



## RANCANGAN PIT DAN SEQUENCE PENAMBANGAN BIJIH NIKEL PADA PIT B BLOK MANGROVE PT. INDRABAKTI MUSTIKA SITE LAMERURU

Nur Arif Wibawa<sup>1</sup>, Erwin Anshari<sup>1</sup>, Irfan Saputra<sup>1</sup>, Ika Sartika Ambarsari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Halu Oleo  
Kampus Bumi Hijau Tri Dharma Anduonohu, Kendari, Indonesia 93231  
arifwibawa844@gmail.com

### Intisari

Perseroan Terbatas (PT) Indrabakti Mustika merupakan salah satu perusahaan yang mengambil peluang untuk melakukan usaha pertambangan bijih nikel dengan luasan Izin Usaha Pertambangan (IUP) 576,00 Ha. Saat ini PT. Indrabakti Mustika berencana membuka area penambangan pada *Pit B* Blok Mangrove, dimana pada *Pit B* Blok Mangrove dengan luas area perkiraan  $\pm 20$  Ha. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan rancangan *Pit* berdasarkan *ore* deposit, menghitung jumlah cadangan berdasarkan desain *Pit* limit dan merancang *sequence* penambangan berdasarkan target produksi pada *Pit B* Blok Mangrove. Jumlah cadangan diperoleh berdasarkan desain *Pit* limit dengan nilai *cut off grade* oleh perusahaan sebesar 1,25 % Ni didapatkan total cadangan yaitu sebesar 1.421.931,25 ton dengan mining recovery 90% didapatkan total cadangan tertambang sebesar 1.279.738,13 ton. Kadar rata-rata Ni sebesar 1,55% dan nilai *stripping ratio* yang dihasilkan sebesar 2,08:1, sehingga umur tambang pada *Pit B* Blok Mangrove diperkirakan 7 bulan. Berdasarkan target produksi, *sequence* dirancang dengan 7 tahapan penambangan (mining *sequence*) dimana nilai kadar rata-rata *sequence* pertama dan *sequence* ketujuh adalah 1,69 %.

**Kata kunci:** nikel laterit, *Pit limit*, cadangan tertambang, *sequence*, *Netpromine*

### ABSTRACT

*Indrabakti Mustika inc. is one of the companies that took the opportunity to carry out a nickel ore mining business with a Mining Business Permit (IUP) area of 576.00 Ha. Currently PT. Indrabakti Mustika plans to open a mining area in the Mangrove Block Pit B, which is in the Mangrove Block Pit B with an estimated area of  $\pm 20$  Ha. This study aims to design a Pit based on ore deposits, calculate the amount of reserves based on the Pit limit design and design a mining sequence based on production targets in Pit B of the Mangrove Block. The amount of reserves obtained is based on the Pit limit design with a cut off grade by the company of 1.25% Ni, the total reserves are 1,421,931.25 tons with a mining recovery of 90%, the total mineable reserves are 1,279,738.13 tons. The average Ni content is 1.55% and the resulting stripping ratio is 2.08:1, so that the mine life of the Mangrove Block Pit B is estimated at 7 months. Based on the production target, the sequence is designed with 7 stages of mining (mining sequence) where the average grade value of the first sequence and the seventh sequence is 1.6%.*

**Keywords:** nickel laterite, *Pit limit*, mining reserves, *sequence*, *Netpromine*

## 1. PENDAHULUAN

Provinsi Sulawesi Tenggara merupakan salah satu daerah dengan ketersediaan sumberdaya dan cadangan bijih nikel terbesar di Indonesia khususnya daerah Konawe Utara yang memiliki sumberdaya dan cadangan tertinggi di Provinsi Sulawesi Tenggara, sehingga dengan potensi tersebut banyak perusahaan swasta nasional yang mengambil peluang untuk melakukan usaha pertambangan bijih nikel termasuk salah satunya

adalah Perseroan Terbatas (PT) Indrabakti Mustika. PT. Indrabakti Mustika terletak di Kecamatan Langgikima, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Untuk Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT. Indrabakti Mustika memiliki luasan sebesar 576,00 Ha yang berstatus operasi produksi.

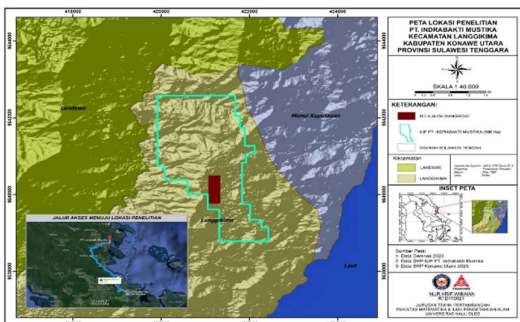
Perseroan Terbatas (PT) Indrabakti Mustika berencana membuka area penambangan pada *Pit B* Blok Mangrove, dimana pada *Pit B* Blok Mangrove dengan luas area perkiraan  $\pm 20$  Ha telah memenuhi

kriteria sumberdaya yang dapat dimanfaatkan secara ekonomis dan dilanjutkan ke tahapan berikutnya. Berdasarkan permasalahan tersebut maka diperlukan pemodelan, perhitungan cadangan, serta rancangan *Pit* dan *sequence* penambangan yang mempertimbangkan faktor keamanan dan target produksi untuk memudahkan proses penambangan dan memaksimalkan perolehan bijih yang ditambang. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mengenai “Rancangan *Pit* dan *Sequence* Penambangan Bijih Nikel Pada *Pit* B Blok Mangrove PT. Indrabakti Mustika Site Lameruru Kecamatan Langgikima Kabupaten Konawe Utara Provinsi Sulawesi Tenggara”.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan  $\pm$  2 Minggu di PT. Indrabakti Mustika. Daerah penelitian berada pada wilayah administratif Kecamatan Langgikima, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Daerah penelitian tersebut dapat ditempuh dengan transportasi jalur darat dengan jarak 196 km dengan waktu tempuh selama kurang lebih 5 jam dari Kota Kendari. Kemudian dilanjutkan perjalanan dengan melewati kawasan pemukiman warga dan jalan tambang selama kurang lebih 1 jam menuju lokasi penelitian. Adapun lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Peta lokasi penelitian

### 2.2 Jenis Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan jenis penelitian kuantitatif dimana proses penelitian mengikuti prosedur yang telah direncanakan dan analisis data dilakukan setelah semua data terkumpul untuk mencapai tujuan deskriptif. Penelitian ini lebih terarah kepada penelitian terapan (applied research), yaitu salah satu jenis penelitian yang bertujuan untuk memberikan solusi atas permasalahan tertentu secara praktis.

### 2.3 Instrumen Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1.** Alat dan bahan penelitian beserta

No	Instrumen penelitian	Kegunaan
1	ATK	Untuk mencatat data-data yang didapatkan di lapangan
2	Kamera	Untuk dokumentasi kegiatan di lapangan
3	GPS Garmin 64s	Untuk mengetahui koordinat pada lokasi penelitian
4	<i>Shelby Tube</i>	Sebagai alat untuk mengambil sampel tanah
5	<i>Software Arcgis</i>	Untuk membuat peta penelitian
6	<i>Software Rockscience Slide</i>	Untuk menganalisa kestabilan lereng dalam penentuan geometri lereng yang akan digunakan
7	<i>Software Global Mapper</i>	Untuk pengolahan data topografi dan data <i>slope</i>
8	<i>Software Microsoft Excel</i>	Untuk pengolahan dan pembuatan rencana <i>sequence</i> penambangan
9	<i>Software NETPROMine 5.8</i>	Untuk membuat pemodelan geologi, desain <i>Pit</i> dan rancangan <i>sequence</i> penambangan
10	Laptop	Untuk membuat laporan

### 2.4 Prosedur Penelitian

Tahapan kegiatan pada penelitian ini terdiri dari tahap studi literatur, pengambilan dan pengumpulan data, pengolahan dan analisis data. Berikut ini adalah tahapan kegiatan penelitian yang akan dilakukan.

#### 1. Studi literatur

Pada tahapan ini yang dilakukan adalah mencari literatur yang akan menunjang kegiatan penelitian yang didapat dari buku-buku, jurnal dan penelitian terdahulu yang terkait dengan rancangan *Pit* dan *sequence* penambangan yang juga dijadikan sebagai dasar dan acuan dilakukannya penelitian ini.

#### 2. Observasi lapangan

Observasi dilaksanakan dengan cara melakukan pengamatan langsung dilapangan pada daerah *Pit* B Blok Mangrove serta melakukan wawancara dengan pegawai perusahaan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui terkait kondisi topografi dan morfologi fokus area penelitian dan mendapatkan informasi yang menunjang kegiatan penelitian.

