengah.
- Golightly, J.P. 1979. *Nickeliferous laterite deposits. A General Description*, PT. Internasional Nickel Indonesia, Sorowako.
- https://id.m.wikipedia.org/wiki/Vale_Indonesia#:~:text=PT%20Vale%20Indonesia%20Tbk%20atau,Luwu%20Timur%2C%20Provinsi%20Sulawesi%20Selatan. Diakses tahun 2019
- Hardiyatmo, H.C. (2006). Penanganan Tanah Longsor dan Erosi. Gajah Mada *University Press*. Yogyakarta.
- Hoek, E. dan Bray, J. 1981. *Rock Slope Engineering. London and New York: Institution of Mining and Metallurgy*. Indonesia, *Journal of Geochemical Exploration*, 50, h.13-90.
- Indrajaya, F., Natallia, A. L., & Sukmawatie, N. (2020). Perancangan Sequence Penambangan Batubara pada PT XYZ Provinsi Sumatera Selatan. *Jurnal Geomine*, 7(3), 240.
- Kabupaten Luwu Timur Dalam Angka 2021" (pdf). www.luwutimurkab.bps.go.id. hlm. 9, 60. Diakses tanggal 31 Oktober 2021.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik.
- Lambe, T. W. and Whitman, R.V. 1969. *Soil Mechanics. New York*.
- Naghadhi, Dkk, (2011). Metodologi sistem probabilistik untuk menganalisis pentingnya faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng batuan.
- Pembentukan Daerah-Daerah Otonom di Indonesia s/d Tahun 2014" (PDF). www.otda.kemendagri.go.id. hlm. 25. Diarsipkan dari versi asli (PDF) tanggal 12 Juli 2019. Diakses tanggal 31 Oktober 2021.
- Pongratz, J., eds *Centre for ore deposits research. special Publication 4. University of Tasmania, P 205-220*,
- Provinces of Western Sulawesi, Eastern Sulawesi and Banggai - Sula in the Light of Sedimentological Aspect. Geol. Res. Dev. Cen. Bull., 7, 1-12.*
- Rai, M.A., Kramadibrata, S. dan Wattimena, R.K. 2013. Mekanika Batuan. Laboratorium Geomekanik dan Peralatan Tambang Institut Teknologi Bandung, Bandung.

- Simandjuntak, Dkk. 1991. Geologi Lembar Malili, Sulawesi. Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Geologi Dan Sumber Daya Mineral. Pusat Penelitian Dan Pengembangan
- SKBI-2.3.06. 1987. Petunjuk Perencanaan Penanggulangan Longsor. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Skempton, A.W., and Hutchinson, J.N.1969. *Stability of natural slopes and embankment foundations. State-of-the-Art Report. 7th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Mexico,291335*. Sorowako, South Sulawesi: PT. International Nickel Indonesia.
- Sukanto, R., and Simanjuntak R. O., 1983. *Tectonic Relationship Between Geologic*
- Suratman., 2000. Geologi dan Endapan Ni-Laterit Soroako Sulawesi Selatan, in *The Proceeding The XXIX Annual Convention of the Association of Indonesian Geologists, Vol. 2, Bandung*.
- Sylvester Saragih, Maret. 2014. Stripping ratio. Tersedia: <https://www.slideshare.net/vestersaragih/1375050495620302> strippingratio.
- Taylor, D.W. 1937. *Stability of Earth Slopes. J. Boston Soc. Civil Engineers*.
- Van Leeuwen,T. M., (1994). *25 Years of Mineral Exploration and Discovery in*
- Wesley, L.D. 2010. *Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.*
- Wyllie, D.C. dan Mah, C.W. 2004. *Rock Slope Engineering (Civil and Mining) 4 th edition. New York: Spon Press.*

