

SKRIPSI

DESAIN SEKUEN PENAMBANGAN BIJIH NIKEL LATERIT BERDASARKAN PENJADWALAN TAMBANG DI *PIT* HANOMAN PT CERIA NUGRAHA INDOTAMA

Disusun dan diajukan oleh:

ANDI AGUNG FAISAL
D111 20 1014



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

DESAIN SEKUEN PENAMBANGAN BIJIH NIKEL LATERIT BERDASARKAN PENJADWALAN TAMBANG DI *PIT* HANOMAN PT CERIA NUGRAHA INDOTAMA

Disusun dan diajukan oleh

Andi Agung Faisal
D111 20 1014

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 04 November 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Rini Novrianti Sutardjo Tui, S.T., M.B.A., M.T.
NIP. 198311142014042001

Ketua Program Studi,



Dr. Aryanu Viantu Anas, S.T., M.T.
NIP. 197010052008012026



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini ;
Nama : Andi Agung Faisal
NIM : D111201014
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Desain Sekuen Penambangan Bijih Nikel Laterit Berdasarkan Penjadwalan Tambang di *Pit* Hanoman PT Ceria Nugraha Indotama}

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

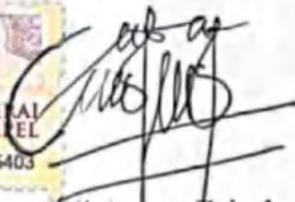
Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, 30 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Andi Agung Faisal



ABSTRAK

ANDI AGUNG FAISAL. *Desain Sekuen Penambangan Bijih Nikel Laterit Berdasarkan Penjadwalan Tambang di Pit Hanoman Pt Ceria Nugraha Indotama (dibimbing oleh Rini Novrianti Sutardjo Tui)*

PT Ceria Nugraha Indotama adalah perusahaan tambang komoditas bijih nikel laterit yang memiliki luas IUP 6.785 hektar pada Blok Lapao Pao dan secara administrasi beroperasi di Kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Perusahaan akan membuka *pit* Hanoman yang merupakan *pit* baru sehingga dibutuhkan perencanaan lebih lanjut. Metode penambangan untuk bukaan tambang dibuat menggunakan metode tambang terbuka untuk pengambilan bijih nikel dengan kadar *cut off-grade* 1,5. Desain optimasi *pit* dibuat dengan bantuan perangkat lunak *geovia surpac* 6.6.2 dan *whittle* 4.5.1. Hasil optimasi diperoleh *pit shell* 5 dengan estimasi *stripping ratio* sebesar 2,76. Pembuatan desain *pit* dengan bantuan perangkat lunak *micromine* 2023. Kemudian dilakukan pelaporan untuk mengetahui nilai *stripping ratio* dari cadangan tertambang yang akan ditentukan berdasarkan perbandingan tanah penutup dan bijih nikel dari desain *pit* yang dibuat. Hasil desain *pit* diperoleh estimasi cadangan tertambang sebesar 1.575.523 ton dengan material *overburden* sebesar 1.201.706 ton dengan material *ore* sebesar 373.817 ton dengan kadar Ni yaitu 1,66%. Sehingga diperoleh nilai *stripping ratio* sebesar 3,21 dan terjadi peningkatan *stripping ratio* sebesar 16%. Cadangan tertambang dari desain *pit* yang akan dibuat pelaporan dengan bantuan perangkat lunak *geovia surpac* 6.6.2. *Pit* Hanoman rencananya akan habis ditambang pada bulan ke 5 sesuai dengan penjadwalan produksi yang dibuat dengan target produksi *ore* yaitu 2.500 ton/hari. Penjadwalan produksi dibuat dengan bantuan perangkat lunak *minesched* 9.0.0. Selanjutnya pembuatan *sequence* penambangan berdasarkan rancangan penjadwalan produksi yang sudah dibuat. Desain *sequence* penambangan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *micromine* 2023. Pembuatan *sequence* ini bertujuan untuk mengatur kegiatan operasional penambangan agar sesuai dengan perencanaan yang sudah dibuat.

Kata Kunci: *Pit Limit*, Penjadwalan Produksi, *Sequence*



ABSTRACT

NAMA LENGKAP MAHASISWA. *Laterite Nickel Ore Mining Sequence Design Based on Mine Scheduling in Hanoman Pit Pt Ceria Nugraha Indotama* (supervised by Rini Novrianti Sutardjo Tui)

PT Ceria Nugraha Indotama is a nickel-laterite commodity mining company that has an IUP area of 6,785 hectares in the Lapao Pao Block and is administratively operating in the Wolo district, Kolaka District, South Eastern Sulawesi Province. The company will open the Hanoman pit which is a new pit so further planning is required. The mining method for open mines is made using the open-pit mine method to extract nickel ore with a cut-off-grade 1.5. The pit optimization design was created with the help of Geovia Surpac 6.6.2 and Whittle 4.5.1 software. The optimization results obtained pit shell 5 with an estimated stripping ratio of 2.76. Making a pit design with the help of Micromine 2023 software. Then reporting is carried out to determine the stripping ratio value of mined reserves which will be determined based on the comparison of overburden and nickel production from the pit design created. The pit design results obtained an estimated mineable reserve of 1,575,523 tonnes with overburden material of 1,201,706 tonnes with ore material of 373,817 tonnes with a Ni content of 1.66%. So the stripping ratio value was obtained at 3.21 and there was an increase in the stripping ratio of 16%. Mined reserves from the pit design will be reported with the help of Geovia Surpac 6.6.2 software. The Hanoman Pit is planned to be completely mined in the 6th month in accordance with the production schedule made with an ore production target of 2,500 tons/day. Production scheduling is done with the help of software minesched 9.0.0. The mining sequence is then made based on the production schedules that have been made. The design of the mining sequences is done using software micromine 2023. This sequence creation is intended to regulate the operational activities of mining in accordance with the planned.

