

**SKRIPSI**

**PERANCANGAN *SEQUENCE* PENAMBANGAN BIJIH NIKEL  
LATERIT DI BLOK UTARA PT PACIFIC ORE RESOURCES,  
KABUPATEN BOMBANA, SULAWESI TENGGARA**

**Disusun dan diajukan oleh**

**NISA ALFRILIANI**

**D111181503**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2023**

# LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

## PERANCANGAN *SEQUENCE* PENAMBANGAN BIJIH NIKEL LATERIT DI BLOK UTARA PT PACIFIC ORE RESOURCES, KABUPATEN BOMBANA, SULAWESI TENGGARA

Disusun dan diajukan oleh

**NISA ALFRILIANI**

**D111181503**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 10 Maret 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T.

NIP.197010052008012026



Dr. Eng. Rini Novrianti Sutardjo Tui, S.T., M.BA., M.T.

NIP.198311142014042001

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T.

NIP.197010052008012026

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Nisa Alfriliani  
NIM : D111181503  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul

Perancangan *Sequence* Penambangan Bijih Nikel Laterit Di Blok Utara PT Pacific  
Ore Resources, Kabupaten Bombana, Sulawesi Tenggara

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain dan bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Maret 2023

menyatakan  
  
Nisa Alfriliani

## ABSTRAK

PT Pacific Ore Resources memiliki dua blok yaitu, Blok Selatan yang sedang dilakukan kegiatan penambangan dan Blok Utara yang sedang dalam tahap kegiatan eksplorasi lanjutan dan berencana membuka *pit* baru sehingga diperlukan adanya perencanaan tambang hingga perancangan *sequence* penambangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan gambaran tentang desain *pit* dan *sequence* penambangan, jumlah produksi yang dihasilkan dan jumlah alat berat yang dibutuhkan pada setiap *sequence*. Target produksi yang ditentukan oleh perusahaan yaitu sebesar 40.000 ton. Perancangan *sequence* penambangan membutuhkan beberapa data yaitu data waktu edar, waktu yang hilang, model blok, spesifikasi dan ketersediaan alat, geometri jenjang dan jalan angkut, topografi, dan target produksi. Data tersebut digunakan untuk membuat rancangan *pit* penambangan, *sequence* penambangan, dan penentuan jumlah alat untuk setiap *sequence* penambangan. Berdasarkan rancangan *pit* penambangan, diperoleh total lapisan tanah penutup yang harus dikupas yaitu sebesar 537.689,19 BCM dan total bijih nikel laterit yaitu sebesar 232.489,47 ton dengan *stripping ratio* sebesar 2,3 : 1 sehingga menghasilkan enam *sequence* penambangan. Total lapisan tanah penutup pada *sequence* pertama hingga ke-enam yaitu sebesar 112.404,21 BCM, 65.601,29 BCM, 98.257,26 BCM, 130.332,06 BCM, 98.108,84 BCM, dan 33.297,46 BCM dengan tonase bijih nikel laterit 40.221,58 ton, 40.206,34 ton, 40.478,81 ton, 40.697,06 ton, 40.841,87 ton, dan 30.043,81 ton. Berdasarkan perhitungan jumlah alat gali muat yang dibutuhkan pada *sequence* pertama hingga *sequence* ke-enam adalah 3 unit, 3 unit, 3 unit, 3 unit, dan 3 unit dengan jumlah alat angkut sebanyak 21 unit, 18 unit, 21 unit, 23 unit, 21 unit, dan 13 unit.

Kata kunci : *Sequence* penambangan, Blok Utara, nikel laterit, tanah penutup, *stripping ratio*, jumlah alat.

## **ABSTRACT**

*PT Pacific Ore Resources has two blocks, namely, the South Block which is currently undergoing mining activities and the North Block which is currently in the advanced exploration activity stage and plans to open a new pit so that a mine plan is required to design a mining sequence. The purpose of this research is to provide an overview of the design of mining pits and sequences, the amount of production produced and the number of heavy equipment needed in each sequence. The production target set by the company is 40,000 tons. Mining sequence design requires several data, namely data on cycle time, lost time, block models, equipment specifications and availability, ladder and haul road geometry, topography, and production targets. The data is used to design mining pits, mining sequences, and determine the number of tools for each mining sequence. Based on the mining pit design, the total overburden that had to be stripped was 537,689.19 BCM and the total lateritic nickel ore was 232,489.47 tons with a stripping ratio of 2.3 : 1 resulting in six mining sequences. The total overburden layer in the first to sixth sequence is 112,404.21 BCM, 65,601.29 BCM, 98,257.26 BCM, 130,332.06 BCM, 98,108.84 BCM, and 33,297.46 BCM with a tonnage of laterite nickel ore of 40,221, 58 tons, 40,206.34 tons, 40,478.81 tons, 40,697.06 tons, 40,841.87 tons, and 30,043.81 tons. Based on the calculation of the number of the number of loader in the first sequence to the sixth sequence are 3 units, 3 units, 3 units, 3 units, 3 units, and 3 units with with the number of hauler is 21 units, 18 units, 21 units, 23 units, units, 21 units, and 13 units.*

*Keyword : Mining sequence, North Block, nickel laterite, overburden, stripping ratio, number of tools.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan Ke hadirat Allah Azza Wa Jalla sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "Perancangan *Sequence* Penambangan Bijih Nikel Laterit Di Blok Utara PT Pacific Ore Resources, Kabupaten Bombana, Sulawesi Tenggara" dengan lancar. Penyusunan skripsi ini merupakan syarat dalam memperoleh gelar sarjana di Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat dalam penyusunan skripsi ini yang telah memberikan dukungan dan bantuan baik secara moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Muhammad Ikhsan, S.T, selaku Kepala Teknik Tambang PT Pacific Ore Resources yang telah memberikan kesempatan kepada penulis sehingga dapat melakukan kegiatan penelitian di PT Pacific Ore Resources. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Bapak Enos Paembonan, S.T, Bapak Budiman Yusuf, S.T, dan Bapak Afri Ifthihar, S.T selaku pembimbing di perusahaan yang telah memberikan arahan, masukan serta bantuan selama melakukan penelitian.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh dosen dan staf khususnya kepada dosen Laboratorium Perencanaan dan Valuasi Tambang. Ucapan terima kasih sebesar-besarnya disampaikan penulis kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama dan kepada Ibu Dr. Eng. Rini Novrianti Sutardjo Tui, S.T., MB.A, M.T., selaku Dosen Pembimbing Pendamping, serta kepada Bapak Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T., selaku dosen penguji pertama dan Ibu Rizki Amalia, S.T., M.T., selaku dosen penguji kedua pada ujian sidang

sarjana. Terima kasih penulis ucapkan kepada teman-teman TUNNEL 2018 dan teman-teman laboratorium Perencanaan dan Valuasi Tambang yang selalu memberikan semangat.

Ucapan terima kasih juga tidak kalah besarnya penulis haturkan kepada kedua orang tua penulis yaitu Bapak Jamaluddin Rala dan Ibu Jumaedah Usman serta Deni Alfianto dan seluruh keluarga besar saya yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan bagi penulis dalam menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini. Kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas segala dukungan dan doanya. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk pengembangan wawasan mengenai perancangan *sequence* penambangan bijih nikel laterit.