#### 3. Pengumpulan data

Data primer merupakan data yang diambil secara langsung pada daerah penelitian baik itu melalui pengukuran maupun pengamatan. Data primer

penelitian yaitu Data sampel tanah (kohesi, bobot isi, sudut geser dalam), Data Struktur, Data Litologi dan Data .Geomorfologi

Data sekunder adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan dari sumber-sumber yang telah ada. Data sekunder dikumpulkan berdasarkan literatur dan berbagai referensi yang diperoleh dari pihak perusahaan atau laporan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan masalah yang diangkat. Data yang dimaksud meliputi:

- 1) Data topografi
- 2) Data *drillhole*
- 3) Density material
- 4) Data *Cut off grade (CoG)*
- 5) Spesifikasi alat angkut
- 6) Target produksi
- 7) Data *water table*

#### 4. Pengolahan data dan analisis data

Data-data yang telah dikumpulkan dilapangan, baik itu data primer maupun data sekunder selanjutnya digunakan untuk pengolahan dan analisis data guna mendapatkan hasil sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Adapun *Software* yang digunakan dalam proses pengolahan dan analisis data ada adalah *Software NETPROMine 5.8*, *Software Arcgis*, *Software Rockscience Slide*, *Software Global Mapper*, dan *Software Microsoft Excel*.

Tahapan pengolahan dan analisa data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Melakukan pengujian sampel tanah pada laboratorium uji tanah untuk mendapatkan data kohesi, bobot isi dan sudut geser dalam. Kemudian data tersebut digunakan untuk menganalisa kestabilan lereng dalam penentuan geometri lereng yang akan digunakan dalam perancangan *Pit* dan *sequence* penambangan. Pengolahan dilakukan menggunakan Metode Fellenius dengan bantuan *Software Rockscience Slide*.
- 2) Membuat peta analisis karakteristik area penelitian (struktur, litologi dan geomorfologi) yang menunjang hasil pengamatan secara langsung pada area penelitian.
- 3) Mengolah data topografi daerah penelitian dan data *drillhole* menggunakan *Software NETPROMine 5.8* yang bertujuan untuk menampilkan kontur topografi, sebaran titik bor, dan layer geologi.
- 4) Melakukan analisis statistik dasar data *drillhole* menggunakan *Software NETPROMine 5.8* yang hasilnya digunakan sebagai acuan dalam

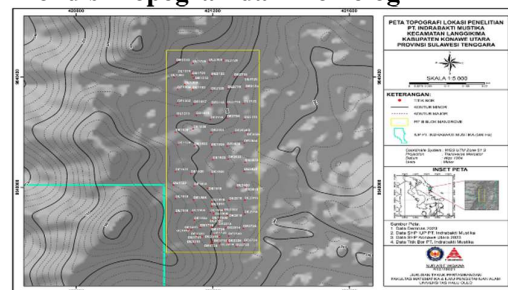
pemilihan metode estimasi sumberdaya yang akan digunakan.

- 5) Membuat model blok dan interpretasi geometri endapan bahan galian menggunakan *Software NETPROMine 5.8* berdasarkan data *drillhole*.
- 6) Melakukan estimasi sumberdaya pada daerah penelitian menggunakan *Software NETPROMine 5.8* berdasarkan sebaran bijih dari model blok yang telah dibuat.
- 7) Membuat rancangan *Pit* limit penambangan menggunakan *Software NETPROMine* dengan mempertimbangkan parameter cut off grade, lebar ramp (jalan angkut dalam *Pit limit*), dan parameter geometri jenjang.
- 8) Melakukan perhitungan cadangan tertambang berdasarkan rancangan *Pit limit* menggunakan *Software NETPROMine 5.8* dan menghitung umur tambang berdasarkan jumlah cadangan tertambang yang diperoleh.
- 9) Membuat rancangan *sequence* penambangan menggunakan *Software NETPROMine 5.8* berdasarkan target produksi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

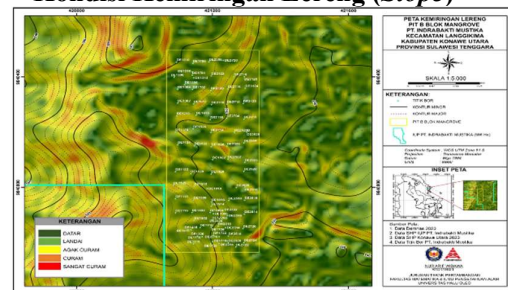
#### 3.1 Kondisi Area Penelitian *Pit B* Blok Mangrove

##### 1. Kondisi Topografi dan Morfologi



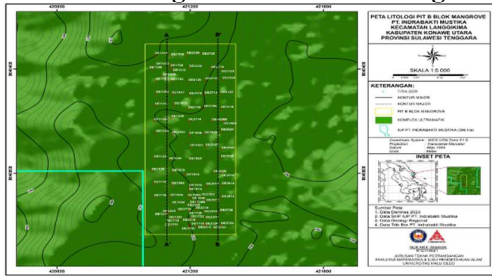
Gambar 2. Peta Topografi Area Penelitian

##### 2. Kondisi Kemiringan Lereng (*Slope*)



Gambar 3. Peta Kemiringan Lereng Area Penelitian

### 3. Kondisi Litologi dan Struktur Geologi



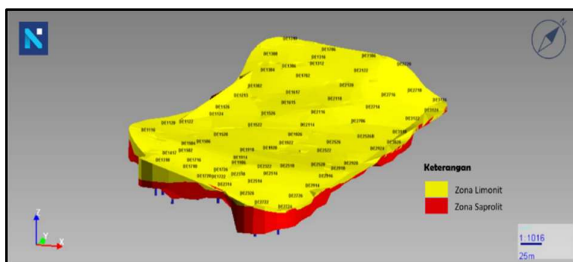
Gambar 4. Peta Geologi Area Penelitian

### 4. Kondisi Water table Area Penelitian

Keberadaan *Water table* atau sering disebut batas atas lajur jenuh air yang sering disebut dengan muka air tanah (MAT) menjadi salah satu hal yang penting untuk diperhatikan sebelum melakukan kegiatan penambangan agar kegiatan penambangan/produksi lebih optimal. Berdasarkan hasil eksplorasi pemboran area penelitian pada *Pit B* Blok Mangrove tidak ditemukan adanya *water table*, keyakinan ini sangat terbatas karena elevasi area *water table* sewaktu-waktu dapat berubah sesuai kondisi geologi dan perubahan musim di area tersebut.

#### 3.2 Model Endapan Bijih (Nikel Laterit)

Pemodelan geologi dibuat menggunakan bantuan *Software NETPROMine 5.8* berdasarkan data hasil eksplorasi pada *Pit B* Blok Mangrove yang telah tervalidasi berupa database pemboran yang meliputi data *assay*, *geology*, *collar*, dan *survey* dari pihak perusahaan. Model endapan bijih (nikel laterit) dapat dilihat pada **Gambar 5**. berikut.

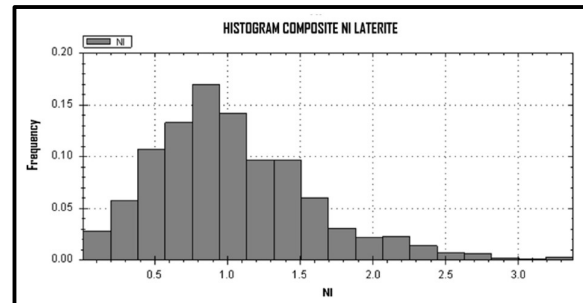


Gambar 5. Model Endapan Nikel Laterit

#### 3.3 Analisis Statistik Dasar

Analisis statistik dasar dilakukan untuk melihat sebaran data pada zona laterisasi (limonit dan saprolit). Analisis statistik yang dilakukan menggunakan data hasil *composite Ni* pada zona saprolit dan limonit yang telah di validasi berdasarkan setiap perubahan kadar Ni. Sebaran dari distribusi kadar yang ditampilkan dalam bentuk histogram (*composite Ni laterit*) dan tabel report analisis statistik menggunakan *Software*

*NETPROMine 5.8* dapat dilihat pada **Gambar 6**. dan **Tabel 2**.