Keywords: Pit Limit, Mine Scheduling, Sequence



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Nikel Laterit.....	5
2.2 Perencanaan Tambang.....	9
2.3 <i>Bench</i> pada Tambang Terbuka.....	12
2.4 Optimasi <i>Pit Limit</i>	16
2.5 <i>Pit shell</i>	18
2.6 Desain <i>Pit Limit</i>	20
2.7 <i>Mine Scheduling</i>	22
2.8 <i>Sequence</i> Penambangan.....	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Lokasi Penelitian.....	27
3.2 Variabel Penelitian.....	27
3.3 Teknik Pengumpulan Data.....	28
3.4 Teknik Analisis Data.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	89
4.1 Estimasi Sumber Daya Model Blok Keseluruhan.....	89
4.2 Optimasi <i>Pit Limit</i> berdasarkan <i>Stripping Ratio</i>	91
4.3 Desain <i>Pit Limit</i> Optimal.....	94
4.4 Perhitungan Cadangan Tertambang.....	95
4.5 Penjadwalan Produksi.....	98
4.6 Desain <i>Sequence</i> Penambangan.....	105
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	116
5.1 Kesimpulan.....	116
5.2 Saran.....	117
DAFTAR PUSTAKA.....	118



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Lapisan endapan nikel laterit (Prasetyo, 2016)	8
Gambar 2 Diagram tahapan estimasi cadangan (Rifandy dan Sutan, 2018).....	10
Gambar 3 Perencanaan dan desain tambang (Konsultan Karya Jaya, 2024).....	12
Gambar 4 Bagian <i>bench</i> (Abdillah, 2017)	14
Gambar 5 <i>Individual slope</i> (atas), <i>overall slope</i> (bawah) (Abdillah, 2017).....	15
Gambar 6 Optimasi <i>pit</i> pada endapan cadangan (Rifandy dan Sutan, 2018).....	16
Gambar 7 Metode <i>floating cone</i> pada pembuatan <i>bench</i> pada <i>pit</i> (Xu <i>et al.</i> , 2021).....	17
Gambar 8 Skema proses <i>pit shells</i> dan <i>pushback</i> (Elkington & Durham, 2011)..	18
Gambar 9 <i>Cross-section pushback</i> pada suatu rancangan	23
Gambar 10 Variasi penambangan <i>open pit</i> pada <i>sequence</i> penambangan.....	26
Gambar 11 Diagram alir penelitian.....	30
Gambar 12 Membuat <i>new constraint</i>	31
Gambar 13 Tampilan <i>enter constraints</i>	32
Gambar 14 Tampilan hasil <i>constraint</i>	32
Gambar 15 Membuat <i>new report</i>	32
Gambar 16 Tampilan format hasil <i>report</i>	33
Gambar 17 Tampilan <i>report</i> atribut <i>cut-off grade</i>	33
Gambar 18 Tampilan ekspor <i>constraint</i>	34
Gambar 19 Tampilan hasil <i>report</i> berdasarkan <i>cut-off grade</i>	34
Gambar 20 Tampilan <i>report</i> atribut <i>material class</i>	35
Gambar 21 Tampilan ekspor <i>constraint</i>	35
Gambar 22 Tampilan hasil <i>report</i> berdasarkan <i>material class</i>	36
Gambar 23 Tampilan model blok keseluruhan	36
Gambar 24 Tampilan <i>new attributes</i>	37
Gambar 25 Tampilan <i>add attributes</i>	37
Gambar 26 Tampilan <i>assign value</i>	38
Gambar 27 Tampilan <i>add assign value</i>	38
Gambar 28 Tampilan <i>enter constraints</i>	39
Gambar 29 Tampilan model blok <i>constraints above topo</i>	39
Gambar 30 Tampilan <i>add assign value</i>	40
Gambar 31 Tampilan <i>enter constraints</i>	40
Gambar 32 Tampilan model blok <i>constraints above topo</i>	41
Gambar 33 Tampilan membuka <i>export to whittle</i>	41
Gambar 34 Tampilan <i>export to whittle</i>	42
Gambar 35 Tampilan <i>validation error</i> dan <i>report</i>	42
Gambar 36 Tampilan <i>project details</i>	43
Gambar 37 Tampilan model <i>files to import</i>	43
Gambar 38 Tampilan <i>perform reblock</i>	44
Gambar 39 Tampilan <i>process description</i>	44
Gambar 40 Tampilan <i>stockpile usage</i>	44
Gambar 41 Tampilan <i>strategic design</i>	45
Gambar 42 Tampilan <i>analysis and scheduling</i>	45
Gambar 43 Tampilan <i>sensitivity analysis</i>	45
Gambar 44 Tampilan <i>stockpile and cut-off optimization</i>	46