Makassar, Maret 2023

Nisa Alfriliani

# DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN .....	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Lokasi Daerah Penelitian.....	3
1.6 Tahapan Penelitian .....	5
BAB II PERANCANGAN <i>SEQUENCE</i> PENAMBANGAN.....	7
2.1 Nikel Laterit .....	8
2.2 Perencanaan Tambang.....	10
2.3 Parameter-Parameter Rancangan ( <i>Design</i> ) Tambang .....	12
2.4 Metode Penambangan <i>Open Pit</i> .....	14
2.5 Urutan Penambangan ( <i>Mining Sequence</i> ) .....	17
2.6 Penentuan Jumlah Alat .....	18



	Halaman
BAB III METODE PENELITIAN .....	25
3.1 Pengambilan Data .....	25
3.2 Pengolahan dan Analisis Data .....	27
BAB IV PERANCANGAN <i>SEQUENCE</i> PENAMBANGAN NIKEL LATERIT .....	47
4.1 Desain <i>Pit</i> Penambangan .....	47
4.2 Rancangan <i>Sequence</i> Penambangan.....	49
4.3 Perhitungan Jumlah Alat.....	64
BAB V PENUTUP .....	87
5.1 Kesimpulan .....	87
5.2 Saran .....	88
DAFTAR PUSTAKA .....	89

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian.....	4
2.1 Profil endapan nikel laterit .....	9
2.2 <i>Factor</i> pengisian <i>bucket</i> metode Caterpillar ( <i>Hand Book Caterpillar</i> ) .....	22
3.1 Tampilan menu <i>file</i> .....	28
3.2 Tampilan jendela <i>import block model files</i> .....	29
3.3 Tampilan jendela menu <i>properties</i> .....	29
3.4 Tampilan jendela <i>Block Model</i> dan jendela <i>Filter</i> .....	30
3.5 Tampilan jendela <i>edit hatch sets</i> .....	30
3.6 Tampilan <i>block model</i> bijih nikel laterit.....	31
3.7 Tampilan <i>menu mining</i> .....	31
3.8 Tampilan jendela <i>pit design</i> .....	32
3.9 Tampilan menu <i>draw style</i> .....	32
3.10 Tampilan <i>pit bottom</i> elevasi 547 .....	33
3.11 Tampilan jendela <i>road properties</i> .....	33
3.12 Tampilan <i>pit bottom</i> setelah di- <i>project to berm</i> .....	34
3.13 Tampilan poligon <i>pit</i> dari atas .....	34
3.14 Tampilan poligon <i>pit</i> dari samping .....	35
3.15 Tampilan jendela <i>Build DTM</i> .....	35
3.16 Tampilan <i>pit</i> dalam bentuk DTM .....	36
3.17 Tampilan jendela <i>wireframe</i> .....	36
3.18 Tampilan topografi .....	37
3.19 Tampilan jendela <i>wireframe boolean operations</i> .....	37
3.20 Tampilan <i>pit cut</i> .....	38

	Halaman
3.21 Tampilan <i>boundary sequence</i> penambangan.....	39
3.22 Tampilan poligon <i>sequence</i> penambangan.....	39
3.23 Tampilan <i>sequence</i> penambangan dalam bentuk DTM .....	40
3.24 Tampilan desain <i>sequence</i> penambangan yang telah terpotong .....	41
3.25 Tampilan desain <i>solid sequence</i> penambangan .....	41
3.26 Tampilan <i>intersection</i> pada enam desain <i>sequence</i> penambangan .....	42
4.1 Desain <i>pit</i> penambangan Blok utara.....	47
4.2 Rancangan <i>sequence</i> I .....	50
4.3 Rancangan <i>sequence</i> II .....	53
4.4 Rancangan <i>sequence</i> III.....	55
4.5 Rancangan <i>sequence</i> IV .....	58
4.6 Rancangan <i>sequence</i> V.....	60
4.7 Rancangan <i>sequence</i> VI .....	62
4.8 Didiagram hasil perhitungan tonase bijih nikel dan volume <i>overburden</i> .....	83

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 <i>Swell Factor</i> (Herlita, 2018) .....	21
3.1 Data ketersediaan alat gali muat dan alat angkut .....	26
3.2 Data geoteknik .....	27
4.1 Hasil perhitungan tonase bijih nikel laterit .....	48
4.2 Hasil perhitungan volume lapisan tanah penutup .....	49
4.3 Rincian total bijih nikel laterit pada <i>Sequence I</i> .....	51
4.4 Rincian total volume lapisan tanah penutup <i>Sequence I</i> .....	52
4.5 Rincian total bijih nikel laterit pada <i>Sequence II</i> .....	53
4.6 Rincian total volume lapisan tanah penutup <i>Sequence II</i> .....	54
4.7 Rincian total bijih nikel laterit pada <i>Sequence III</i> .....	56
4.8 Rincian total volume lapisan tanah penutup <i>Sequence III</i> .....	57
4.9 Rincian total bijih nikel laterit pada <i>Sequence IV</i> .....	58
4.10 Rincian total volume lapisan tanah penutup <i>Sequence IV</i> .....	59
4.11 Rincian total bijih nikel laterit pada <i>Sequence V</i> .....	60
4.12 Rincian total volume lapisan tanah penutup <i>Sequence V</i> .....	61
4.13 Rincian total bijih nikel laterit pada <i>Sequence VI</i> .....	63
4.14 Rincian total volume lapisan tanah penutup <i>Sequence VI</i> .....	63
4.15 Hasil perhitungan waktu kerja efektif .....	65
4.16 Hasil perhitungan waktu efisiensi kerja alat .....	65
4.17 Hasil perhitungan waktu edar alat gali muat dan alat angkut .....	66
4.18 Hasil perhitungan produktivitas alat gali muat .....	69
4.19 Hasil perhitungan produktivitas alat angkut .....	71
4.20 Produktivitas dan jumlah alat <i>sequence I</i> .....	72

4.21 Hasil perhitungan <i>match factor Sequence I</i> .....	73
4.22 Produktivitas dan jumlah alat <i>sequence II</i> .....	74
4.23 Hasil perhitungan <i>match factor Sequence II</i> .....	75
4.24 Produktivitas dan jumlah alat <i>sequence III</i> .....	76
4.25 Hasil perhitungan <i>match factor Sequence III</i> .....	77
4.26 Produktivitas dan jumlah alat <i>sequence IV</i> .....	78
4.27 Hasil perhitungan <i>match factor Sequence IV</i> .....	79
4.28 Produktivitas dan jumlah alat <i>sequence V</i> .....	80
4.29 Hasil perhitungan <i>match factor Sequence V</i> .....	81
4.30 Produktivitas dan jumlah alat <i>sequence VI</i> .....	82
4.31 Hasil perhitungan <i>match factor Sequence VI</i> .....	83
4.32 Hasil perhitungan jumlah kebutuhan alat pada setiap <i>sequence</i> .....	84
4.33 Hasil perhitungan jumlah alat dan keserasian kerja alat pada setiap <i>sequence</i> setelah penambahan jumlah alat angkut .....	85

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A. Data waktu edar alat gali muat .....	93
B. Data waktu edar alat angkut.....	97
C. Data waktu hilang.....	101
D. Data spesifikasi alat .....	104
E. Model blok .....	108
F. Data topografi.....	110
G. Desain <i>pit limit</i> penambangan .....	112
H. Desain <i>sequence</i> I .....	114
I. Desain <i>sequence</i> II .....	116
J. Desain <i>sequence</i> III.....	118
K. Desain <i>sequence</i> IV .....	120
L. Desain <i>sequence</i> V .....	122
M. Desain <i>sequence</i> VI .....	124
N. Peta kemajuan tambang.....	126

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pulau Sulawesi menyimpan potensi cadangan nikel terbesar yaitu sebanyak 10.045.573 ton. Data ini diperkuat oleh rilis Metal Bulletin Resource tahun 2018, dimana 95% sumber utama nikel di Indonesia terkonsentrasi pada tiga provinsi, yaitu Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Maluku Utara (Zuada, dkk., 2021). Salah satu perusahaan tambang yang akan melakukan kegiatan penambangan bijih nikel di daerah Desa Larolanu dan Tedubara Kecamatan Kabaena Utara Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara, adalah PT Pacific Ore Resources merupakan pemegang Izin Usaha Pertambangan (IUP) Operasi Produksi untuk komoditas bijih nikel berdasarkan Surat Keputusan Bupati Bombana Nomor 342 tahun 2011 tanggal 9 Agustus 2011 tentang Persetujuan Peningkatan Izin Usaha Pertambangan Eksplorasi menjadi Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi. Surat keputusan tersebut kemudian diubah berdasarkan Surat Keputusan Kepala Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Provinsi Sulawesi Tenggara Nomor 924/DPT-TPSP/X/2017 tanggal 23 Oktober 2017 tentang Persetujuan Perubahan Izin Usaha Pertambangan (IUP) Operasi Produksi kepada PT Pacific Ore Resources dengan luas WIUP 2.672 hektar.