Gambar 6. Histogram Distribusi Kadar Ni Zona Laterisasi (*NETPROMine 5.8*)

Tabel 2. Analisis Statistik Dasar Ni Zona Laterisasi

Variabel	Ni
<i>Number of samples</i>	999
<i>Minimum value</i>	0,01
<i>Maximum value</i>	3,38
<i>Mean</i>	1,04
<i>Median</i>	0,95
<i>Variance</i>	0,30
<i>Standard Deviation</i>	0,55
<i>Skewness</i>	0,87
<i>Coefficient of variation</i>	0,53

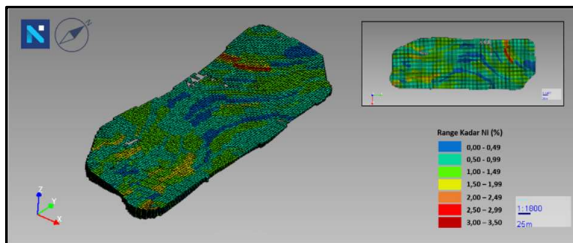
(Sumber: *Report Software NETPROMine 5.8*)

Berdasarkan hasil analisis statistik dasar Ni zona laterisasi (limonit dan saprolit) pada Tabel 4.1 diatas, dapat diketahui bahwa jumlah sampel yang dianalisa sebanyak 999 sampel, nilai kadar terendah 0,01 dan kadar tertinggi 3,38, selain itu dapat diketahui nilai rata-rata sampel 1,04 dengan nilai tengah (median) bernilai 0,95. Memiliki nilai *variance* 0,85, *standard deviation* (SD) 0,55, *coefficient of variation* 0,53, dengan nilai *skewness* 0,87. Kemudian hasil analisis statistik dasar tersebut dapat digunakan untuk menentukan metode estimasi yang cocok digunakan dengan karakteristik data yang diteliti yang disesuaikan dengan kondisi geologi atau geometri endapan pada area penelitian.

#### 3.4 Estimasi Sumberdaya dan Perhitungan Cadangan

Estimasi sumberdaya dan perhitungan cadangan dilakukan dengan menggunakan bantuan *Software NETPROMine 5.8* dalam bentuk model blok tiga dimensi yang mengikuti bentuk geometri sebaran endapan nikel laterit pada daerah lubang bor. Model blok tersebut memuat koordinat serta memberikan informasi mengenai volume, tonase, *density*, litologi, dan kadar rata-rata dari setiap blok. Ukuran model blok 5 m x 5 m (x, y) yang digunakan berdasarkan pembagian dari jarak horizontal antara titik pemboran, sedangkan 1 m

(z) adalah jarak vertikal setiap pengambilan sampel, dimana rata-rata jarak horizontal antar titik bor tersebut adalah 44 meter dan jarak vertikal setiap pengambilan sampel adalah per 1 meter. Dimana dalam perhitungannya digunakan nilai density yang berbeda antara zona limonit sebesar 1,50 ton/m<sup>3</sup> dan zona saprolit sebesar 1,61 ton/m<sup>3</sup>. Model blok sumberdaya pada Pit B Blok Mangrove yang menunjukkan sebaran endapan bijih nikel menggunakan sistem block dapat dilihat pada Gambar 7. berikut.



Gambar 7. Model Blok Sumberdaya Tertunjuk (NETPROMine 5.8)

Berdasarkan hasil estimasi model blok sumberdaya tertunjuk pada Gambar 7. menggunakan Software NETPROMine 5.8 menggunakan metode IDW didapatkan total jumlah volume sumberdaya tertunjuk sebesar 1.921.532,00 m<sup>3</sup> dengan jumlah tonase sebesar 2.978.375,00 ton. Pada zona limonit, didapatkan jumlah volume sumberdaya tertunjuk sebesar 510.204,00 m<sup>3</sup> dengan jumlah tonase sebesar 790.816,00 ton, sementara pada zona saprolit, didapatkan jumlah volume sumberdaya tertunjuk sebesar 1.411.329,00 m<sup>3</sup> dengan jumlah tonase sebesar 2.187.559,00 ton. Hasil estimasi model blok sumberdaya tertunjuk pada Pit B Blok Mangrove PT. Indrabakti Mustika secara rinci dapat dilihat pada Tabel 3.

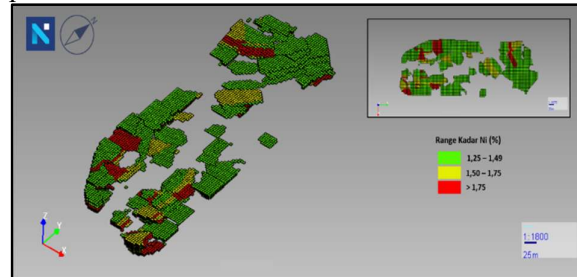
Tabel 3. Hasil Estimasi Sumberdaya Tertunjuk

Zona	Range Ni (%)	Volume (m <sup>3</sup> )	Tonase (ton)	Ni (%)
Limonit	0,00 - 0,49	27.175	42.121,25	0,27
	0,50 - 0,99	89.155	138.190,63	0,76
	1,00 - 1,49	255.723	396.371,25	1,23
	1,50 - 1,99	94.800	146.940	1,74
	2,00 - 2,49	34.650	53.707,50	2,25
	2,50 - 2,99	8.000	12.400	2,75
	3,00 - 3,50	700	1.085	3,05
<b>Subtotal</b>		<b>510.204</b>	<b>790.816</b>	<b>1,00</b>
Saprolit	0,00 - 0,49	179.425	278.108,75	0,24
	0,50 - 0,99	415.705	644.343,13	0,74
	1,00 - 1,49	461.798	715.787,50	1,25
	1,50 - 1,99	248.675	385.446,25	1,73
	2,00 - 2,49	83.600	129.580	2,23

2,50 - 2,99	20.300	31.465	2,71
3,00 - 3,50	1.825	2.828,75	3,05
<b>Subtotal</b>	<b>1.411.329</b>	<b>2.187.559</b>	<b>1,03</b>
<b>Grandtotal</b>	<b>1.921.532</b>	<b>2.978.375</b>	<b>1,02</b>

(Sumber: Report Software NETPROMine 5.8)

Setelah dilakukan estimasi sumberdaya tertunjuk yang telah diketahui jumlah volume, tonase dan kadar Ni nya maka selanjutnya pada tahapan perhitungan cadangan terkira dapat dimodelkan berdasarkan model blok sumberdaya yang telah dibuat sebelumnya dengan memasukkan parameter nilai *cut off grade* yang ditetapkan oleh pihak perusahaan yakni 1,25 % Ni. Sebaran cadangan (*ore*) selanjutnya dimodelkan berdasarkan pengklasifikasian sesuai kadar Nikel nya, yaitu High Grade Ore dengan kadar Ni lebih dari 1,75 %, kemudian Medium Grade Ore yang memiliki nilai kadar Ni berkisar antara 1,50 % sampai 1,75 %, dan yang terakhir adalah Low Grade Ore dengan nilai kadar Ni sebesar 1,25 % sampai 1,49 % berdasarkan ketetapan dari perusahaan. Kadar Ni dibawah nilai 1,25 % tidak dikategorikan sebagai *ore* atau dengan kata lain kadar yang tidak bernilai ekonomis (*waste*). Model blok sebaran cadangan terkira (*ore*) dapat dilihat pada Gambar 8. berikut.



Gambar 7. Model Blok Cadangan Terkira (NETPROMine 5.8)

Berdasarkan hasil perhitungan model blok cadangan terkira pada Gambar 4.8 menggunakan Software NETPROMine 5.8 menggunakan metode *inverse distance weighted* (IDW) didapatkan jumlah volume cadangan terkira pada zona limonit sebesar 301.900,00 m<sup>3</sup> dengan jumlah tonase sebesar 467.945,00 ton, sementara paada zona saprolit didapatkan jumlah volume cadangan terkira sebesar 615.925,00 m<sup>3</sup> dengan jumlah tonase sebesar 954.684,00 ton, sehingga didapatkan jumlah total volume cadangan terkira sebesar 917.825,00 m<sup>3</sup> dan tonase sebesar 1.422.629,00 ton. Hasil estimasi model blok cadangan terkira pada Pit B Blok Mangrove secara rinci dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil Perhitungan Cadangan Terkira

Zona	Range Ni (%)	Ore Class	Volume (m <sup>3</sup> )	Tonase (ton)	Ni (%)
	> 1,75	High Grade	79.675	123.496	2,49
Limonit	1,50 - 1,75	Medium Grade	58.475	90.636	1,59
	1,25 - 1,49	Low Grade	163.750	253.813	1,35
	<b>Subtotal</b>		<b>301.900</b>	<b>467.945</b>	<b>2,00</b>
	> 1,75	High Grade	198.075	307.016	2,46
Saprolit	1,50 - 1,75	Medium Grade	156.325	242.304	1,60
	1,25 - 1,49	Low Grade	261.525	405.364	1,37
	<b>Subtotal</b>		<b>615.925</b>	<b>954.684</b>	<b>1,81</b>
<b>Grandtotal</b>		<b>917.825</b>	<b>1.422.629</b>	<b>1,91</b>	

(Sumber: Report Software NETPROMine 5.8)

### 3.5 Analisis Geoteknik Untuk Kestabilan Lereng

Analisis geoteknik merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam melakukan rancangan Pit dan sequence penambangan dimana dalam perancangannya perlu dilakukan analisis kestabilan lereng untuk mendapatkan nilai faktor keamanan yang optimal dan aman untuk digunakan. Pengambilan data geoteknik berupa sampel tanah dilakukan pada masing-masing litologi yang terdapat di area Pit B Blok Mangrove PT. Indrabakti Mustika. Setelah pengambilan sampel tanah yang dibutuhkan, maka sampel tersebut dibawa ke Laboratorium Survey dan Pengujian Bahan (Mekanika Tanah) Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo untuk dianalisis. Berdasarkan hasil uji laboratorium dari sampel tanah yang diambil di lapangan maka diperoleh nilai bobot isi, kohesi dan sudut geser dalam yang dapat dilihat pada **Tabel 5**.