Gambar 45 Tampilan model blok terdefinisi	46
Gambar 46 Tampilan <i>formats</i> pada <i>new block model</i>	47
Gambar 47 Tampilan <i>profiles</i> pada <i>new slope set</i>	47
Gambar 48 Tampilan <i>error</i> pada <i>report new slope set</i>	48
Gambar 49 Tampilan <i>processing</i> pada <i>new pit shells</i>	48
Gambar 50 Tampilan <i>selling</i> pada <i>new pit shells</i>	49
Gambar 51 Tampilan <i>optimization</i> pada <i>new pit shells</i>	49
Gambar 52 Tampilan <i>table summary data for each pit</i>	50
Gambar 53 Tampilan <i>data pit shell</i> di <i>microsoft excel</i>	50
Gambar 54 Tampilan <i>import block model</i>	51
Gambar 55 Memisahkan <i>ore</i> pada <i>block model</i>	51
Gambar 56 Tampilan DTM topografi	52
Gambar 57 Memasukkan <i>pit shell</i> hasil optimasi	52
Gambar 58 Mengisi input data pada <i>pit design</i>	53
Gambar 59 Rancangan desain <i>pit</i> pada elevasi 105	53
Gambar 60 Tampilan <i>toe</i> pada <i>sting pit</i>	54
Gambar 61 Tampilan <i>smooth</i> untuk memperhalus <i>string</i>	54
Gambar 62 Tampilan <i>ramp properties</i>	55
Gambar 63 Tampilan <i>crest</i> pada <i>sting pit</i>	55
Gambar 64 Rancangan desain <i>pit</i> pada elevasi 110	56
Gambar 65 Rancangan desain <i>pit</i> pada elevasi 115	56
Gambar 66 Rancangan desain <i>pit</i> pada elevasi 120	57
Gambar 67 Rancangan desain <i>pit</i> pada elevasi 125	57
Gambar 68 Rancangan desain <i>pit</i> pada elevasi 130	58
Gambar 69 Rancangan desain <i>pit</i> pada elevasi 135	58
Gambar 70 Rancangan desain <i>pit</i> pada elevasi 140	59
Gambar 71 Rancangan desain <i>pit</i> pada elevasi 145	59
Gambar 72 Rancangan desain <i>pit</i> pada elevasi 150	60
Gambar 73 Rancangan desain <i>pit</i> pada elevasi 155	60
Gambar 74 Rancangan desain <i>pit</i> pada elevasi 160	61
Gambar 75 Tampilan <i>pit</i> dan <i>ramp</i> keseluruhan	61
Gambar 76 Tampilan DTM <i>pit</i>	62
Gambar 77 Tampilan <i>wireframe boolean operations</i>	62
Gambar 78 Tampilan solid yang sudah dipisah	63
Gambar 79 Tampilan volume solid	63
Gambar 80 Tampilan <i>wireframe boolean operations</i>	64
Gambar 81 Tampilan <i>pit</i> dengan topografi	64
Gambar 82 Elevasi terendah <i>string waste dump</i>	65
Gambar 83 Memunculkan informasi kapasitas <i>waste dump</i>	65
Gambar 84 Final desain <i>waste dump</i>	66
Gambar 85 Tampilan desain <i>centerline</i>	66
Gambar 86 Tampilan desain <i>body road</i>	67
Gambar 87 <i>Cut mining haul road</i>	67
Gambar 88 <i>Fill mining haul road</i>	68
Gambar 89 <i>Final mining haul road</i>	68
Gambar 90 Tampilan membuat <i>constraints file</i>	69
Gambar 91 Tampilan <i>enter constraints</i>	69
Gambar 92 Tampilan membuat <i>report</i> cadangan	70



Gambar 93 Tampilan <i>report format</i>	70
Gambar 94 Tampilan <i>report</i> atribut <i>cut-off grade</i>	71
Gambar 95 Tampilan ekspor <i>constraint</i>	71
Gambar 96 Tampilan <i>output report</i> cadangan	71
Gambar 97 Tampilan <i>new schedule</i>	72
Gambar 98 Tampilan <i>import block model</i>	73
Gambar 99 Tampilan <i>extract material classes</i>	73
Gambar 100 Tampilan <i>extract qualities</i>	74
Gambar 101 Tampilan <i>validate block model</i>	74
Gambar 102 Tampilan <i>locations schedule</i>	75
Gambar 103 Tampilan <i>string bench polygons</i>	75
Gambar 104 Tampilan <i>constraints pit schedule</i>	76
Gambar 105 Tampilan <i>graphical sequencer</i>	76
Gambar 106 Tampilan <i>material movement</i>	77
Gambar 107 Tampilan <i>evaluate block model</i>	77
Gambar 108 Tampilan <i>resource capacities</i>	78
Gambar 109 Tampilan <i>production rates</i>	78
Gambar 110 Tampilan <i>parameters and precedence parameters</i>	79
Gambar 111 Tampilan <i>calendars</i>	79
Gambar 112 Tampilan <i>scheduling periods</i>	80
Gambar 113 Tampilan <i>block model</i> hasil <i>scheduling</i>	80
Gambar 114 Tampilan grafik <i>schedule</i> tiap periode	81
Gambar 115 Tampilan ekspor <i>block model</i> hasil <i>scheduling</i>	81
Gambar 116 Tampilan <i>coconstraints minesched period</i>	82
Gambar 117 Tampilan <i>import block model</i>	83
Gambar 118 Memisahkan <i>ore</i> pada <i>block model</i>	83
Gambar 119 Tampilan DTM topografi	84
Gambar 120 Tampilan desain <i>sequence</i> periode 1	84
Gambar 121 Tampilan pengaturan desain <i>pit</i>	85
Gambar 122 Tampilan <i>smooth</i> untuk memperhalus <i>string</i>	85
Gambar 123 Tampilan <i>ramp properties</i>	86
Gambar 124 Tampilan desain <i>sequence</i> periode 2	86
Gambar 125 Tampilan desain <i>sequence</i> periode 3	87
Gambar 126 Tampilan desain <i>sequence</i> periode 4	87
Gambar 127 Tampilan desain <i>sequence</i> periode 5	88
Gambar 128 Tampilan ekspor file ke format (.dtm)	88
Gambar 129 Tampilan sudut <i>overall slope</i>	92
Gambar 130 <i>Pit</i> desain dan model blok tertambang	96
Gambar 131 Tampilan <i>material movement</i> tiap periode	99
Gambar 132 Tampilan model blok tertambang periode 1	100
Gambar 133 Tampilan model blok tertambang periode 2	101
Gambar 134 Tampilan model blok tertambang periode 3	102
Gambar 135 Tampilan model blok tertambang periode 4	103
Gambar 136 Tampilan model blok tertambang periode 5	104