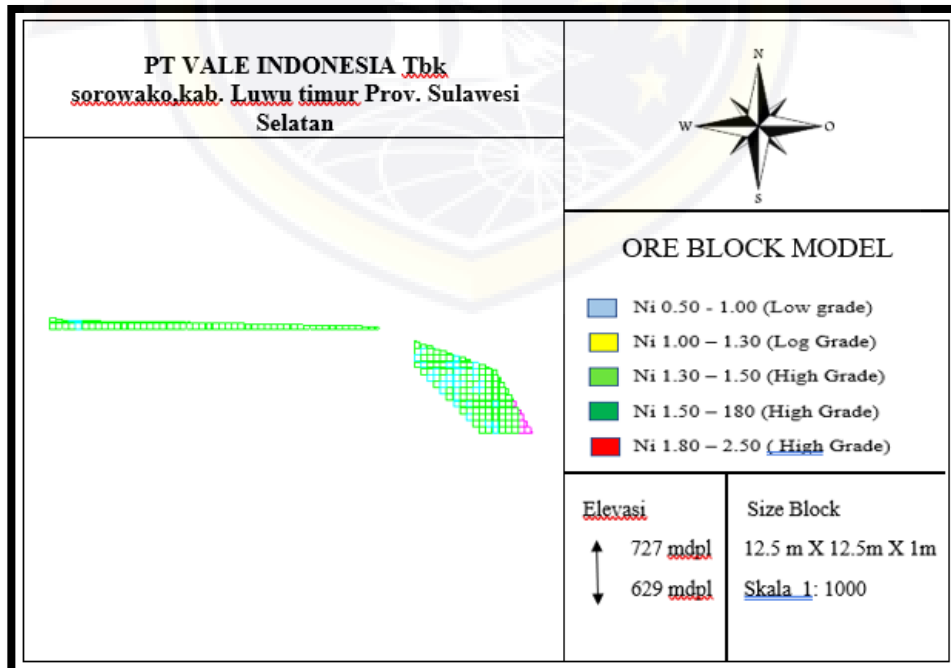


LAMPIRAN A

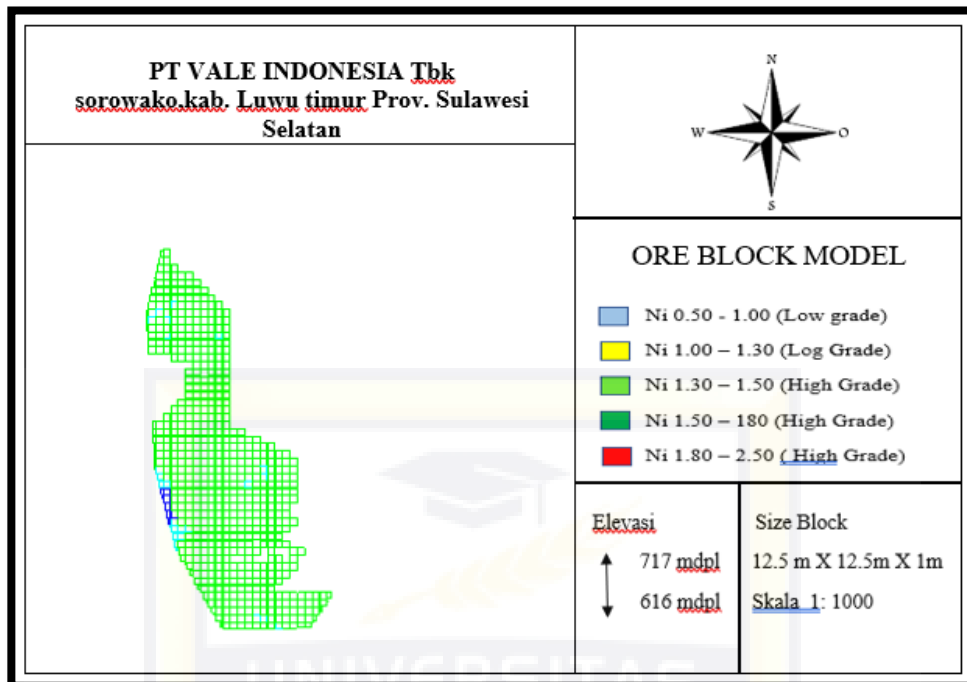
ORE BLOCK MODEL PIT LANTOA



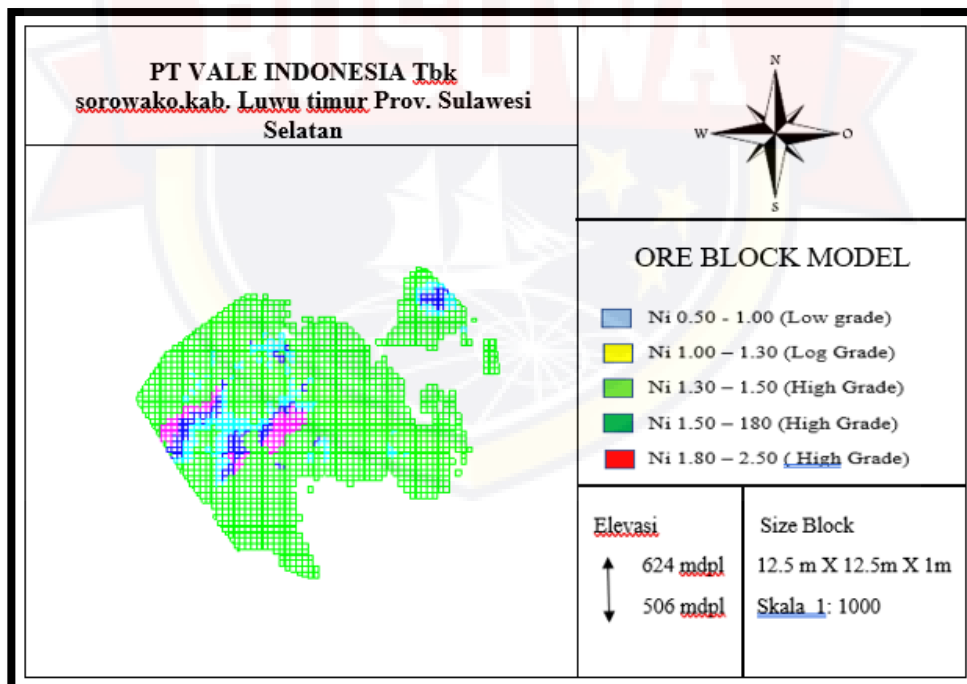
Gambar. 1 Ore blok model pit lantoa_1