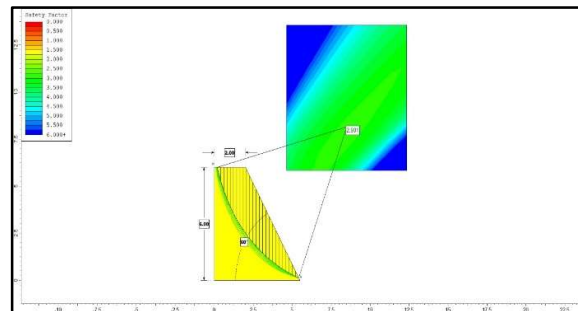
**Tabel 5.** Data Pengujian Sampel Tanah Pada Zona Laterisasi

Zona	Pengujian	Hasil Lab	Satuan	Hasil Konversi	Satuan
Limonit	Bobot isi	1,22	gr/cm <sup>3</sup>	11,964	kN/m <sup>3</sup>
	Kohesi	0,158	kg/cm <sup>2</sup>	15,495	kN/m <sup>2</sup>
	Sudut geser	55,176	deg	55,176	deg
Saprolit	Bobot isi	1,06	gr/cm <sup>3</sup>	10,395	kN/m <sup>3</sup>
	Kohesi	0,121	kg/cm <sup>2</sup>	11,866	kN/m <sup>2</sup>
	Sudut geser	53,973	deg	53,973	deg

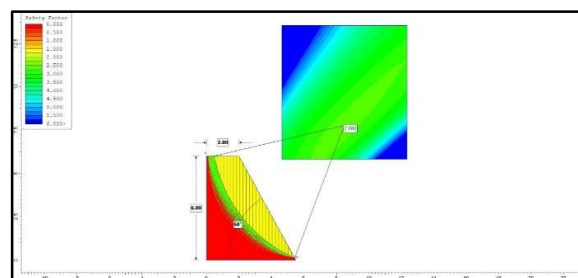
(Sumber: Hasil Penelitian,2023)

Simulai perhitungan faktor keamanan bertujuan untuk mendapatkan rekomendasi rancangan geometri lereng yang optimal serta memenuhi standar Faktor Keamanan (FK) sesuai Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM-RI/2018. Nilai faktor keamanan dikategorikan berdasarkan jenis lereng, yakni pertama adalah lereng tunggal dimana nilai Faktor

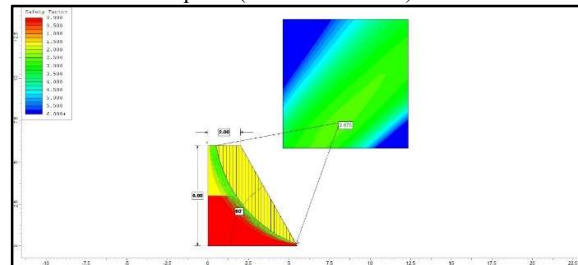
Keamanan minimal 1,1, kemudian yang kedua adalah Inter-ramp dimana nilai Faktor Keamanan minimal 1,2 sampai 1,3 dan yang terakhir adalah lereng keseluruhan dimana nilai Faktor Keamanan minimal 1,3 sampai 1,5. Simulasi perhitungan faktor keamanan lereng penambangan dilakukan menggunakan bantuan *Software Rockscience Slide* dengan penggambaran lereng dilakukan secara manual pada tampilan *Software* dengan sistem *trial and error* atau coba-coba hingga mendapatkan rancangan geometri lereng seperti tinggi lereng, lebar lereng dan kemiringan lereng yang sesuai. Simulasi perhitungan faktor keamanan dilakukan pada masing-masing lapisan yaitu lapisan limonit dan lapisan saprolit ditambah dengan analisa kemungkinan jika terjadi kontak antar beberapa lapisan dalam satu lereng. Hasil simulasi perhitungan faktor keamanan pada masing-masing litologi dapat dilihat pada **Gambar 8**. hingga **Gambar 10**.



**Gambar 8.** Analisa Faktor Keamanan Lereng Pada Zona Limonit (*Rockscience Slide*)



**Gambar 9.** Analisa Faktor Keamanan Lereng Pada Zona Saprolit (*Rockscience Slide*)



**Gambar 10.** Analisa Faktor Keamanan Lereng Lebih Dari Satu Zona (*Rockscience Slide*)

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan *Software rockscience slide* maka didapatkan nilai faktor keamanan (FK) dapat dilihat pada **Tabel 6**.

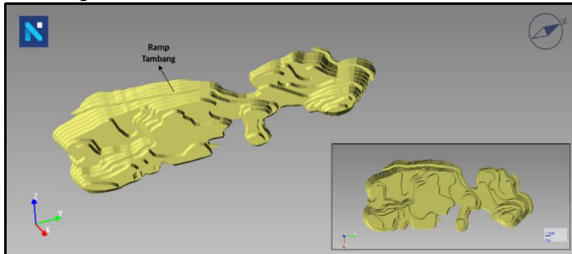
**Tabel 6.** Nilai Faktor Keamanan

Zona (Layer Geologi)	FK (Faktor Keamanan)
Limonit	2,901
Saprolit	2,660
Kontak (Limonit-Saprolit)	2,675

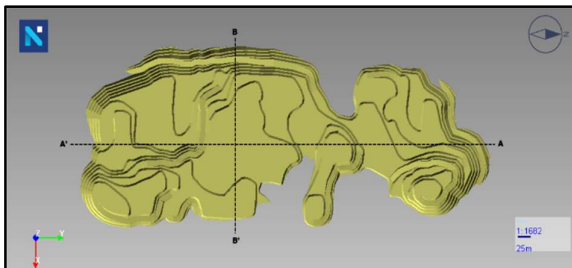
(Sumber: Hasil Penelitian,2023)

### 3.6 Rancangan Pit Limit

*Pit limit* dirancang berdasarkan pertimbangan sebaran model blok cadangan (*ore deposit*) dengan hasil analisis geoteknik yang telah dihitung sebelumnya yaitu tinggi lereng 6 meter, lebar lereng 2 meter serta kemiringan lereng 60 derajat, juga faktor keekonomisan berdasarkan stripping ratio, yaitu untuk *stripping ratio* tiga banding satu antara material *overburden (waste)* dan *ore* masih dianggap ekonomis dari pihak perusahaan, selain itu dipertimbangkan pula mengenai keberadaan *water table* pada elevasi terendah *Pit limit* penambangan yang dirancang. Rancangan *Pit limit* penambangan dan penampang (*cross section*) *Pit limit* dapat dilihat pada **Gambar 11**. Dan **Gambar 12**.



**Gambar 11.** Rancangan *Pit Limit* Penambangan (*NETPROMine 5.8*)

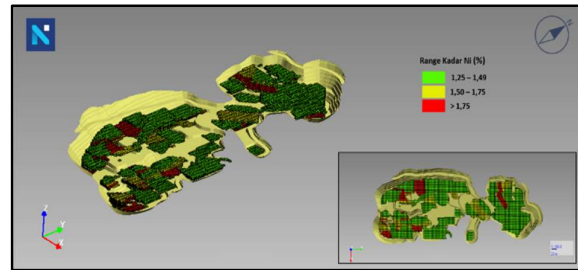


**Gambar 12.** *Pit Limit* Penambangan (Garis *Cross section*) (*NETPROMine 5.8*)

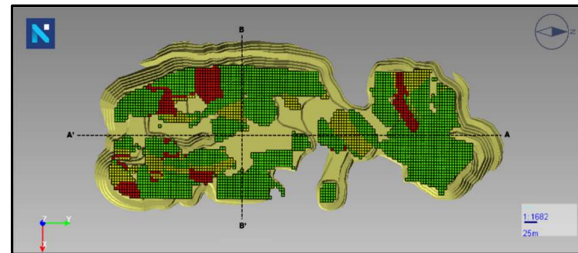
### 3.7 Cadangan Tertambang dan Umur Tambang (Mine Life)

Cadangan tertambang adalah jumlah sumberdaya yang dibatasi oleh *cut off grade* dan batas akhir penambangan. Batas perhitungan

dimana topografi sebagai batas atas penambangan (*top surface*) dan yang menjadi batas bawah penambangannya (*bottom surface*) yaitu rancangan batas akhir penambangan (*ultimate Pit limit*). Cadangan tertambang diperoleh berdasarkan kadar batas ekonomis atau kadar rata-rata terendah yang masih ekonomis ketika ditambang (*cut off grade*) dari jumlah sumberdaya tertunjuk yang ada dan hasil rancangan *Pit limit* yang dibuat. Sebaran model blok cadangan tertambang beserta penampang model blok cadangan tertambang dapat dilihat pada **Gambar 13**. hingga **Gambar 14**.