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Negara penghasil nikel (sulfida dan laterit)	5
Tabel 2 Estimasi sumber daya model blok berdasarkan <i>material class</i>	90
Tabel 3 Estimasi sumber daya model blok berdasarkan COG 1,5.....	91
Tabel 4 <i>pit shell</i> keseluruhan berdasarkan sr dan kadar bijih nikel	92
Tabel 5 Estimasi cadangan <i>pit shell</i> 5	93
Tabel 6 Estimasi cadangan menggunakan <i>material class</i>	96
Tabel 7 Estimasi cadangan berdasarkan <i>cut-off grade</i> 1,5.....	97
Tabel 8 <i>Material movement</i> periode 1	100
Tabel 9 <i>Material movement</i> periode 2	101
Tabel 10 <i>Material movement</i> periode 3	102
Tabel 11 <i>Material movement</i> periode 4	103
Tabel 12 <i>Material movement</i> periode 5	104
Tabel 13 Total material <i>overburden</i> dan <i>ore</i> pada <i>sequence</i> periode 1	106
Tabel 14 Pembagian material <i>sequence</i> 1 berdasarkan <i>material class</i>	106
Tabel 15 Total material <i>overburden</i> dan <i>ore</i> pada <i>sequence</i> periode 2	108
Tabel 16 Pembagian material pada <i>sequence</i> 2 berdasarkan <i>material class</i>	108
Tabel 17 Material <i>overburden</i> dan <i>ore</i> pada <i>sequence</i> periode 3 <i>pit</i> 1	109
Tabel 18 Material <i>overburden</i> dan <i>ore</i> pada <i>sequence</i> periode 3 <i>pit</i> 2.....	109
Tabel 19 Total material <i>overburden</i> dan <i>ore</i> pada <i>sequence</i> periode 3	110
Tabel 20 Pembagian material <i>sequence</i> 3 <i>pit</i> 1 berdasarkan <i>material class</i>	110
Tabel 21 Pembagian material <i>sequence</i> 3 <i>pit</i> 2 berdasarkan <i>material class</i>	111
Tabel 22 Total material <i>overburden</i> dan <i>ore</i> pada <i>sequence</i> periode 4	112
Tabel 23 Pembagian material <i>sequence</i> 4 berdasarkan <i>material class</i>	112
Tabel 24 Total material <i>overburden</i> dan <i>ore</i> pada <i>sequence</i> periode 5	114
Tabel 25 Pembagian material pada <i>sequence</i> 5 berdasarkan <i>material class</i>	115



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
NPV	<i>Net present value</i>
COG	<i>Cut off grade</i>
α	Sudut lereng
BESR	<i>Break even stripping ratio</i>
SR	<i>Stripping ratio</i>
IRR	<i>Internal rate of return</i>
PBP	<i>Payback period</i>
I	Harga jual bijih per ton
x	Iuran produksi 13,5%
C_t	Biaya produksi bijih per ton
C_{sw}	Biaya pengupasan material penutup per bcm
RAMP	<i>Road access mining pit</i>
MHR	<i>Mining haul road</i>
ETO	<i>Exportable transit ore</i>
BCM	<i>Bank cubic meter</i>
SM	<i>Silica magnesia</i>
LGL	<i>Low grade limonite</i>
MGL	<i>Medium grade limonite</i>
HGL	<i>High grade limonite</i>
SAPORE	<i>Saprolite ore</i>
NPI	<i>Nickel pig iron</i>
HPAL	<i>High pressure acid leaching</i>
ESR	<i>Economy stripping ratio</i>
FK	Faktor keamanan
ESDM	Energi dan sumber daya mineral
AASTHO	<i>American association of state highway and transportation officials</i>



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Peta Lokasi Penelitian.....	125
Lampiran B Data Model Blok.....	127
Lampiran C Data Topografi.....	129
Lampiran D <i>Pit Shell</i>	131
Lampiran E Desain <i>Pit Limit</i>	133
Lampiran F Desain <i>Waste Dump</i>	135
Lampiran G <i>Final Pit Limit, Waste Dump, Mining Haul Road</i>	137
Lampiran H Penjadwalan Tambang.....	139
Lampiran I <i>Sequence</i> Periode 1.....	141
Lampiran J Peta <i>Plan Sequence</i> Periode 1.....	143
Lampiran K <i>Sequence</i> Periode 2.....	145
Lampiran L Peta <i>Plan Sequence</i> Periode 2.....	147
Lampiran M <i>Sequence</i> Periode 3.....	149
Lampiran N Peta <i>Plan Sequence</i> Periode 3.....	151
Lampiran O <i>Sequence</i> Periode 4.....	153
Lampiran P Peta <i>Plan Sequence</i> Periode 4.....	155
Lampiran Q <i>Sequence</i> Periode 5.....	157
Lampiran R Peta <i>Plan Sequence</i> Periode 5.....	159



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Salam sejahtera bagi kita semua. Puji syukur kita panjatkan atas kehadiran Allah *Subhanahu Wata'ala* karena dengan segala limpahan Rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini.dengan judul “Desain Sekuen Penambangan Bijih Nikel Laterit Berdasarkan Penjadwalan Tambang di *Pit* Hanoman PT Ceria Nugraha Indotama”. Selawat dan salam tidak lupa kita kirimkan kepada junjungan kita nabiullah Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari suatu sistem kejahiliyaan menuju sistem manusia yang berpikir, zaman yang dipenuhi oleh ilmu pengetahuan dan teknologi. Laporan ini dibuat sebagai bentuk penilaian terhadap kegiatan Magang sekaligus penelitian yang dilaksanakan di PT Ceria Nugraha Indotama, baik oleh pihak perusahaan maupun universitas. Penyusunan laporan ini tidak luput dari berbagai rintangan yang dihadapi, maka dari itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada PT Ceria Nugraha Indotama yang telah memberikan kesempatan bagi penulis untuk melaksanakan kegiatan Tugas Akhir.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Chandra Sumarah selaku Senior Manajer Departemen *Mine Technical Service* serta Bapak Agus Satria selaku Manajer sekaligus pembimbing lapangan Kerja Praktik, serta kepada Pak Resa Rifal Praditia, Pak Hasrul, Pak Faruq, Bu Yuliana, Bu Novi, Pak Irsan, Pak Jamal, Pak Sandy, Pak Daenan, Pak Rahim, Pak Tahir, Pak Adly, Pak Taufiq, Pak Sayyid, dan Pak Rusdi serta seluruh *MTS-Team* yang telah memberikan banyak arahan dan telah berbagi ilmu serta pengalaman selama penulis melaksanakan kegiatan Magang.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Pertambangan, Kepala Laboratorium Perencanaan dan Valuasi Tambang, terima kasih penulis ucapkan kepada Pembimbing Utama penelitian Tugas Akhir Ibu Dr. Eng. Rini Novrianti S. Tui., M.BA., MT, serta Dr. Eng. Ir Muhammad Ramli, MT., dan Rizki Amalia, ST., MT dan selaku dosen penguji, seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Anggota Laboratorium Perencanaan dan Valuasi Tambang (PVT) yang telah memberi saran yang membangun kepada penulis dalam kegiatan penelitian ini. Terima kasih kepada teman-teman Teknik Pertambangan Angkatan 2020 (DRILLING) yang telah memberikan bantuan dan saran yang membangun kepada penulis selama melaksanakan penelitian. Terima kasih penulis ucapkan kepada Drs. Halimuddin dan Andi Nurhidayah Mubarak dan kedua orang tua beserta keluarga yang selalu memberikan dukungan moral dan spiritual selama penulis sehingga memberikan semangat dan dorongan penulis menyelesaikan tugas akhir.