PT Pacific Ore Resources memiliki dua blok yaitu, Blok Selatan yang sedang dilakukan kegiatan penambangan dan Blok Utara yang sedang dalam tahap kegiatan eksplorasi lanjutan. Pada Blok Utara proses pengambilan bijih nikel direncanakan menggunakan sistem tambang terbuka dengan metode *selective mining* (Asri dkk, 2018). Tambang terbuka (*surface mining*) membutuhkan perencanaan rinci mulai dari tahapan awal sampai penutupan tambang (*mine closure*). Salah satu bentuk dari

perancangan tambang adalah rancangan bentuk penambangan. Rancangan atau *design* berperan sebagai penentu persyaratan, spesifikasi, dan kriteria teknik untuk mencapai sasaran serta urutan teknik pengerjaannya. Salah satu hasil rancangan pada perencanaan tambang adalah batas akhir penambangan (*pit limit*) (Díaz *et al.*, 2021). Desain *pit* adalah suatu kegiatan dalam merencanakan kegiatan produksi pada tambang terbuka. Selain itu, desain pit berperan penting untuk memudahkan pengambilan cadangan dari suatu endapan (Shafira, 2022). *Pit limit* yang dirancang ke dalam unit-unit lebih kecil disebut *sequence* (Martadinata dan Sepriadi, 2019).

Perancangan *sequence* penambangan mengambil acuan berdasarkan total volume bahan galian dari rancangan *pit* yang telah dibuat. Dalam hal ini *sequence* penambangan merupakan rancangan suatu penambangan untuk mengetahui urutan–urutan penambangan yang menunjukkan bagaimana suatu *pit* akan ditambang dari awal hingga tahap akhir rancangan tambang (Indrajaya, dkk., 2020). Berdasarkan hasil estimasi sumber daya terukur nikel laterit dari model blok penambangan diperoleh total sumber daya dan lapisan tanah penutup yang akan dikupas. Hasil estimasi sumber daya terukur menjadi acuan dalam perancangan *pit* penambangan, sehingga diperlukan adanya penelitian mengenai perancangan tambang khususnya perancangan *sequence* penambangan untuk membagi seluruh volume yang ada dalam *pit* ke unit-unit perencanaan yang lebih kecil sehingga lebih mudah ditangani. Oleh karena itu, penelitian ini membahas mengenai perancangan *sequence* pada Blok Utara PT Pacific Ore Resources.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Perencanaan tambang sangat penting dilakukan dalam sebuah penambangan termasuk perancangan *pit limit*. Perancangan *sequence* penambangan dibuat berdasarkan estimasi sumber daya terukur yang telah dilakukan pada Blok Utara sebesar



241.263 ton dengan target produksi 40.000 ton perbulan. Oleh karena itu, rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana rancangan *pit* penambangan.
2. Bagaimana bentuk desain *sequence* penambangan berdasarkan target produksi.
3. Berapa jumlah cadangan nikel laterit dan *overburden* berdasarkan *sequence* penambangan yang telah dibuat.
4. Berapa jumlah alat berat yang dibutuhkan pada setiap *sequence* untuk mencapai target produksi.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membuat rancangan *pit* penambangan
2. Membuat rancangan *sequence* penambangan berdasarkan target produksi
3. Menghitung jumlah cadangan nikel laterit dan *overburden* pada setiap *sequence* penambangan
4. Menentukan jumlah alat berat yang dibutuhkan pada setiap *sequence* penambangan

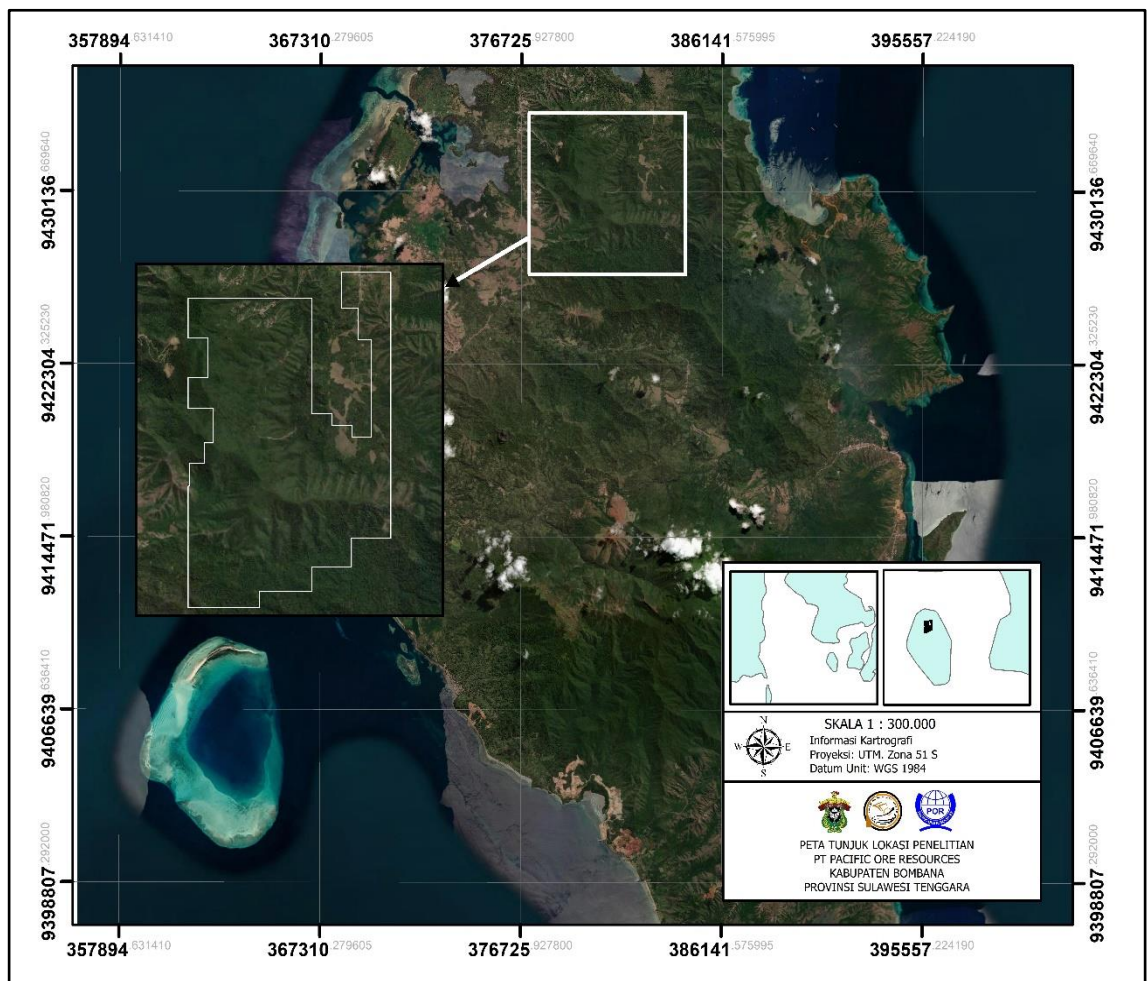
### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai pengembangan wawasan dan pengetahuan mengenai perancangan *sequence* penambangan serta penentuan jumlah alat pada setiap rancangan *sequence* pada tambang nikel laterit.