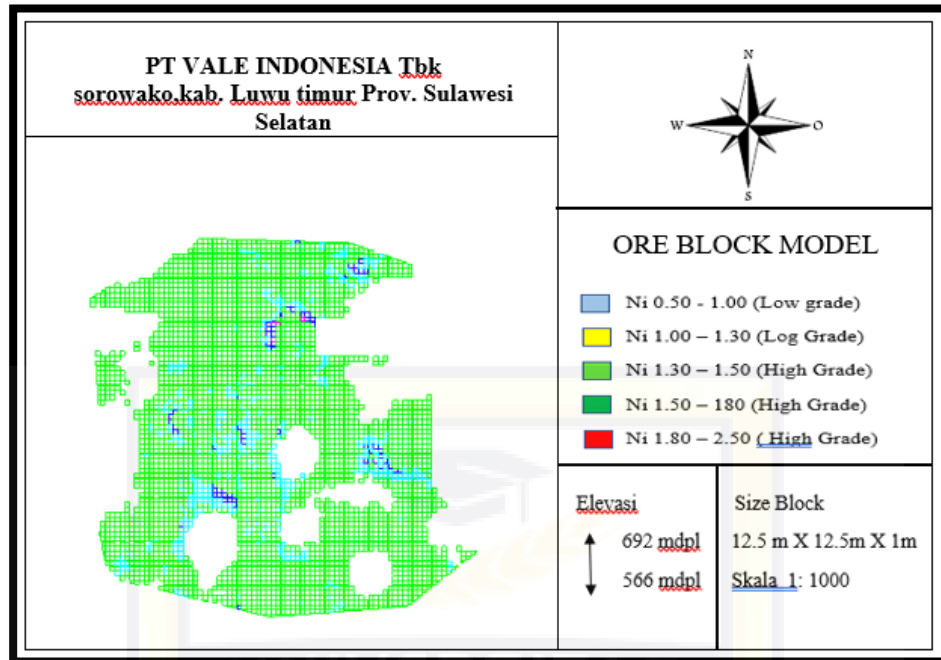
Gambar. 1 Ore blok model pit lantoa_2



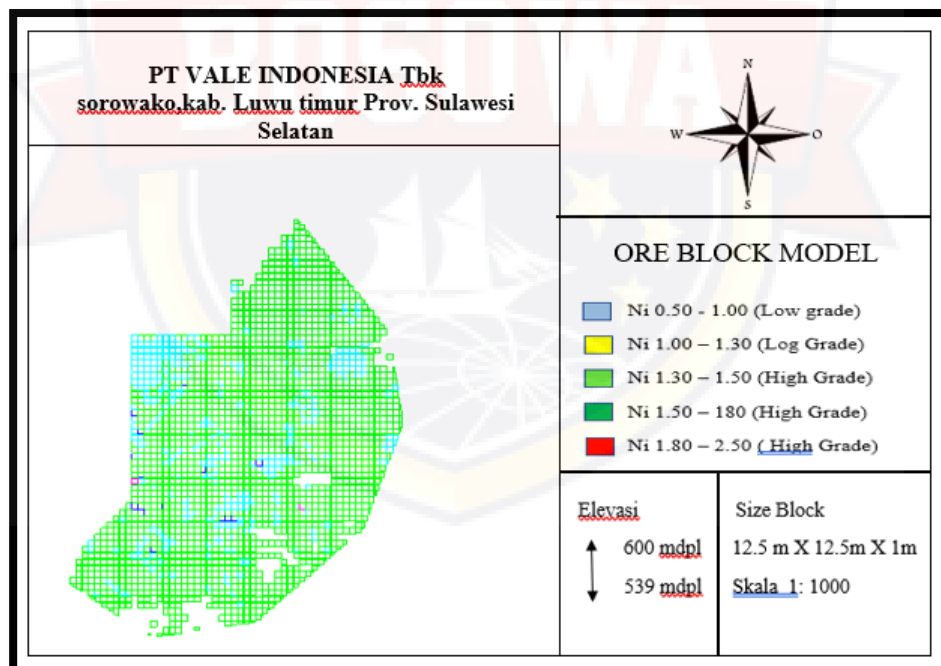
Gambar. 2 ore blok model pit lantoa_3



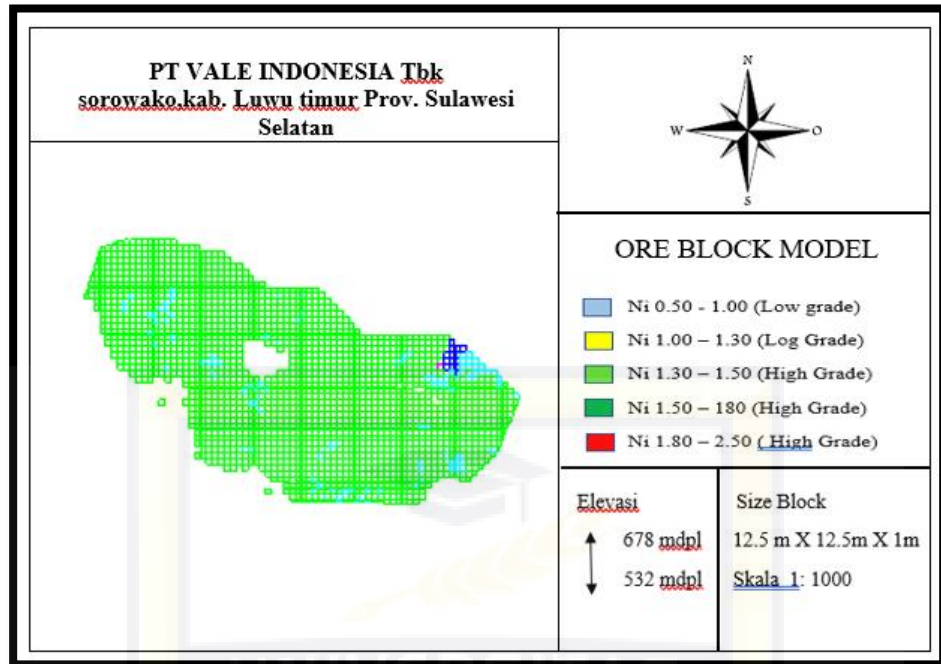