**Gambar 13.** Model Blok Cadangan Tertambang (*NETPROMine 5.8*)



**Gambar 14.** Model Blok Cadangan Tertambang (Garis *Cross section*) (*NETPROMine 5.8*)

Berdasarkan sebaran model blok cadangan tertambang pada Gambar 4.15 dimana dalam perhitungannya menghasilkan jumlah cadangan tertambang dengan *cut off grade*  $\geq 1,25\%$  Ni maka didapatkan total cadangan bijih nikel dengan volume sebesar 917.375,00 m<sup>3</sup> dan tonase 1.421.931,25 ton. Jumlah cadangan yang dapat ditambang telah memenuhi standar *cut off grade* perusahaan dan selanjutnya memasukkan parameter mining recovery sebesar 90%. Rincian perhitungan cadangan tertambang dapat dilihat pada Tabel 7. berikut.

**Tabel 7.** Cadangan Tertambang

Material	Range Ni (%)	Ore Class	Volume (m <sup>3</sup> )	Tonase (ton)	Ni (%)
Ore	> 1,75	High Grade	277.750,00	430.512,50	2,48
	1,50 - 1,75	Medium	214.800,00	332.940,00	1,59

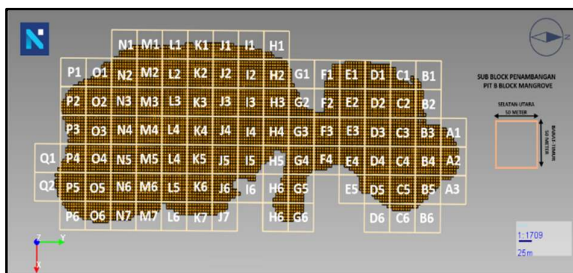
		Grade			
	1,25 - 1,49	Low	425.275,00	659.176,25	1,36
<b>Total Ore</b>			917.375,00	1.421.931,25	1,81
<b>OB/Waste</b>	> 1,25	Waste	1.718.775,00	2.664.101,25	0,81
<b>Mining Recovery 90%</b>			825.637,50	1.279.738,13	1,81
<b>Stripping Ratio</b>					1 : 2,08

(Sumber: Report Software NETPROMine 5.8)

### 3.8 .Sequence Penambangan

Rancangan *sequence* penambangan merupakan perancangan dalam menentukan arah, serta titik lokasi penambangan yang akan dilakukan dengan membagi lokasi penambangan secara umum menjadi bagian yang lebih kecil untuk mempermudah dalam mengatasi kegiatan penambangan dimana *sequence* akhir penambangan merupakan *Pit limit* penambangan.

Metode yang diterapkan dalam mendesain *sequence* penambangan pada *Pit* B Blok Mangrove adalah metode sub blok. Dimana metode ini membagi blok menjadi sub blok dan/atau membagi *Pit* menjadi ukuran *Pit* lebih kecil untuk melihat nilai *stripping ratio* dan kadar bijih pada suatu luasan area tertentu hingga memperoleh perbandingan jumlah *overburden* dan *ore* yang akan di tambang sesuai dengan kriteria target penambangan. Ukuran sub blok penambangan yang digunakan pada blok tersebut adalah 50 m × 50 m dengan jumlah sub blok penambangan yang dihasilkan sebanyak 98 sub blok penambangan dapat dilihat pada **Gambar 15**.



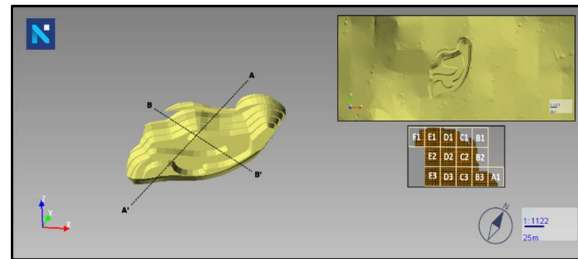
**Gambar 15.** Sub Blok Penambangan (NETPROMine 5.8)

#### 1. Sequence Penambangan Bulan Ke-1

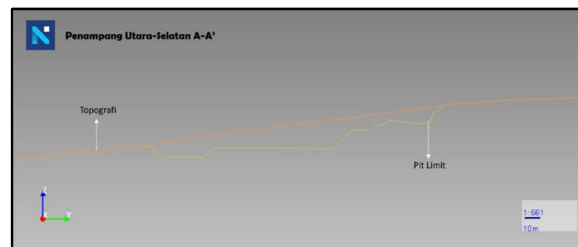
Proses penambangan yang dilakukan pada tahap pertama diawali dengan membuka sub blok A1, B1, B2, B3, A3, C1, C2, C3, D1, D2, D3, E1, E2, E3 dan F1 pada elevasi 322 mdpl hingga 278 mdpl dengan 44 penurunan level penggalian dengan luasan 25.000 m<sup>2</sup> atau 2,5 Ha.

Berdasarkan pada *sequence* bulan pertama dengan memasukan parameter mining recovery 90 % diperoleh jumlah tonase material *ore* tertambang

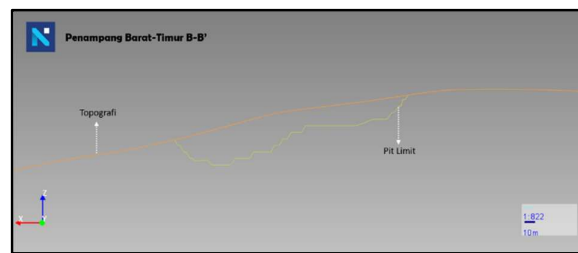
sebesar 181.280,25 ton dengan kadar rata-rata Ni sebesar 1,32 %. Sementara itu, jumlah tonase material *overburden* yang akan dibongkar sebesar 303.490,00 ton dengan nilai *stripping ratio* pada *sequence* bulan pertama sebesar 1 : 1,67. Hasil rancangan *sequence* penambangan bulan pertama dan penampang (*cross section*) dapat dilihat pada **Gambar 16**. hingga **Gambar 18**.



**Gambar 16.** Rancangan *Sequence* Penambangan Bulan Ke-1 (NETPROMine 5.8)



**Gambar 17.** Penampang (*Cross section*) Utara-Selatan (NETPROMine 5.8)



**Gambar 18.** Penampang (*Cross section*) Barat-Timur (NETPROMine 5.8)

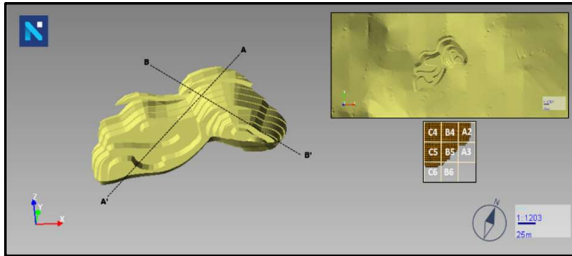
#### 2. Sequence Penambangan Bulan Ke-2

Proses penambangan yang dilakukan pada tahap kedua diawali dengan membuka sub blok A2, A3, B4, B5, B6, C4, C5, dan C6 pada elevasi 316 mdpl hingga 254 mdpl dengan 62 penurunan level penggalian dengan luasan 11.000 m<sup>2</sup> atau 1,1 Ha.