### **1.5 Lokasi Daerah Penelitian**

Lokasi daerah penelitian ini berada di Wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT Pacific Ore Resources yang secara administratif termasuk Desa Larolanu Kecamatan Kabaena Utara Kabupaten Kabaena Provinsi Sulawesi Tenggara. Secara astronomis lokasi dibatasi dengan koordinat 05° 7' 15,20" LS – 05° 11' 23,1" LS dan 121° 54' 26" BT

– 121° 57' 0,10 BT. Wilayah blok IUP Operasi Produksi seluas 2.672 ha ini terletak di sebelah selatan barat daya permukiman Desa Larolanu sebagai permukiman terdekat. Wilayah ini dapat dijangkau dengan transportasi darat dan laut dari kota Makassar menggunakan jalur darat ke Pelabuhan Bira selama ± 5 jam. Perjalanan dilanjutkan dari Pelabuhan Bira menuju Pulau Kabaena tepatnya di Pelabuhan Sikeli selama ± 10 jam menggunakan transportasi laut (kapal feri). Lokasi PT Pacific Ore Resources berjarak kurang lebih 25 km dari Pelabuhan Sikeli yang ditempuh menggunakan kendaraan roda empat dengan perjalanan sekitar ± 1 jam. Peta lokasi penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian

## 1.6 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah:

### 1. Perumusan masalah

Perumusan masalah merupakan tahap awal dalam melakukan penelitian. Masalah dirumuskan berdasarkan latar belakang penelitian. Masalah yang telah diperoleh kemudian diidentifikasi dan dibagi berdasarkan kategori permasalahan.

### 2. Studi literatur

Studi literatur merupakan kegiatan pengumpulan referensi atau materi yang berkaitan dengan kegiatan penelitian. Kegiatan studi literatur tidak hanya dilakukan pada saat persiapan dalam melakukan penelitian, tetapi juga dilakukan pada saat pengolahan dan analisis data.

### 3. Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan merupakan data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diambil langsung pada lokasi penelitian, sedangkan data sekunder merupakan data yang telah ada pada perusahaan. Data primer meliputi data waktu edar alat gali muat dan alat angkut sedangkan data sekunder meliputi data waktu yang hilang (waktu *standby*, waktu *delay*, waktu *repair*), ketersediaan alat, data spesifikasi alat, data geometri, data topografi, dan data target produksi.

### 4. Pengolahan dan analisis data

Tahapan pengolahan dan analisis data dilakukan dengan tujuan agar mendapatkan hasil dari permasalahan yang telah dirumuskan sebelumnya. Hasil dari pengolahan dan analisis data disajikan dalam bentuk tabel dan gambar. Pengolahan dan analisis data yang dilakukan yaitu menghitung produktivitas alat, membuat *pit* dan *sequence* penambangan serta penentuan jumlah alat pada setiap *sequence*.

#### 5. Penyusunan laporan

Penyusunan laporan merupakan tahapan akhir dalam melakukan penelitian. Penyusunan laporan dilakukan setelah pengolahan dan analisis data. Seluruh hasil penelitian disusun dan dilaporkan secara sistematis sesuai aturan yang ditetapkan oleh Departemen Teknik Pertambangan.

## **BAB II**

### **PERANCANGAN *SEQUENCE* PENAMBANGAN**

Pada usaha pertambangan diperlukan adanya perencanaan mulai dari kegiatan eksplorasi bahan galian hingga pascatambang guna mencegah kerugian yang berdampak. Perencanaan tambang adalah penentuan persyaratan teknik pencapaian sasaran kegiatan serta urutan teknik pelaksanaan penambangan dalam berbagai kegiatan yang harus dilakukan. Rancangan atau desain berperan sebagai penentuan persyaratan spesifikasi, dan kriteria teknik untuk mencapai sasaran serta urutan teknis pengerjaannya (Nasution, 2015).

Desain tambang berperan penting untuk memudahkan pengambilan cadangan dari suatu endapan. Adanya desain tambang, lebih mudah untuk memenuhi target produksi, salah satu hasil rancangan pada perencanaan tambang adalah *pit limit*. *Pit limit* yang dirancang selanjutnya akan dibagi menjadi unit-unit yang lebih kecil (*sequence*) yang mempertimbangkan nilai *cut of grade*.

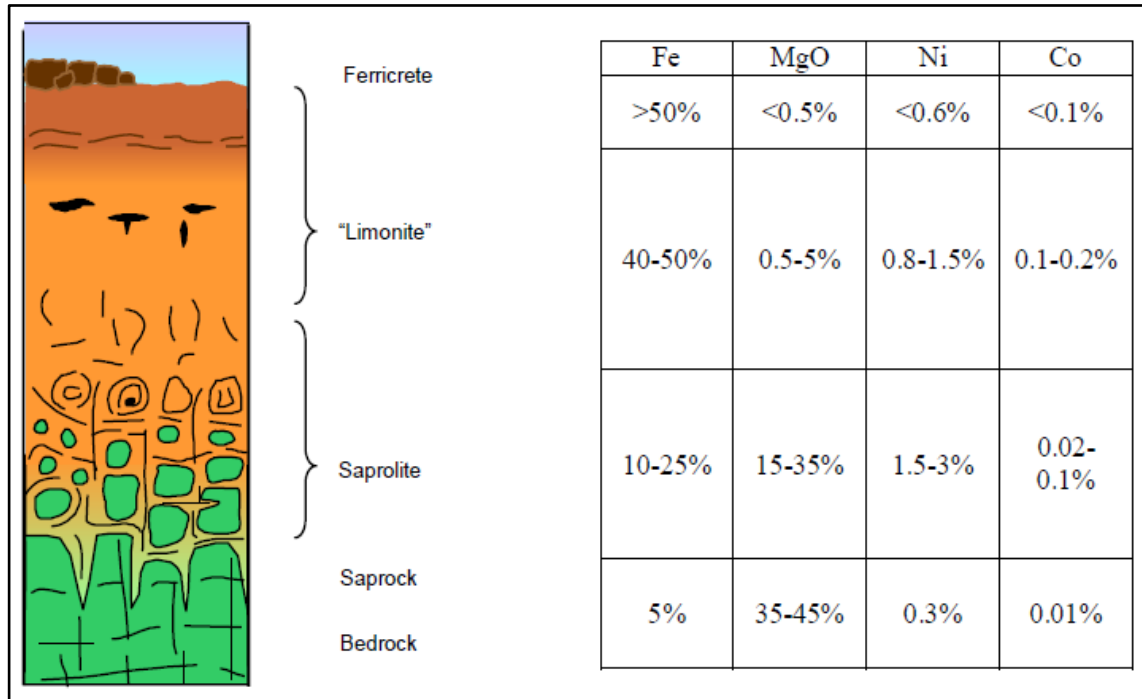
*Sequence* penambangan merupakan tahapan penambangan yang menunjukkan bagaimana suatu *pit* akan ditambang mulai dari bukaan awal hingga bentuk akhir *pit*. Tujuan dari *sequence* penambangan untuk membagi seluruh volume yang ada dalam *pit limit* ke dalam unit-unit perencanaan yang lebih kecil sehingga lebih mudah ditangani (Chen *et al*, 2001; Chatterjee *et al*, 2016). Rencana dan rancangan tambang perlu dibuat sebagai pedoman dalam pelaksanaan penambangan, mengurangi ketidakpastian serta digunakan sebagai pemilihan kemungkinan terbaik dalam menganalisis suatu keputusan (Pratama dkk., 2019).