Laporan tugas akhir ini dibuat sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin. Penulis berharap laporan ini dapat menjadi salah satu referensi dalam pengembangan penelitian khususnya perencanaan tambang yang relevan di masa yang akan datang.
Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Gowa, 14 Maret 2024

Andi Agung Faisal



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber daya nikel (Ni) merupakan logam yang terkandung dalam bijih sulfida dan laterit dengan persebaran bijih laterit dengan kadar lebih rendah mencakup 70% cadangan nikel global. Nikel sangat penting bagi infrastruktur dan pengembangan teknologi menjadi bahan dasar pembuatan logam tahan karat (Astuti *et al.*, 2023). Proses terbentuknya endapan laterit laterit berasal dari batuan induk yaitu peridotit dengan komposisi nikel berkisar 0,2% hingga 0,4%. Profil endapan nikel laterit yang terbentuk dari pelapukan batuan ultrabasa umumnya terdiri dari empat lapisan yaitu tanah penutup, limonit, saprolit, dan batuan dasar (Sabaruddin dkk., 2023).

Kegiatan penambangan nikel di Indonesia dilakukan dalam perencanaan dengan metode penambangan terbuka yang dikenal dengan istilah *open cast mining*. Metode ini dipilih karena sesuai dengan karakteristik bijih nikel di Indonesia yang merupakan nikel laterit (Arif, 2018). Langkah awal dalam perencanaan tambang yaitu optimasi *pit limit* penambangan sehingga akan memaksimalkan keuntungan. Berdasarkan faktor ekonomi dan teknis kemudian dibuatkan rancangan desain *pit limit* yang kemudian digunakan sebagai proses perencanaan produksi. Bukaan yang optimal dapat ditentukan berdasarkan pemilihan beberapa *pit shell* yang dianggap paling optimal untuk ditambang (Xu *et al.*, 2021).

Penjadwalan produksi dalam tambang terbuka sangat kompleks dan merupakan tahapan penting dalam perencanaan dan desain penambangan untuk bisa memaksimalkan keuntungan dengan pertimbangan operasional, teknis, dan lingkungan. Hasil dari penjadwalan produksi yaitu penentuan lokasi dan jumlah estimasi cadangan tertambang yang harus ditambang pada periode yang sudah direncanakan. Dalam penjadwalan produksi, digunakan *cut off grade* untuk bisa membedakan antara *waste* dan *ore* pada model bloknya. Sehingga material diatas kadar *cut off grade* akan masuk dalam *stockpile* dan material *waste* dibawa *cut off* an dibawah ke *waste dump* (Lin *et al.*, 2024).



giatan penambangan memerlukan pemodelan, perhitungan cadangan, serta an teknis kegiatan penambangan selaku tahapan awal sebelum semua

tahapan penambangan lainnya dilakukan. Pembuatan penjadwalan produksi penambangan bertujuan untuk bisa membuat besaran target produksi dan desain *sequence* penambangan. *Sequence* penambangan merupakan bentuk dari *pit* penambangan tiap periode tertentu, sehingga istilah dari *sequence* biasanya digunakan sebagai kemajuan tambang tiap periode penambangan. Pembuatan *sequence* disesuaikan dengan volume produksi pada suatu periode dan biasanya dari periode bulanan (Arianto dkk., 2020).

Berdasarkan model dari endapan nikel laterit, bentuk desain *pit* yang dibuat harus disesuaikan juga karena kondisi persebaran laterit yang tidak homogen. Pembuatan desain *pit* ini berdasarkan perbandingan *stripping ratio* dikarenakan untuk pemenuhan permintaan pasar. Selanjutnya pembuatan penjadwalan produksi untuk menentukan jumlah *material movement* selama satu periode penambangan. Kemudian pembuatan desain *sequence* yang bertujuan untuk mengatur kegiatan operasional penambangan agar sesuai dengan perencanaan yang sudah dibuat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan *pit shell* berdasarkan nilai *stripping ratio* dan kadar bijih nikel yang paling optimal?
2. Bagaimana desain *pit* penambangan yang optimal dan berapa jumlah cadangan tertambang pada *pit* desain yang sudah dibuat?
3. Bagaimana rancangan penjadwalan produksi penambangan pada tiap periode dalam penentuan umur tambang?
4. Bagaimana sekuen penambangan berdasarkan rencana penjadwalan produksi pada perbandingan *overburden* dan *ore*-nya tiap periode?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan *pit shell* berdasarkan nilai *stripping ratio* dan kadar bijih nikel paling optimal.



2. Membuat desain *pit* penambangan yang optimal dan menghitung jumlah cadangan nikel laterit yang tertambang berdasarkan model *pit* yang sudah didesain.
3. Membuat rancangan penjadwalan produksi penambangan pada tiap periode untuk menentukan umur tambang.
4. Merancang *sequence* penambangan tiap periode berdasarkan rencana penjadwalan produksi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Memperoleh desain *pit limit* sesuai dengan pemilihan *pit shell* yang paling optimal.
2. Membantu perusahaan untuk mengetahui jumlah estimasi sumber daya tertambang sebagai acuan untuk membuka *pit* baru pada *pit* Hanoman yang merupakan lahan yang masih belum tersentuh (*green field*).
3. Mengetahui jumlah material tertambang berdasarkan perancangan penjadwalan dan *sequence* penambangan pada tiap periode penambangan.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini dilakukan di PT Ceria Nugraha Indotama yang merupakan perusahaan tambang yang bergerak pada industri pertambangan bijih nikel yang beroperasi di kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan selama periode magang dari bulan Februari hingga Agustus 2024. Penelitian ini fokus pada optimasi *pit* dengan bantuan *software geovia surpac 6.6.2* dan *software whittle 4.5.1*, desain *pit limit* menggunakan *software micromine 2023*, penjadwalan produksi menggunakan *software geovia minesched 9.0.0*, dan desain *sequence* penambangan menggunakan *software micromine 2023*.