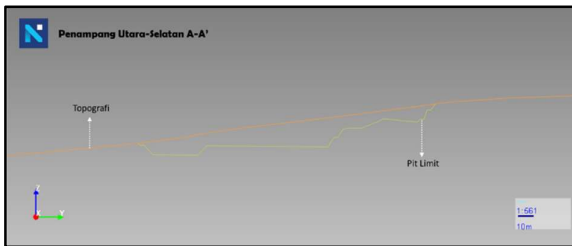
Berdasarkan pada *sequence* bulan kedua dengan memasukan parameter mining recovery 90 % diperoleh jumlah tonase material *ore* tertambang sebesar 190.522,13 ton dengan kadar rata-rata Ni sebesar 1,56 %. Sementara itu, jumlah tonase material *overburden* yang akan dibongkar sebesar 190.572,50 ton dengan nilai *stripping ratio* pada



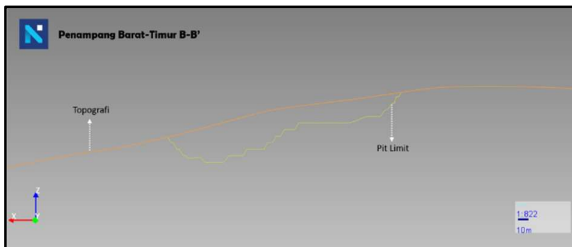
*sequence* bulan kedua sebesar 1 : 1. Hasil rancangan *sequence* penambangan bulan kedua dan penampang (*cross section*) dapat dilihat pada **Gambar 19** hingga **Gambar 21**.



**Gambar 19.** Rancangan *Sequence* Penambangan Bulan Ke-2 (NETPROMine 5.8)



**Gambar 20.** Penampang (*Cross section*) Utara-Selatan (NETPROMine 5.8)



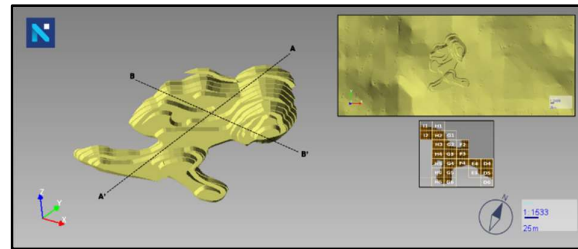
**Gambar 21.** Penampang (*Cross section*) Barat-Timur (NETPROMine 5.8)

### 3. *Sequence* Penambangan Bulan Ke-3

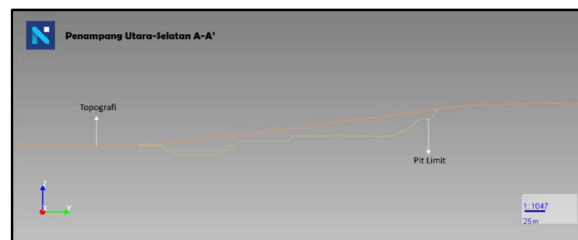
Proses penambangan yang dilakukan pada tahap ketiga diawali dengan membuka sub blok D4, D5, D6, E4, E5, F2, F3, F4, G1, G2, G3, G4, G5, G6, H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, I1, dan I2 pada elevasi 306 mdpl hingga 254 mdpl dengan 52 penurunan level penggalian dengan luasan 34.000 m<sup>2</sup> atau 3,4 Ha.

Berdasarkan pada *sequence* bulan ketiga dengan memasukan parameter mining recovery 90 % diperoleh jumlah tonase material *ore* tertambang sebesar 180.931,50 ton dengan kadar rata-rata Ni sebesar 1,46 %. Sementara itu, jumlah tonase material *overburden* yang akan dibongkar sebesar 431.597,50 ton dengan nilai *stripping ratio* pada *sequence* bulan kedua sebesar 1 : 2,39. Hasil rancangan *sequence* penambangan bulan ketiga dan

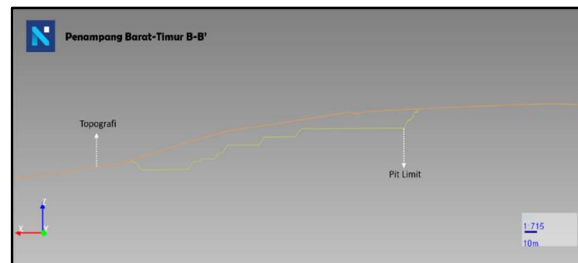
penampang (*cross section*) dapat dilihat pada **Gambar 22**. Hingga **Gambar 24**.



**Gambar 22.** Rancangan *Sequence* Penambangan Bulan Ke-3 (NETPROMine 5.8)



**Gambar 23.** Penampang (*Cross section*) Utara-Selatan (NETPROMine 5.8)

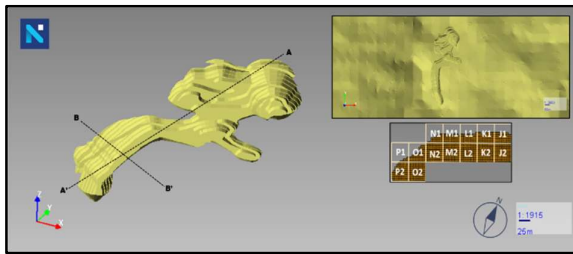


**Gambar 24.** Penampang (*Cross section*) Barat-Timur (NETPROMine 5.8)

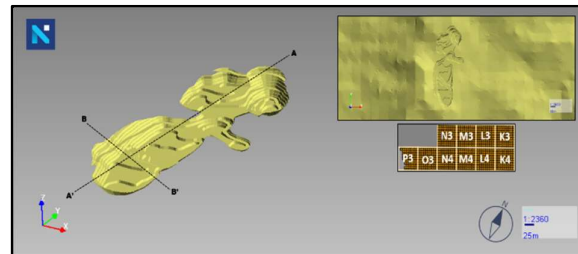
### 4. *Sequence* Penambangan Bulan Ke-4

Proses penambangan yang dilakukan pada tahap ke empat diawali dengan membuka sub blok J1, J2, K1, K2, L1, L2, M1, M2, N1, N2, O1, O2, P1, dan P2 pada elevasi 325 mdpl hingga 260 mdpl dengan 65 penurunan level penggalian dengan luasan 33.000 m<sup>2</sup> atau 3,3 Ha.

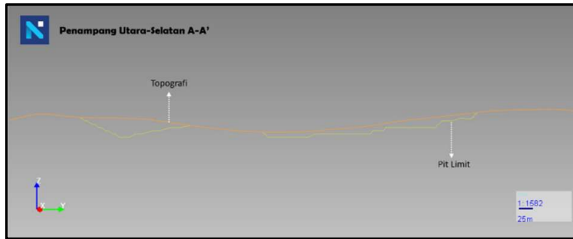
Berdasarkan pada *sequence* bulan ke empat dengan memasukan parameter mining recovery 90 % diperoleh jumlah tonase material *ore* tertambang sebesar 202.484,25 ton dengan kadar rata-rata Ni sebesar 1,45 %. Sementara itu, jumlah tonase material *overburden* yang akan dibongkar sebesar 514.328,75 ton dengan nilai *stripping ratio* pada *sequence* bulan kedua sebesar 1 : 2,54. Hasil rancangan *sequence* penambangan bulan ke empat dan penampang (*cross section*) dapat dilihat pada **Gambar 25**. Hingga **Gambar 27**.



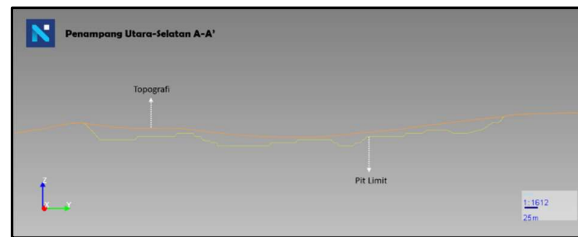
**Gambar 25.** Rancangan *Sequence* Penambangan Bulan Ke-4 (NETPROMine 5.8)



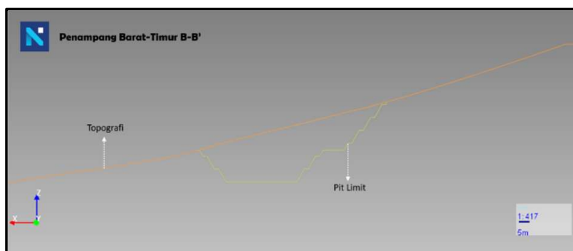
**Gambar 28.** Rancangan *Sequence* Penambangan Bulan Ke-5 (NETPROMine 5.8)



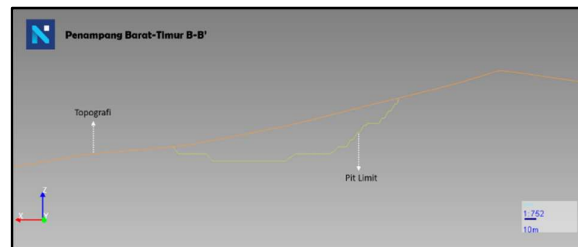
**Gambar 26.** Penampang (*Cross section*) Utara-Selatan (NETPROMine 5.8)



**Gambar 29.** Penampang (*Cross section*) Utara-Selatan (NETPROMine 5.8)



**Gambar 27.** Penampang (*Cross section*) Barat-Timur (NETPROMine 5.8)



**Gambar 30.** Penampang (*Cross section*) Barat-Timur (NETPROMine 5.8)

### 5. *Sequence* Penambangan Bulan Ke-5

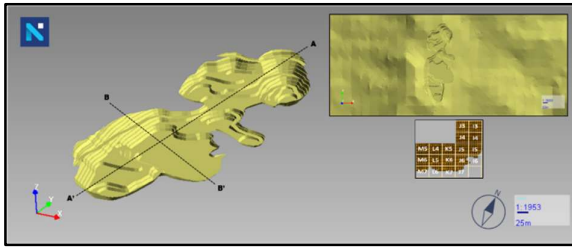
Proses penambangan yang dilakukan pada tahap ke empat diawali dengan membuka sub blok P3, O3, N3, N4, M3, M4, L3, L4, K3, dan K4 pada elevasi 305 mdpl hingga 260 mdpl dengan 45 penurunan level penggalian dengan luasan 36.000 m<sup>2</sup> atau 3,6 Ha.