## 2.1 Nikel Laterit

Laterit adalah produk sisa pelapukan kimia batuan di permukaan bumi di mana berbagai mineral asli atau primer tidak stabil dengan adanya air larut atau terurai dan terbentuk mineral baru yang lebih stabil terhadap lingkungan. Laterit penting sebagai inang bagi endapan bijih ekonomis karena interaksi kimia yang bersama-sama membentuk proses lateritisasi dalam kasus tertentu dapat sangat efisien dalam mengkonsentrasikan beberapa elemen. Contoh yang terkenal dari deposit bijih laterit yang penting adalah bauksit alumina dan deposit bijih besi yang diperkaya, tetapi contoh yang kurang dikenal termasuk deposit emas laterit (misalnya, Boddington di Australia Barat) (Elias, 2002).

Nikel laterit merupakan produk lateritisasi dari batuan kaya Mg atau ultrabasa yang memiliki kandungan Ni primer 0,2-0,4% (Golightly, 1981). Batuan tersebut umumnya dunites, harzburgites dan peridotites terjadi di kompleks ofiolit, dan pada tingkat lebih rendah komatiites dan batuan intrusi mafik-ultramafik berlapis dalam pengaturan *platform cratonic*. Proses lateritisasi menghasilkan konsentrasi dengan faktor 3 sampai 30 kali kandungan nikel dan kobalt dari batuan induk. Proses dan karakter laterit yang dihasilkan, dikendalikan pada skala regional dan lokal oleh interaksi dinamis dari faktor-faktor seperti iklim, topografi, tektonik, tipe dan struktur batuan primer (Elias, 2002).

Proses terbentuknya nikel laterit dimulai adanya pelapukan yang intensif pada batuan peridotit atau batuan induk. Batuan induk akan terjadi perubahan menjadi serpentinit akibat adanya larutan hidrotermal pada waktu pembekuan magma atau proses serpentinisasi, kemudian terjadi pelapukan (kimia dan fisika) menyebabkan terjadi dekomposisi pada batuan induk. Profil nikel laterit pada umumnya adalah terdiri dari empat zona gradasi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Kurniadi, 2018).



Gambar 2.1 Profil endapan nikel laterit (Elias, 2002)

Profil endapan nikel laterit terbagi menjadi (Elias, 2002):

1. Tanah penutup atau *top soil* (biasanya disebut "*Iron Capping*"). Tanah residu berwarna merah tua yang merupakan hasil oksidasi yang terdiri dari masa hematit, goethit serta limonit. Kadar besi yang terkandung sangat tinggi dengan kelimpahan unsur Ni yang sangat rendah.
2. Zona limonit berwarna merah coklat atau kuning, berukuran butir halus hingga lempungan, lapisan kaya besi dari limonit *soil* yang menyelimuti seluruh area.
3. Zona lapisan antara atau "*Silica Boxwork*". Zona ini jarang terdapat pada batuan dasar (*bedrock*) yang serpentinisasi, berwarna putih – *orange chert, quartz*, mengisi sepanjang rekahan dan sebagian menggantikan zona terluar dari unsertentine fragmen peridotit, sebagian mengawetkan struktur dan tekstur dari batuan asal dan terkadang terdapat mineral opal, magnesit. Akumulasi dari garnierite - pimelit di dalam *boxwork* mungkin berasal dari bijih nikel yang kaya akan silika.

4. Zona Saprolit merupakan campuran dari sisa-sisa batuan, bersifat pasiran, *saprolitic rims*, *vein* dari *garnierite*, *nickeliferous quartz*, mangan dan pada beberapa kasus terdapat silika *boxwork*, bentukan dari suatu zona transisi dari limonit ke *bedrock*.

## 2.2 Perencanaan Tambang

Perencanaan (*planning*) adalah penentuan persyaratan teknik untuk mencapai tujuan dan sasaran kegiatan yang sangat penting serta urutan teknis pelaksanaannya. Oleh sebab itu, perencanaan merupakan gagasan pada saat awal kegiatan untuk menetapkan apa dan mengapa harus dikerjakan, oleh siapa, kapan, dimana dan bagaimana melaksanakannya. Perencanaan tambang (*mine planning*) dapat mencakup kegiatan-kegiatan prospeksi, eksplorasi, studi kelayakan (*feasibility study*) yang dilengkapi dengan analisis mengenai dampak lingkungan (AMDAL), persiapan penambangan dan konstruksi prasarana dan sarana penambangan, keselamatan dan kesehatan kerja (K3), pengelolaan dan pemantauan lingkungan hidup.

Jenis-jenis perencanaan tambang adalah:

1. Perencanaan jangka panjang (*yearly*), yaitu suatu pemodelan rencana kegiatan yang jangka waktunya lebih dari 1 tahun secara berkesinambungan.
2. Perencanaan jangka menengah (*quarterly*), yaitu suatu pemodelan rencana kerja untuk jangka waktu 3 bulanan.
3. Perencanaan jangka pendek (*daily/weekly*), yaitu suatu pemodelan rencana aktivitas untuk jangka waktu harian atau mingguan.

Salah satu aspek terpenting dalam perencanaan tambang adalah desain *pit* tambang dimana tahapan ini dilakukan setelah tahap eksplorasi dan studi konseptual diadakan. Faktor teknis merupakan hal yang harus diperhatikan dalam proses perencanaan agar suatu rencana dapat berjalan dengan baik sesuai dengan tujuan



yang diinginkan. Faktor-faktor tersebut berkaitan dengan batas akhir penambangan (*ultimate pit limit*), geometri jalan, dan dimensi jenjang serta *stripping ratio* (SR).

Beberapa tugas dalam perencanaan tambang agar dapat dilakukan dengan lebih mudah adalah (Hustrulid, 1992):

1. Penentuan batas *pit*

Maksud dari penentuan batas *pit* ialah menentukan batas akhir (*limit*) dari proses penambangan, dimana seorang *mine plan* harus dapat merencanakan berapa banyak bahan galian yang akan ditambang, namun dalam penentuan batas *pit* ini masih belum memperhitungkan waktu dan biaya.

2. Perancangan *sequence* penambangan

Dalam perancangan geometri penambangan, perancangan *sequence* penambangan merupakan suatu tahapan yang penting karena pada tahapan ini membuat penentuan *pit limit* menjadi bagian-bagian yang lebih kecil lagi. Sehingga lebih mudah untuk dikerjakan dan dalam perancangan bentuk tiga dimensi tambang menjadi lebih mudah pula.

3. Penjadwalan produksi

Tahap selanjutnya setelah perancangan *sequence* penambangan ialah penjadwalan produksi, dimana pada tahap ini jumlah tanah penutup dengan jumlah bahan galian yang akan ditambang dalam periode tertentu berdasarkan urutan waktu dan target produksi.

4. Pemilihan alat

Setelah diketahui produksi yang akan dicapai, maka tahap selanjutnya adalah pemilihan alat-alat yang akan digunakan dalam kegiatan penambangan tersebut. Selain pemilihan alat untuk produksi, alat pun dipilih untuk proses pengembangan tambang.

## 5. Perhitungan biaya operasi dan kapital

Tahap selanjutnya dalam perencanaan tambang ialah perhitungan biaya operasi dan kapital, dimana perhitungan biaya operasi dan kapital ini berdasarkan target produksi yang akan dicapai serta pemilihan alat yang akan digunakan. Selain itu pada tahap ini juga dapat ditentukan jumlah waktu kerja dan *shift* kerja yang diperlukan untuk mencapai target produksi yang telah direncanakan.

### 2.3 Parameter–Parameter Rancangan (*Design*) Tambang

Rancangan desain tambang yang baik akan sangat mempengaruhi hasil tambang yang diperoleh. Oleh karena itu, perancangan tambang harus memperhatikan beberapa parameter dari berbagai aspek, yaitu (Martadinata dan Sepriadi, 2019):

#### 1. Informasi topografi permukaan detail

Informasi ini dapat dalam bentuk kontur hasil digitasi yang tersimpan dalam *file* komputer, atau berupa *file* survei titik-titik ketinggian termasuk *drillhole collars*. Alternatif lain yaitu memodelkan permukaan dari data titik-titik ketinggian menggunakan *Digital Terrain Modelling* (DTM) yang dibangun secara efektif dengan metode triangulasi.