Gambar. 3 Ore blok model pit lantoa_4



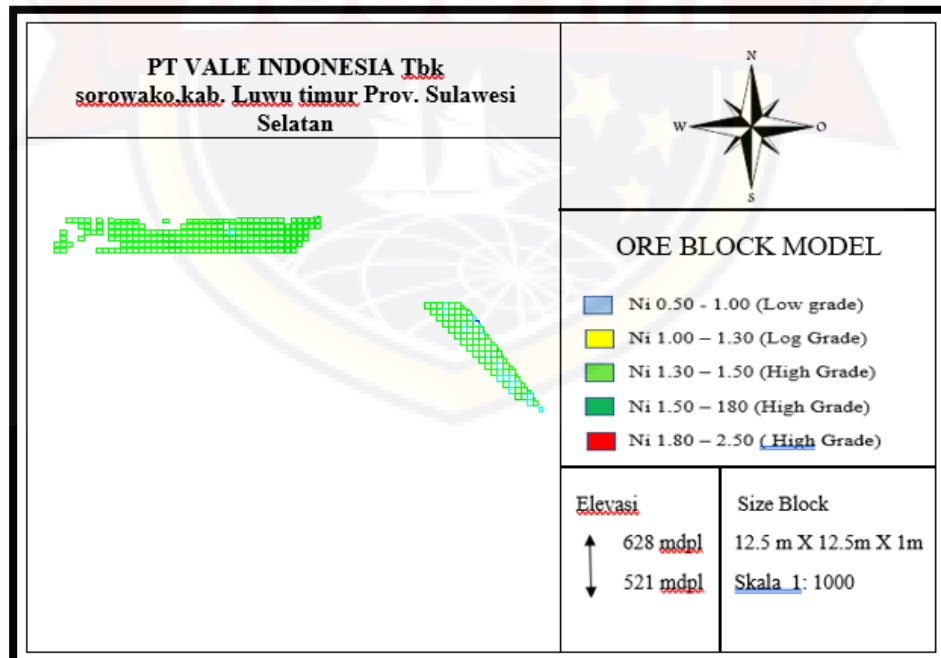
Gambar. 4 Ore blok model pit lantai_5



Gambar. 5 Ore blok model pit lantai_6



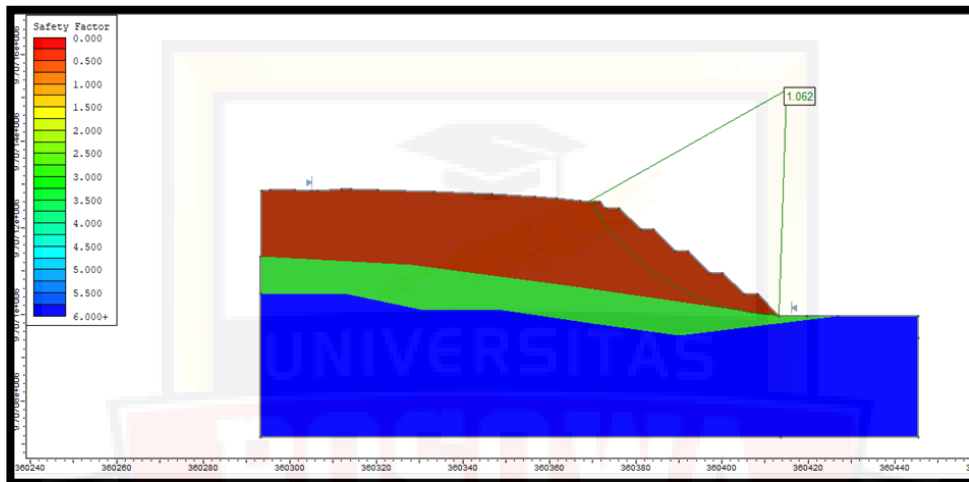