Penelitian ini membatasi pembuatan desain *stockpile* dikarenakan semua limonit dan saprolit yang keluar dari *pit* akan dibawa langsung ke *le transit ore* di *stockpile jetty*. PT. Ceria Nugraha Indotama terdapat 2 *jetty* *etty* Wolo dan *jetty* Babarina. Dimana waktu tempuh dari *pit* Hanoman ke



jetty Wolo yaitu 20 menit dan waktu tempuh dari *pit* Hanoman ke *jetty* Babarina yaitu 35 menit. Penempatan alokasi material *stockpile* yaitu limonit dan saprolit belum diketahui *stockpile* mana yang akan ditempatkan. Sehingga jalan ke *stockpile* yang dibuat akan menghubungkan antara *pit* dengan *mining haul road* karena langsung terhubung antara kedua *jetty* itu.

Penelitian ini membatasi pertimbangan biaya pada optimasi *pit limit* yang dilakukan karena mengambil pertimbangan perbandingan *stripping ratio* yang digunakan sebagai acuan perusahaan. Penelitian ini juga membatasi hingga perhitungan waktu kerja efektif (*effective working hours*) dan perhitungan produktivitas alat gali muat dan alat angkut untuk menentukan tonase *material movement* perhari dan umur tambang. Penentuan umur tambang yang digunakan yaitu dengan membagi cadangan tertambang dengan target produksi bulanan dari perusahaan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel Laterit

Nikel merupakan salah satu unsur deret besi yang memiliki karakteristik berwarna putih keperakan (Su *et al.*, 2024). Nikel juga memiliki karakteristik fisik mengkilap yang terbentuk secara alami di alam. Unsur ini sangat jarang untuk ditemukan dengan kandungan murni logam. Nikel merupakan salah satu unsur logam yang sering dijumpai dan persebarannya dapat ditemui di bagian kerak bumi (Arif, 2018).

Ada dua jenis bijih nikel yang tersebar di alam, jenis nikel itu adalah nikel sulfida dan nikel oksida atau laterit. Biasanya nikel sulfida terletak di belahan bumi subtropis sedangkan persebaran nikel laterit terletak di khatulistiwa. Berdasarkan jumlah cadangannya, sumberdaya nikel laterit lebih besar jika dibandingkan dengan nikel sulfida. Data publikasi pada tahun 1988 menjelaskan bahwa Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah sumberdaya nikel terbesar di dunia seperti yang ditunjukkan pada tabel 1 (Prasetyo, 2016).

Tabel 1 Negara penghasil nikel (sulfida dan laterit)

Negara dengan sumberdaya nikel (Sulfida/Laterit)	Total Ni (%)
New Caledonia (Laterit)	27
Indonesia (Laterit)	13
Canada (Sulfida)	11
Cuba (Laterit)	8
Rusia (Sulfida)	7

Sumber: Prasetyo (2016)

Bijih nikel terbentuk karena adanya air tanah yang membawa bersifat asam yang melarutkan banyak mineral yang mengandung nikel, besi, magnesium, silika, dan unsur lain seperti kromium. Air tanah akan mengalir masuk ke dalam batuan induk, akan terjadi perubahan pH dengan batuan induk yang akan mengakibatkan terjadinya pengendapan mineral besi dan nikel. Pengayaan nikel dan besi juga terjadi melalui proses pertukaran ion dimana nikel dan besi masuk dalam larutan yang bertukar dengan magnesium yang terjadi dalam batuan induk. Mineral yang terletak dekat dengan permukaan banyak mengandung besi terhidrasi oksida seperti nana umumnya disebut sebagai limonit. Zona ini banyak mengandung dan amorf besi hidroksida dan merupakan hasil pelapukan lanjutan (Soyay & Filippov., 2016).



Nikel laterit terbentuk karena beberapa faktor yang mempengaruhi seperti komposisi material, topografi, struktur, iklim, dan waktu pembentukannya. Parameter ini merupakan parameter geologi yang menyebabkan struktur nikel laterit menjadi lebih kompleks. Endapan besi oksida dan endapan silikat juga banyak terkandung dalam endapan laterit. Endapan oksida besi yang mengandung konsentrasi residu nikel, dihasilkan karena transformasi mineral yang memiliki mengandung nikel, seperti serpentin dan olivin di lingkungan pengoksidasi selama pelapukan (Zhou *et al.*, 2016).

Zona laterisasi akan membentuk perlapisan dari nikel laterit yang dapat dilihat pada Gambar 1 perlapisan pada nikel laterit yaitu sebagai berikut (Jafar, 2017):

1. *Top Soil*

Top soil merupakan zona teratas pada endapan dan memiliki kandungan berupa akar tumbuhan dan humus. Warna merah kecoklatan serta tekstur material yang halus menjadi penciri paling jelas dari karakteristik zona *top soil* (Pasolon dkk., 2022).

2. Zona Limonit

Limonit memiliki karakteristik warna merah coklat atau kuning dengan lapisan kaya akan mineral besi. Lapisan ini memiliki lapisan yang tipis dan mineral tambahan lainnya seperti mineral hematit, silika dan mangan dioksida. Zona limonit terbagi menjadi dua perlapisan berdasarkan kandungan konsentrasi besinya. Lapisan atas disebut limonitik karena selain kandungannya kaya akan oksida besi, lapisan limonit bercampur dengan tanah penutup. Lapisan bawah sangat kaya dengan oksida besi, pengayaan (*enrichment*) tersebut terjadi karena adanya proses pelindian pada saat pembentukan saprolit.