#### 2. Kemiringan jenjang (*batter*)

Pada awalnya sebuah desain *pit* dibuat dengan *overall slope* sebesar  $45^\circ$  dan kemudian dimodifikasi berdasarkan informasi geoteknik dari material yang ada dalam *pit* tersebut. *Batter* dapat diatur pada kemiringan  $30^\circ$ - $35^\circ$  untuk *overburden*, meningkat hingga  $35^\circ$ - $40^\circ$  untuk batuan yang lapuk, dan hingga  $55^\circ$  untuk batuan segar. Menurut Robert, Hook dan Fish (1972) sebaiknya kemiringan lereng kurang dari  $60^\circ$  pada kedalaman 65m dan kurang dari  $40^\circ$  pada kedalaman 300 meter.

### 3. Tinggi jenjang

Ketinggian jenjang berbeda-beda untuk setiap *pit* tergantung pada peralatan yang digunakan, kedalaman *pit* dan pada geologi lokal atau derajat iklimnya. Lereng pada *overburden* yang lemah atau tak terkonsolidasi, atau pada tanah yang terekspos relatif lebih tipis, kurang lebih 2-5 meter. Sebuah survei yang dilakukan Canadian Mining Journal (1988) menunjukkan bahwa untuk *range* yang lebar dari beberapa badan bijih, lereng-lereng bervariasi tingginya dari 6-20 meter. Pada operasi tambang yang besar, berproduksi 10.000 ton/hari penambangan dapat dioperasikan pada lereng dengan ketinggian 9 meter. Operasi-operasi tambang yang lebih kecil biasanya menggunakan lereng dengan ketinggian 6-8 meter.

### 4. Permukaan lereng (*berm face*)

Kemiringan dari lereng dapat dibedakan menurut jenis dari lereng tersebut. Misalnya sebuah lereng aktif atau lereng kerja (*working bench*) dapat menggunakan pedoman stabilitas jangka pendek, yaitu lereng dapat dibuat relatif lebih terjal. Namun untuk lereng permanen, pertimbangan utama yang digunakan adalah jangka panjang. Kemiringan lereng dapat ditentukan dan dicapai dengan pemilihan alat yang tepat. Menurut Walton and Atkinson (1978), *loading shovel* dapat membentuk lereng dengan kemiringan  $60^{\circ}$ - $80^{\circ}$ , *hydraulic shovel excavator* untuk  $45^{\circ}$ - $90^{\circ}$  kemiringan, sedang *hydraulic backhoe* dapat membentuk  $30^{\circ}$ - $90^{\circ}$  dan *front and loaders* untuk lereng  $30^{\circ}$ - $80^{\circ}$ . Sebuah desain *pit* atau *quarry* terdiri dari kontur-kontur yang menggambarkan *crest* dan *toe* dari tiap lerengnya.

### 5. Lebar *berm*

Lebar jenjang disesuaikan dengan *ultimate slope* dan *single slope* pada ketinggian yang ditentukan. Namun, jika *pit* semakin dalam, maka lebar jenjang juga semakin lebar. *Berm* dapat pula merefleksikan ukuran *ore* deposit. Misalnya *berm* yang lebar untuk tembaga porfiri dan *berm* yang lebih kecil untuk urat emas. Lebar dari jalan

angkutan yang umumnya mengikuti *berm* ditentukan oleh ukuran truk yang digunakan yang relatif terhadap ukuran *ore body* dan kapasitas produksi yang diharapkan.

#### 6. Kedalaman *pit bottom*

Penentuan *pit bottom* (dasar *pit*) sangat tergantung pada banyak faktor seperti perubahan *stripping ratio*, naiknya biaya produksi dan pengangkutan, nilai mineral yang ditambang, ukuran (jumlah) deposit, serta kapasitas *mill* dan produksi. Batas kedalaman penambangan dapat dioptimisasi menggunakan prosedur-prosedur optimisasi desain seperti *Lerchs and Grossman*.

#### 7. Jalan angkut (*haul road*)

Faktor ini biasanya mengikuti proses desain setelah kedalaman *pit bottom* didefinisikan. Jalan angkut dirancang pada jenjang dasar kemudian mengikuti naiknya jenjang ke arah permukaan dengan *gradien* (kemiringan) berkisar antara 8-12%. *Ramp* ini dapat berupa jalan lingkar yang melingkar ke atas melalui dinding *pit* atau *switchback* yang hanya melalui salah satu dinding *pit* (kemungkinan keberadaannya dikarenakan kekuatan material pada dinding tersebut atau kapasitas muat angkutnya yang cukup baik).

## 2.4 Metode Penambangan *Open Pit*

Penambangan dengan cara *open pit* adalah penambangan terbuka yang dilakukan untuk menggali endapan-endapan bijih metal seperti endapan bijih nikel, endapan bijih besi, endapan bijih tembaga, dan sebagainya. Penambangan dengan cara *open pit* biasanya dilakukan untuk endapan bijih atau mineral yang terdapat pada daerah datar atau daerah lembah. Cara pengangkutan pada *open pit* tergantung dari kedalaman endapan dan topografinya. Pada dasarnya cara pengangkutannya ada dua macam, yaitu (Rahmi, 2019):

1. Cara konvensional atau cara langsung, yaitu hasil galian atau peledakan diangkut oleh *truck*, *belt conveyor*, *mine car*, *skip dump type rail cars*, dan sebagainya, langsung dari tempat penggalian ke tempat *dumping* dengan menelusuri tebing-tebing sepanjang bukit.
2. Cara inkonvensional atau cara tak langsung adalah cara pengangkutan hasil galian atau peledakan ke tempat *dumping* dengan menggunakan cara kombinasi alat-alat angkut. Misalnya dari permukaan/medan kerja (*front*) ke tempat *crusher* digunakan truk, dan selanjutnya melalui *ore pass* ke *loading point*; dari sini diangkut ke *ore bin* dengan memakai *belt conveyor*, dan akhirnya diangkut ke luar tambang dengan *cage*.

#### 2.4.1 Blok Model Nikel Laterit

Pemodelan endapan bertujuan untuk memberikan gambaran kondisi geologi serta karakteristik geometri endapan, sehingga diperlukan analisis dari model badan bijih untuk menentukan metode penambangan. Estimasi sumberdaya atau cadangan juga dilakukan untuk menentukan kuantitas dari keterdapatan suatu endapan yang dinilai ekonomis untuk ditambang, sehingga pada tahapan estimasi sumberdaya atau cadangan diperlukan metode yang dapat memberikan pendekatan dengan jumlah sumberdaya atau cadangan yang ada.

Penentuan metode itu sendiri dilakukan dengan dasar pertimbangan yang teoritis. Volume, tonase, kadar serta kualitas mineral termasuk dalam variabel atau parameter yang menjadi dasar untuk melakukan estimasi sumberdaya atau cadangan. Metode estimasi yang biasa digunakan terdiri dari dua, yaitu metode konvensional dan *non* konvensional. Dengan semakin berkembangnya teknologi, maka estimasi sumberdaya atau cadangan dengan berbagai metode sudah biasa digunakan dalam bentuk komputerisasi dengan menggunakan bantuan perangkat lunak.