Gambar. 6 Ore blok model pit lantoa_7



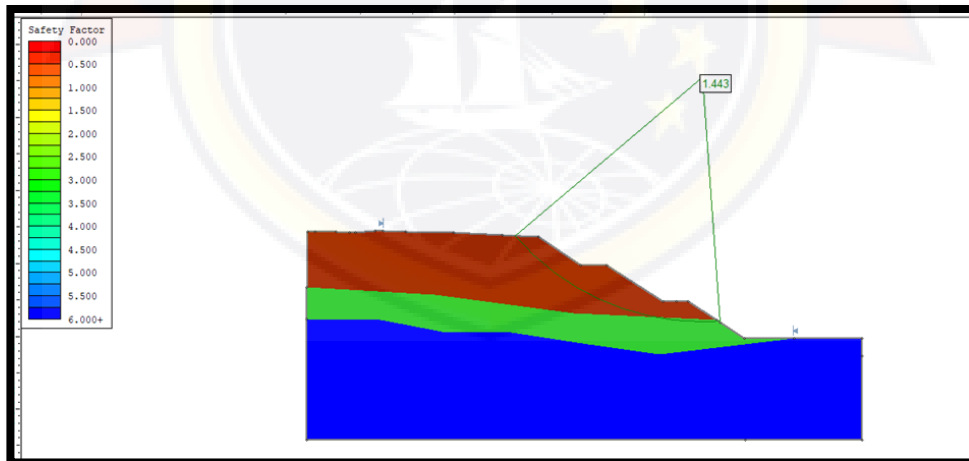
Gambar. 7 Ore blok model pit lantoa_8

LAMPIRAN B

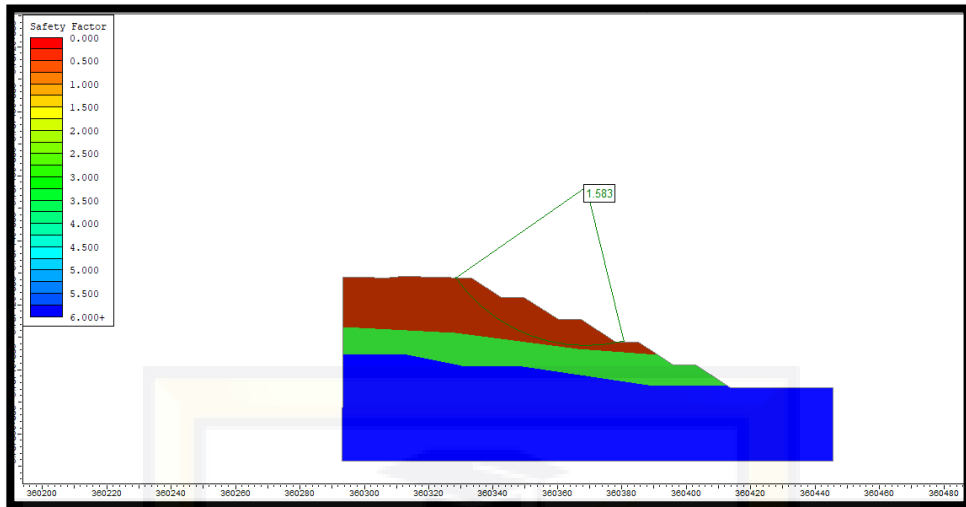
FAKTOR KEAMANAN LERENG METODE JANBU