Berdasarkan pada *sequence* bulan kelima dengan memasukan parameter mining recovery 90 % diperoleh jumlah tonase material *ore* tertambang sebesar 186.162,75 ton dengan kadar rata-rata Ni sebesar 1,60 %. Sementara itu, jumlah tonase material *overburden* yang akan dibongkar sebesar 423.808,75 ton dengan nilai *stripping ratio* pada *sequence* bulan kelima sebesar 1 : 2,28. Hasil rancangan *sequence* penambangan bulan kelima dan penampang (*cross section*) dapat dilihat pada **Gambar 28.** Hingga **Gambar 30.**

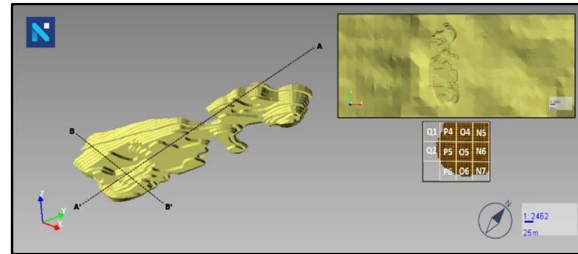
### 6. *Sequence* Penambangan Bulan Ke-6

Proses penambangan yang dilakukan pada tahap keenam diawali dengan membuka sub blok I3, I4, I5, I6, J3, J4, J5, J6, J7, K5, K6, K7, L5, L6, L7, M5, M6, dan M7 pada elevasi 291 mdpl hingga 242 mdpl dengan 49 penurunan level penggalian dengan luasan 17.000 m<sup>2</sup> atau 1,7 Ha.

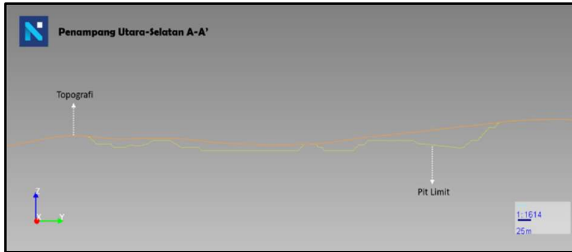
Berdasarkan pada *sequence* bulan keenam dengan memasukan parameter mining recovery 90 % diperoleh jumlah tonase material *ore* tertambang sebesar 182.396,25 ton dengan kadar rata-rata Ni sebesar 1,60 %. Sementara itu, jumlah tonase material *overburden* yang akan dibongkar sebesar 509.291,25 ton dengan nilai *stripping ratio* pada *sequence* bulan keenam sebesar 1 : 2,79. Hasil rancangan *sequence* penambangan bulan keenam dan penampang (*cross section*) dapat dilihat pada **Gambar 31.** hingga **Gambar 33.**



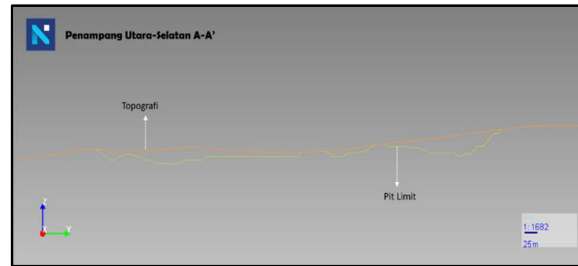
**Gambar 31.** Rancangan *Sequence* Penambangan Bulan Ke-6 (NETPROMine 5.8)



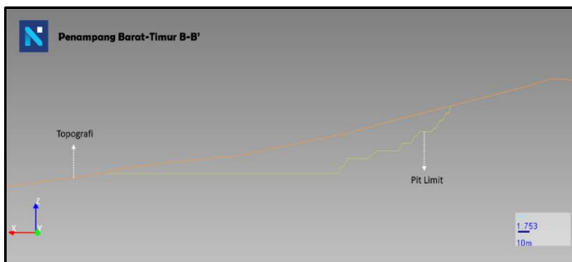
**Gambar 34.** Rancangan *Sequence* Penambangan Bulan Ke-7 (NETPROMine 5.8)



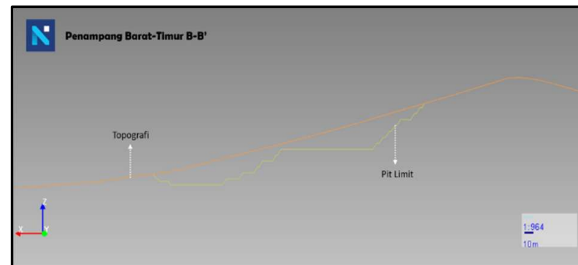
**Gambar 32.** Penampang (*Cross section*) Utara-Selatan (NETPROMine 5.8)



**Gambar 35.** Penampang (*Cross section*) Utara-Selatan (NETPROMine 5.8)



**Gambar 33.** Penampang (*Cross section*) Barat-Timur (NETPROMine 5.8)



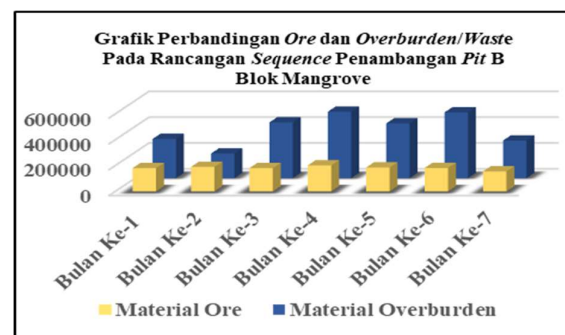
**Gambar 36.** Penampang (*Cross section*) Barat-Timur (NETPROMine 5.8)

### 7. *Sequence* Penambangan Bulan Ke-7

Proses penambangan yang dilakukan pada tahap ketujuh yang merupakan *sequence* penambangan terakhir diawali dengan membuka sub blok N5, N6, N7, O4, O5, O6, P4, P5, P6, Q1 dan Q2 pada elevasi 283 mdpl hingga 236 mdpl dengan 47 penurunan level penggalian dengan luasan 22.000 m<sup>2</sup> atau 2,2 Ha

Berdasarkan pada *sequence* bulan keenam dengan memasukan parameter mining recovery 90 % diperoleh jumlah tonase material *ore* tertambang sebesar 155.961,00 ton dengan kadar rata-rata Ni sebesar 1,69 %. Sementara itu, jumlah tonase material *overburden* yang akan dibongkar sebesar 291.012,50 ton dengan nilai *stripping ratio* pada *sequence* bulan keenam sebesar 1 : 1,87. Hasil rancangan *sequence* penambangan bulan ketujuh dan penampang (*cross section*) dapat dilihat pada **Gambar 34.** hingga **Gambar 36.**

Hasil rancangan penambangan untuk *sequence* selama 7 bulan pada *Pit B* Blok Mangrove secara keseluruhan dapat dilihat dengan grafik yang menampilkan perbandingan terhadap perolehan tonase *ore* dan tonase *overburden* dari bulan pertama hingga bulan ketujuh. Grafik perolehan rancangan *sequence* 7 bulan dapat dilihat pada **Gambar 37.** Berikut.