#### 2.4.2 *Ultimate Pit Limit*

Optimasi merupakan proses menjadikan sesuatu keluaran lebih efektif atau lebih sempurna dengan melakukan penyesuaian pada masukan. Jika optimasi itu merupakan proses, maka hasil dari optimasi *pit* merupakan *pit* yang telah menjadi lebih efektif dan memiliki keuntungan terbesar (keuntungan = pendapatan – ongkos). Perencanaan tambang dapat dijelaskan dengan membuat suatu rancangan tambang untuk mencapai *ultimate pit limit* dalam jangka waktu tertentu secara aman dan menguntungkan dimana di dalamnya berisikan juga perancangan batas akhir penambangan, tahapan (*pushback*), urutan penambangan, penjadwalan produksi, dan lain-lain (hal yang berkaitan dengan geometri). Adapun aspek perencanaan tambang lainnya meliputi perhitungan kebutuhan alat dan tenaga kerja perkiraan biaya modal dan ongkos operasi.

Perencanaan tambang memiliki tujuan membuat suatu rencana produksi tambang untuk sebuah cebakan bijih yang akan menghasilkan aliran kas dan memaksimalkan kriteria ekonomi (NPV/ROR) dan menghasilkan tonase bijih pada tingkat produksi yang telah ditentukan dengan biaya serendah mungkin.

Kegiatan perencanaan tambang berawal dari diperolehnya data utama sebagai masukan berupa data geologi, kualitas bijih, geoteknik, infrastruktur, metalurgi, dan pemasaran dengan petunjuk dan batasan dari bagian manajemen perusahaan tambang dikembangkan desain penambangan kemudian rancangan penambangan (geometri tambang) dimana di dalamnya terdapat produksi alat dan penjadwalan produksi. Aspek yang tidak berkaitan dengan geometri tambang berupa perkiraan pembiayaan baik itu ongkos modal maupun ongkos operasi juga ikut diestimasi. Penggabungan dari seluruh aspek tersebut akan menghasilkan keluaran berupa alternatif-alternatif tambang dan dapat dijadikan acuan untuk fase berikutnya.

## 2.5 Urutan Penambangan (*Mining Sequence*)

*Sequence* adalah bentuk-bentuk penambangan (*mineable geometri*) yang menunjukkan bagaimana suatu *pit* akan ditambang, dari titik masuk awal hingga ke bentuk akhir *pit*. Nama lain dari *sequence* antara lain yaitu *pushback*, *phases*, *slices*, dan *stages*. Tujuan utama dari pentahapan ini adalah untuk membagi seluruh volume yang ada dalam *pit* ke dalam unit-unit perencanaan yang lebih kecil sehingga lebih mudah ditangani. Dengan demikian, masalah perancangan tambang yang amat kompleks ini dapat disederhanakan. Selain itu, elemen waktu dapat mulai diperhitungkan dalam rancangan ini karena urutan penambangan tiap-tiap *pushback* merupakan pertimbangan penting (Lusitania, 2015). Rencana dan rancangan tambang perlu dibuat sebagai pedoman dalam pelaksanaan penambangan, mengurangi ketidakpastian serta digunakan sebagai pemilihan kemungkinan terbaik (Pratama dkk., 2019).

Dalam kegiatan penambangan faktor yang mempengaruhi penentuan tahapan penambangan (*sequence*) adalah:

1. Bentuk dan sebaran nikel laterit

Secara umum bentuk dan sebaran bijih nikel laterit yaitu horizontal dan tidak jauh dari permukaan.

2. Nisbah pengupasan (*stripping ratio*)

Nisbah pengupasan (*stripping ratio*) merupakan perbandingan antara jumlah lapisan tanah penutup dalam BCM terhadap jumlah tonase nikel laterit yang akan ditambang.

3. *Ultimate pit slope*

*Ultimate pit slope* merupakan salah satu faktor teknis yang berarti kemiringan lereng atau batas luar tambang yang masih tetap stabil dan menguntungkan. *Ultimate pit slope* akan berhubungan dengan geometri lereng yang direncanakan.

## 2.6 Penentuan Jumlah Alat

Penjadwalan produksi merupakan gambaran tentang jumlah produksi yang dihasilkan dalam jumlah alat yang dibutuhkan pada setiap *sequence* penambangan berdasarkan waktu dan rancangan tambang (Fourie *and* Doohm, 1992). Penjadwalan merupakan bagian yang penting dari proses produksi. Sistem penjadwalan yang kurang baik dapat memperpanjang waktu penyelesaian produksi dan dapat menurunkan kuantitas produksi yang dihasilkan. Dalam industri pertambangan, penjadwalan memegang peranan penting dalam penentuan penggunaan alat berat dalam suatu produksi. Perusahaan harus dapat mengambil keputusan yang tepat mengenai pekerjaan yang mana yang harus diselesaikan terlebih dahulu dengan alat berat dan pekerja yang terbatas. Penjadwalan dan penentuan alat dilakukan dengan tujuan agar kegiatan produksi dapat diselesaikan tepat waktu berdasarkan target produksi yang telah ditetapkan serta dapat memaksimalkan produktivitas.

Produktivitas merupakan salah satu tolak ukur dalam menentukan jumlah alat dan memperkirakan waktu yang diperlukan untuk memproduksi. Produktivitas aktual yang dicapai dalam pekerjaan tanah sangat berbeda dari nilai produktivitas teoretis yang diasumsikan pada tahap perencanaan (Šopić *et al*, 2021). Oleh sebab itu, pengaplikasian di lapangan sangatlah sulit untuk menentukan jangka produktivitas sebenarnya. Sehingga yang dapat dihitung adalah taksiran produksinya. Produktivitas menunjukkan kemampuan dari suatu alat yang digunakan untuk memproduksi dalam waktu tertentu. Sifat-sifat tanah sangat berkaitan dengan produktivitas alat berat. Klasifikasi sifat-sifat tanah yang berkaitan dengan produktivitas alat berat adalah (Madeppungeng, 2019):



1. Keadaan asli (*Bank condition*)

Keadaan asli merupakan keadaan tanah dalam kondisi aslinya (belum terusik atau belum tekena campur tangan manusia maupun yang lainnya). Satuan volume material dalam keadaan asli yaitu *Bank Cubic Meter* (BCM).

2. Keadaan gembur (*Loose condition*)

Keadaan gembur merupakan keadaan material yang telah ter gali dari tempat aslinya menyebabkan adanya penambahan rongga udara sehingga material menjadi mengembang/terberai (*swelling*). Satuan volume material dalam keadaan terberai disebut *Loose Cubic Meter* (LCM).

3. Keadaan padat (*Compact condition*)

Keadaan padat dialami oleh material yang mengalami proses pemadatan. Perubahan volume terjadi karena adanya penyusutan rongga udara diantara butiran-butiran material tersebut, dengan demikian volumenya akan berkurang. Satuan volume material dalam keadaan padat disebut *Compact Cubic Meter* (CCM).

Kondisi material yang digali akan berpengaruh pada hasil produksi. Kondisi material yang dipertimbangkan adalah (Herlita, 2018):

1. Massa jenis (*Density*)

Massa jenis adalah sifat yang dimiliki oleh setiap material. Kemampuan suatu alat berat untuk melakukan pekerjaan seperti mendorong, mengangkat, mengangkut dan lain sebagainya akan dipengaruhi oleh kerapatan material tersebut.

2. Sifat kohesi

Sifat kohesi adalah sifat pengikatan/kelengketan material yang sama jenis, terutama ditentukan oleh kadar lempung.

### 3. Sifat mekanik material

Sifat mekanik material berpengaruh pada kemampuan alat gali saat pengoperasian penggalian. Sifat ini dipengaruhi oleh kuat tekan ataupun kuat geser material penggalian.

Produksi yang dapat dilakukan oleh suatu alat gali muat atau alat angkut dapat dilihat berdasarkan hasil perhitungan produktivitas. Beberapa parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan produktivitas alat gali muat dan alat angkut diantaranya adalah (Khair dkk, 2019):

#### 1. Kapasitas mangkuk (*bucket capacity*)

Kapasitas mangkuk dapat diketahui melalui spesifikasi alat berat yang biasanya terdapat pada *handbook* yang didapatkan pada saat pembelian alat gali muat atau alat angkut. Kapasitas mangkuk merupakan kemampuan maksimal suatu mangkuk dalam memuat material yang digali. Satuan dalam memperhitungkan kapasitas mangkuk adalah  $m^3$ .