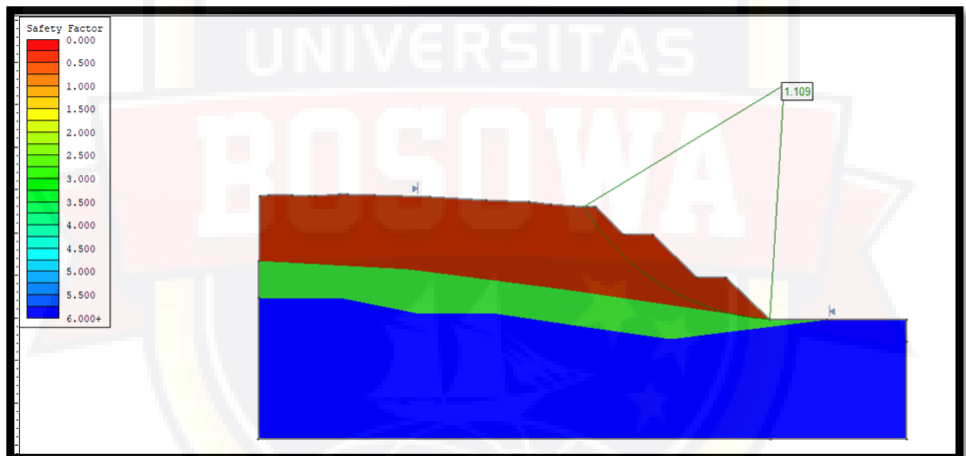
Gambar. 9 Geometri A



Gambar. 10 Geometri B



Gambar. 11 Geometri C



Gambar. 12 Geometri D

LAMPIRAN C

DESAIN PIT BLOK LANTOA



Gambar. 13 Desain pit blok lantai