**Gambar 37.** Grafik Perolehan Rancangan *Sequence* 7 Bulan

#### 4 KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) Rancangan *Pit* limit pada *Pit* B Blok Mangrove dirancang dengan mempertimbangkan are model blok cadangan (*ore* deposit) serta hasil analisa geoteknik (kestabilan lereng) yang telah dihitung sebelumnya pada masing-masing zona yaitu tinggi lereng 6 meter, lebar lereng 2 meter serta kemiringan lereng 60 derajat. Untuk Desain ramp tambang pada *Pit* limit dirancang dua lajur dengan lebar keseluruhan 9 meter yang disesuaikan dengan spesifikasi alat angkut yang digunakan pada area penelitian. Desain ramp tambang dengan dua lajur dimaksudkan untuk dapat memudahkan mobilitas kendaraan dump truck dalam proses produksi. Ketidakterdapatnya zona *water table* atau muka air tanah pada elevasi terendah area penelitian.
- 2) Jumlah cadangan berdasarkan desain *Pit* limit dengan nilai *cut off grade* oleh perusahaan sebesar 1,25 % Ni didapatkan total cadangan yaitu sebesar 1.421.931,25 ton dengan mining recovery 90% didapatkan total cadangan tertambang sebesar 1.279.738,13 ton. Kadar rata-rata Ni sebesar 1,55% dan nilai *stripping ratio* yang dihasilkan pada *Pit* B Blok Mangrove yaitu sebesar 1 : 2,08.
- 3) Rancangan *sequence* penambangan dibuat berdasarkan target produksi dengan pertimbangan teknis, dan metode yang digunakan adalah metode sub blok dengan jumlah sub blok penambangan yang dihasilkan sebanyak 98 dan terbagi atas 7 tahapan/urutan penambangan (*mine sequence*) antara lain; Pada *Sequence* pertama diperoleh jumlah *ore* sebanyak 181.280,25 ton dan *overburden* sebanyak 303.490,00 ton dengan nilai *stripping ratio* 1 : 1,6 dimana kadar rata-rata bijih Ni pada tahap ini adalah 1,69 %. *Sequence* kedua diperoleh jumlah *ore* sebanyak 190.522,13 ton dan *overburden* sebanyak 190.572,50

ton dengan nilai *stripping ratio* 1 : 1 dimana kadar rata-rata bijih Ni pada tahap ini adalah 1,56 %. *Sequence* ketiga diperoleh jumlah *ore* sebanyak 180.931,50 ton dan *overburden* sebanyak 431.597,50 ton dengan nilai *stripping ratio* 1 : 2,39 dimana kadar rata-rata bijih Ni pada tahap ini adalah 1,46 %. *Sequence* keempat diperoleh jumlah *ore* sebanyak 202.484,25 ton dan *overburden* sebanyak 514.328,75 ton dengan nilai *stripping ratio* 1 : 2,54 dimana kadar rata-rata bijih Ni pada tahap ini adalah 1,45 %. *Sequence* kelima diperoleh jumlah *ore* sebanyak 186.162,75 ton dan *overburden* sebanyak 423.808,75 ton dengan nilai *stripping ratio* 1 : 2,28 dimana kadar rata-rata bijih Ni pada tahap ini adalah 1,60 %. *Sequence* keenam diperoleh jumlah *ore* sebanyak 182.396,25 ton dan *overburden* sebanyak 509.291,25 ton dengan nilai *stripping ratio* 1 : 2,79 dimana kadar rata-rata bijih Ni pada tahap ini adalah 1,49 %. *Sequence* ketujuh diperoleh jumlah *ore* sebanyak 155.961,00 ton dan *overburden* sebanyak 291.012,50 ton dengan nilai *stripping ratio* 1 : 1,87 dimana kadar rata-rata bijih Ni pada tahap ini adalah 1,69 %.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak PT. Indrabakti Mustika yang telah bersedia menjadi lokasi penelitian penulis serta banyak membantu selama proses penelitian berlangsung.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arif, I. (2016). Geoteknik Tambang (Mewujudkan Produksi Tambang Yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng). PT Gramedia Pustaka Utama. ISBN: 978-602-03-2735-8
- [2] Bai, X. Marcoote, D., Gamache, M., Gregory, D., Lapworth, A. 2018. "Automatic Generation of Feasible Mining Pushbacks for Open *Pit* Strategic Planning." *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* volume vol 118 no 5 hal : 515–30 ISSN 2225-6253
- [3] Bargawa, W. S. (2018). Geostatistik (Edisi



- Ketiga). Kilau Book. ISBN: 978-623-7594-42-0
- [4] Bargawa, W. S. (2018). Perencanaan Tambang (Edisi Kedelapan). Kilau Book. ISBN: 978-623-7594-31-4.
- [5] Darling, P. (2011). Mining Engineering Handbook Third Edition. Society For Mining, Metallurgy, And Exploration, INC. ISBN 978-0-87335-264-2.
- [6] Hardiyatmo, H.S. (2018). Mekanika Tanah II. Gadjah Mada University Press. ISBN: 979-420-637-7.
- [7] Hidayanti, T., Handayani, I., dan Ikasari, I. H. (2013). Statistika Dasar Panduan Bagi Dosen dan Mahasiswa. CV.Pena Persada. ISBN: 978-623-7699-69-9.
- [8] Hustrulid, W., Kuchta, M., dan Martin, R. (2013). Open Pit Mine Planning & Design 3rd Edition. CRC Press Taylor & Francis Group. London. ISBN: 978-1-4822-2117-6.
- [9] Komite Cadangan Mineral Indonesia. (2017). Kode Pelaporan Hasil Eksplorasi Sumberdaya Mineral dan Cadangan Bijih Indonesia. Perhimpunan Ahli Pertambangan Indonesia dan Ikatan Ahli Geologi Indonesia.
- [10] Keputusan Menteri Republik Indonesia. (2018). Keputusan Menteri Sumber Daya Energi dan Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM. Menteri Energi Sumberdaya Mineral Republik Indonesia.
- [11] Khaq, M. N., Bargawa, W. S., dan Winarno, E. (2022). Estimasi Sumberdaya Endapan Nikel Laterit Sulawesi Tenggara dengan Metode Ordinary Kriging. Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMATAN), Vol. 1, No. 1, Hal. 1-6. ISSN: 2962-682X.
- [12] Kurniadi, A., Rosana, M. F., Yuningsih E. T., dan Luhur, P. H. (2018). Karakteristik Batuan Asal Pembentukan Endapan Nikel Laterit Di Daerah Madang dan Serakaman Tengah. Padjadjaran Geoscience Journal, Vol. 2, No. 3, Hal. 221-234. ISSN: 2597-4033.
- [13] Loilatu, R., dan Iswanduru. (2022). Analisis Kestabilan Lereng Andesit Menggunakan Metode FEM Pada PT. X. Jurnal Riset Teknik Pertambangan (JRTP), Vol. 2, No. 1, Hal. 15-24. ISSN: 2798-6357.
- [14] Lintjewas, L., Setiawan, I., dan Kausar, A. Al. (2019). Profil Endapan Nikel Laterit di Daerah Palangga, Provinsi Sulawesi Tenggara. Riset Geologi Dan Pertambangan, Vol. 29, No. 1, Hal. 91-104. ISSN: 0125-9849.
- [15] Malli, T., Pamukcu, C., dan Kose, H., 2015, Determination Of Optimun Production Capacity And Mine Life Considering Next Present Value In Open Pit Mining At Different Overall Slope Angles, Acta Montanistica Slovaca, Vol. 20, No. 1, Hal. 62-70. ISSN: 1339-3103.
- [16] Mandew, P., Putra, H. J., Habrianto, R., dan Hardianto, Z. (2021). Perancangan Sequence Penambangan Batubara Di Pit Tutupan Selatan Area Mitsubishi PT. Pama Persada Nusantara Jobsite PT. Adaro Indonesia, Kalimantan Selatan. Jurnal Indonesia Teknologi, Vol. 2, No. 3, Hal. 427-442. ISSN: 2723 - 6609.
- [17] Revuelta, M.B. (2018). Mineral Resources From Exploration to Sustainable Assessment. Springer Nature. Switzerland. ISBN: 978-3-319-58760-8..
- [18] Saleki, M., Kakaie, R., dan Ataei, M., 2019, Mathematical Relationship Between Ultimate Pit Limits Generated By Discounted And Undiscounted Block Value Maximization in Open Pit Mining, Journal of Sustainable Mining, Vol. 18, No. 2, Hal. 94-99. ISSN: 2300-3960.
- [19] Untari, D., T. (2020). Buku Ajar Statistik I. CV. Pena Persada. ISBN: 978-623-6504-57-4.
- [20] Wibisono, R. A., Yuliadi, dan Maryanto. (2017). Perancangan Pentahapan Kemajuan Tambang Batubara dan Perencanaan Fleet di PT Bukit Intan Indoperkasa , Desa Batang Kulur Kiri , Kecamatan Sungai Raya , Kabupaten Hulu Sungai Selatan, Provinsi Kalimantan Selatan. Prosiding Teknik Pertambangan, Hal. 352-361. ISSN: 2460-6499.
- [21] Wintolo, D. (2019). Pengantar Statistik Dan Geostatistik. Gadjah Mada University Press Anggota IKAPI dan APPTI. ISBN: 978-602-386-310-5.