Lapisan limonit merupakan hasil dari pelapukan lanjutan dari batuan beku ultramafik yang mengandung banyak mineral oksida besi, goetit, dan magnetit. Ketebalannya bisa mencapai 8 hingga 15 meter sehingga disebut juga overburden. Mineral yang terkandung pada batuan ini berasal dari batuan beku

mafik alkalin yang mengalami transformasi menjadi serpentin yang merupakan hasil pelapukan yang bercirikan ukuran butir cukup halus dengan warna merah kecoklatan dan kekuningan. Lapisan ini mengandung mineral



oksida mangan seperti lithiophorite ($(\text{AlLi})\text{Mn}_4^+\text{O}_2(\text{OH})_2$). Dapat juga ditemukan beberapa mineral tambahan seperti chromiferous, talk, kuarsa, tremolite, gibbsite ($\text{Al}(\text{OH})_3$), dan maghemite (Fe_3^+O_3) (Arif, 2018).

3. Zona Saprolit

Lapisan saprolite berada tengah diantara lapisan limonit dan *bedrock* dimana lapisan ini merupakan campuran dari sisa batuan, terdapat campuran silika, memiliki warna kehijauan, serta memiliki ukuran butiran yang halus. Saprolit merupakan lapisan dengan nikel dengan kadar yang tinggi karena hasil dari pelapukan dari batuan dasar. Fragmen fragmen penyusun lapisan ini masih terlihat dengan ukuran butir dari kerikil hingga bongkah dan umumnya mineral pada zona ini mengalami alterasi.

Mineral utamanya yaitu serpentin < 0,4%, magnesit, dan kuarsa, dan besi oksida. Ketebalan lapisan saprolite berkisar antara 5 hingga 18 meter. Ditemukan juga beberapa rekahan yang mengandung onyx (SiO), magnesit (MgCo), garnierite, dan serpentin. Gumpalan batu di zona ini memiliki konsentrasi magnesium oksida (MgO) dan silika (SiO_2) yang sangat tinggi dengan kadar besi yang rendah. Berdasarkan kandungan dari fragmen batuan, lapisan saprolit dibagi menjadi dua yaitu sebagai berikut:

- a. *Sub soft-saprolit*, kandungan fragmen dengan ukuran butir bongkah lebih kecil dari 25%.
- b. *Sub hard-saprolit*, kandungan fragmen dengan ukuran butir bongkah lebih besar dari 50%.

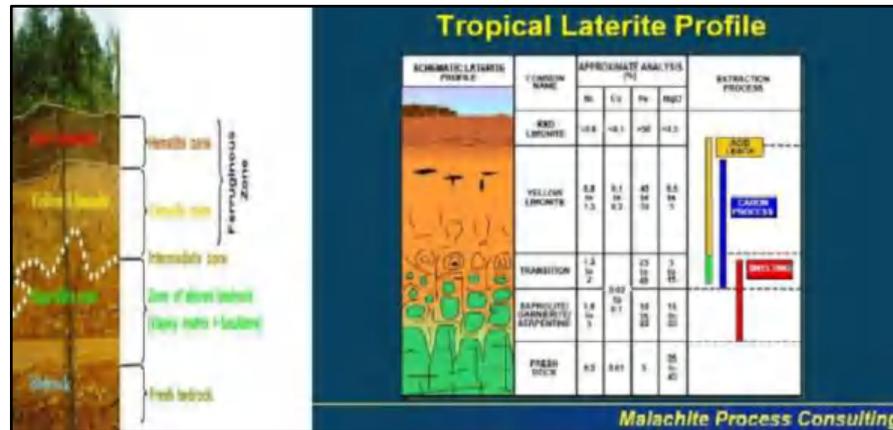
4. Zona Bedrock

Lapisan *bedrock* (batuan dasar) merupakan lapisan terkeras sekaligus lapisan terbawah dari lapisan laterit yang berbentuk bongkahan besar dan merupakan batuan dasar yang tidak mengandung mineral ekonomis. Lapisan ini terfrakturisasi dengan sangat kuat, biasa terbuka dan terisi oleh beberapa mineral seperti garnierite dan silika. Frakturisasi ini menjadi penyebab adanya *root zone* yaitu zona *high grade nickel* yang posisinya tersembunyi.



hitungan sumber daya biasanya menggunakan metode *ordinary kriging* metode ini merupakan metode estimasi dengan tingkat keakuratan yang dengan nilai *error* yang kecil. Metode *ordinary kriging* menganalisa

bagaimana kondisi di bawah permukaan untuk bisa memperoleh informasi mengenai bentuk, ukuran, serta dimensi endapan cadangan yang akan ditambang. Perhitungan estimasi sumberdaya juga berperan penting dalam perhitungan jumlah, tonase, dan kadar dari suatu endapan cadangan bijih (Maharza dan Octova., 2018).



Gambar 1 Lapisan endapan nikel laterit (Prasetyo, 2016)

Berdasarkan jenis produk nikel yang beredar dipasaran Indonesia, terdapat empat jenis produk hasil produksi nikel berdasarkan proses pembuatannya yaitu sebagai berikut (Arif, 2018):

1. Bijih Nikel (*nickel ore*)

Bijih nikel ini merupakan nikel yang masih murni tanpa proses apapun karena belum melalui proses pengolahan lebih lanjut, sehingga masih belum bisa dipasarkan.

2. Nikel matte (*nickel matte*)

Nikel matte merupakan salah satu produk utama yang diproduksi di Indonesia dan bisa mencapai 5% terhadap kebutuhan nikel dunia. Penghasil Nikel matte dari Indonesia diproduksi oleh PT Vale Indonesia, Tbk yang berada di Sorowako, Sulawesi Selatan. PT Vale Indonesia, Tbk memiliki pabrik yang mampu untuk mengolah dan memurnikan bijih *nickel matte*.