#### 2. Efisiensi kerja

Efisiensi kerja merupakan salah satu elemen produksi yang harus diperhitungkan dalam upaya mendapatkan harga produksi alat per satuan waktu yang akurat. Sebagian besar nilai efisiensi kerja diarahkan terhadap operator, yaitu orang yang menjalankan atau mengoperasikan unit alat.

Efisiensi kerja sangat berpengaruh terhadap tercapainya suatu produksi. Tinggi rendahnya efisiensi kerja sangat tergantung pada faktor motivasi dan disiplin kerja operator, sedangkan produktivitas kerja sangat tergantung kepada keadaan tempat kerja, keadaan material yang digali dan dimuat serta pengalaman operator itu sendiri. Penyebab lain yang tidak dapat dihindari antara lain cuaca, kerusakan mendadak, kabut, debu yang berlebih dan lain-lain. Tingkat kinerja tersebut sangat

dipengaruhi oleh kondisi alat, perawatan alat, kondisi medan kerja dan keahlian operator.

3. Faktor pengembang (*Swell factor*)

Faktor pengembang (*swell factor*) adalah penambahan volume material atau tanah yang diganggu dari bentuk aslinya. Untuk mengetahui berapa besar *volume* pengembangan tersebut, maka dapat menggunakan persamaan berikut (Sudrajat dkk, 2019):

$$Swell\ Factor = \frac{Density\ Loose}{Density\ Insitu} \times 100\ \% \dots\dots\dots (2.1)$$

Daftar material beserta persentase *swell factor* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

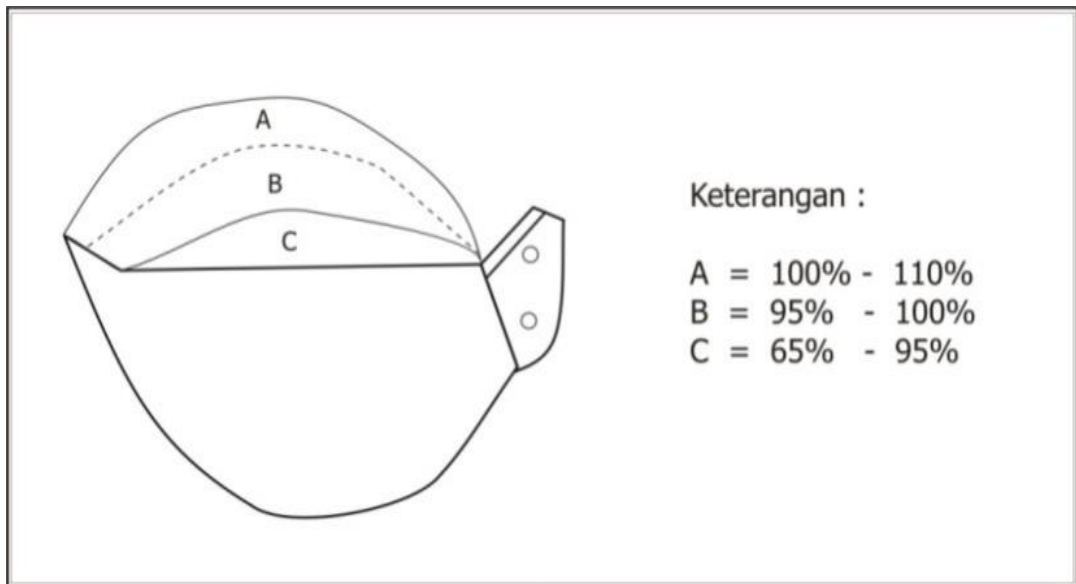
Tabel 2.1. *Swell Factor* (Herlita, 2018)

Material	<i>Swell Factor</i> (%)
Bauksit	75
Tanah Liat Kering	85
Tanah Liat Basah	80-82
Antrasit	74
Batubara Bituminus	74
Bijih Tembaga	74
Tanah Biasa Kering	90
Tanah Biasa Basah	90
Tanah Biasa Bercampur Pasir dan Kerikil	93
Kerikil Kering	89
Kerikil Basah	88
Lumpur	83
Pasir Kering	89
Pasir Basah	88

Setiap macam tanah atau batuan pada dasarnya memiliki sifat-sifat fisik dan kimia yang berbeda-beda. Pengupasan lapisan tanah penutup merupakan suatu pekerjaan untuk membuat suatu lahan galian menjadi tersingkap. Beberapa jenis tanah dianggap mudah untuk dikupas atau digusur dan dimuat dalam kondisi aslinya.

4. Faktor pengisian mangkuk (*Bucket fill factor*)

Faktor pengisian alat muat merupakan perbandingan antara volume material dengan volume spesifikasi alat yang dinyatakan dalam persen. Semakin tinggi faktor pengisian maka semakin tinggi volume nyata dari alat tersebut dan berhubungan dengan jumlah pengisian terhadap alat angkut.



Gambar 2.2 Factor pengisian *bucket* metode Caterpillar (*Hand Book Caterpillar*)

5. Waktu edar (*Cycle time*)

Waktu edar adalah waktu yang diperlukan alat berat untuk menyelesaikan suatu proses gerakan mulai dari gerakan awal hingga akhir dan kembali kesemula atau awal. Persamaan yang digunakan dalam menghitung *cycle time loader* adalah Persamaan 2.2 (Sudrajat dkk, 2019).

$$CTL = W_g + W_{am} + W_b + W_{ak} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

CTL = Waktu edar alat gali muat (detik)

$W_g$  = Waktu gali (detik)

$W_{am}$  = Waktu ayun muatan (detik)

$W_b$  = Waktu buang (detik)

$W_{ak}$  = Waktu ayun kosong (detik)

Persamaan yang digunakan dalam menghitung *cycle time hauler* adalah Persamaan 2.3 (Surajat dkk, 2019).

$$CTH = W_{ml} + W_{pm} + W_l + W_{md} + W_d + W_{tb} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

CTH = Waktu edar alat angkut (menit)

$W_{ml}$  = Waktu manuver pemuatan (menit)

$W_{pm}$  = Waktu pengisian material (menit)

$W_l$  = Waktu angkut (menit)

$W_{md}$  = Waktu manuver buang (menit)

$W_d$  = Waktu buang (menit)

$W_{tb}$  = Waktu kembali (menit)

*Match factor* (MF) merupakan keserasian kerja antara alat muat dan alat angkut. Nilai faktor keserasian kerja setiap rangkaian kerja peralatan mekanis yang digunakan ditentukan berdasarkan data waktu edar dan jumlah peralatan mekanis yang dipakai dalam setiap rangkaian kerja tersebut (Cheng, 2019). Untuk menilai keserasian alat muat dan alat angkut dapat menggunakan Persamaan 2.4 (Anaperta, 2016).

$$MF = \frac{NH \times (CTL \times \text{Jumlah Bucket})}{NL \times CTH} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

CTL = *Cycle time loader* (Menit)

CTH = *Cycle time hauler* (Menit)

NL = Jumlah alat gali muat

NH = Jumlah alat angkut

Berdasarkan Persamaan 2.4 akan muncul tiga kemungkinan, yaitu:

1.  $MF < 1$ , artinya alat gali muat bekerja kurang dari 100%, sedangkan alat angkut bekerja 100%, sehingga terdapat waktu tunggu bagi alat muat.
2.  $MF > 1$ , artinya alat gali muat bekerja 100%, sedangkan alat angkut bekerja kurang dari 100%, sehingga terdapat waktu tunggu bagi alat angkut.
3.  $MF = 1$ , artinya alat muat dan alat angkut bekerja 100%, dengan demikian tidak terdapat waktu tunggu bagi alat muat maupun alat angkut.