3. Feronikel (*ferronickel*)

Feronikel yaitu proses pirometalurgi yang mengolah bijih nikel dengan kadar tinggi (saprolit). Di Indonesia, Feronikel diproduksi oleh PT Aneka Tambang, yang kandungan nikelnya berkisar 20% dengan kandungan besi 80%. l dari produk feronikel dapat dihasilkan dalam bentuk butiran (*shots*) dan ingan (*ingots*), dengan kandungan karbon kadar tinggi atau kadar rendah.



Hasil dari produk feronikel digunakan sebagai bahan baku produksi baja nirkarat.

4. *Nickel Pig Iron* (NPI)

Nickel pig iron merupakan feronikel dengan kadar rendah yang saat ini dikembangkan di Tiongkok untuk menghasilkan nikel murni demi keperluan produksi baja yang tahan karat. Produksi *nickel pig iron* menggunakan bijih nikel laterit untuk bisa menggantikan nikel dengan kadar tinggi yang biasa dijual di pasar dunia.

Nikel banyak dimanfaatkan di berbagai bidang salah satunya di bidang industri karena logam ini dapat dipadukan dengan logam lain seperti timbal, tembaga, emas, kromium, aluminium, besi, kobalt, perak, dan beberapa unsur lainnya. Sehingga industri pengolahan nikel bisa berkontribusi dengan industri lainnya. Berdasarkan logam paduannya, nikel bisa diklasifikasikan menjadi tiga yaitu (Arif, 2018):

1. Logam paduan dengan bahan besi (*ferrous alloys*)

Ferrous alloys di antaranya seperti *stainless steels*, *low alloy steels*, *cast irons*, dan baja khusus lainnya. Biasanya produk tersebut dimanfaatkan pada teknik kelautan, pabrik kimia, pembuatan koin, turbin, dan berbagai industri lainnya.

2. Logam paduan bahan bukan besi (*non-ferrous alloys*)

Logam paduan bukan besi begitu banyak digunakan adalah paduan tembaga (*copper alloys*), seperti monel, nikel perunggu (*nickel brasses*), dan kuningan (*bronzes*).

3. Logam paduan bahan nikel (*nickel-base alloys*)

Logam paduan bahan ini terbuat dari nikel untuk melakukan produksi.

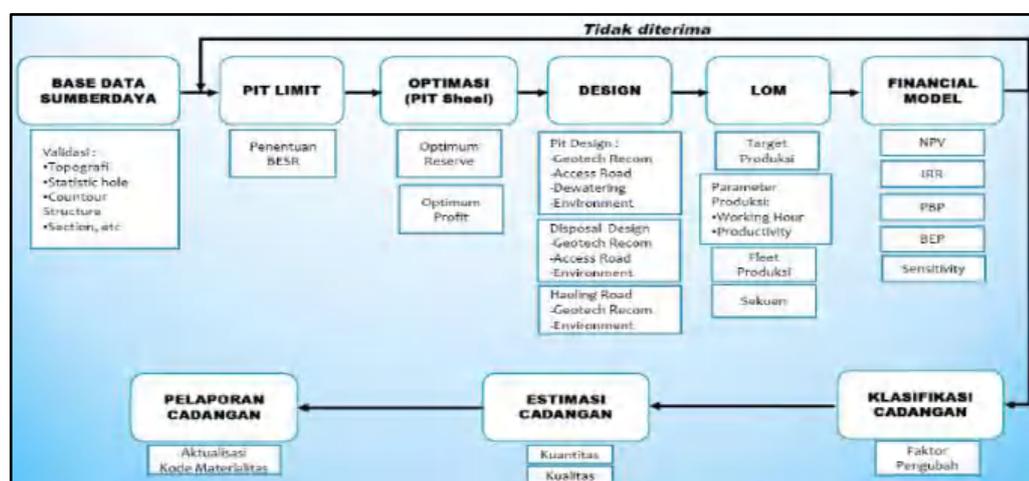
2.2 Perencanaan Tambang

Perencanaan tambang merupakan kegiatan penambangan yang dilakukan berdasarkan urutan kegiatan penambangan. Tujuan dilakukannya yaitu untuk mencapai tujuan dan sasaran utama dari kegiatan penambangan yang dilakukan.



yang dilakukan seperti estimasi sumberdaya dan cadangan, studi 1 tambang, perencanaan tambang, kajian ekonomi, serta studi lingkungan (Anshari dkk., 2023).

Tujuan utama dari perencanaan tambang yaitu optimalisasi produksi jangka panjang yang harus dilakukan untuk menentukan seberapa lama umur tambang, bagaimana tahapan tahapan dalam melakukan pengolahan mineral, serta pengelolaan limbah untuk bisa memaksimalkan keuntungan ekonomi yang sejalan dengan memperhatikan aspek lingkungan. Perencanaan jangka panjang juga harus mempersiapkan kapasitas pabrik pengolahan, potensi ekspansi, serta strategi investasi manajemen. Perencanaan ini akan membuat kegiatan penambangan menjadi lebih optimal dengan menghindari kerugian dan memaksimalkan keuntungan (Eugene *et al.*, 2016).



Gambar 2 Diagram tahapan estimasi cadangan (Rifandy dan Sutan, 2018)

Perencanaan tambang memiliki tiga tahapan penting, yaitu tahap pemodelan geologi, perencanaan jangka panjang (*long-term planning*) dan perencanaan jangka pendek (*short-term planning*). Perencanaan tambang, pemodelan sumberdaya, data-data geotek, data hidrogeologi, dan data reklamasi penambangan merupakan dasar dari ilmu geologi. Perencanaan jangka panjang akan mengarah pada *feasibility study* sedangkan untuk perencanaan jangka pendek akan mengarah pada tahapan perencanaan operasional penambangan untuk bisa mencapai perencanaan jangka panjang yang sudah dibuat sebelumnya (Rifandy dan Sutan, 2018).

Tahapan tahapan untuk melakukan perencanaan tambang yaitu sebagai berikut (Wijaya dkk., 2012):



masi *Pit*

masi *pit* merupakan tahapan awal untuk membuat desain batas akhir mbangan dengan mempertimbangkan beberapa faktor. Faktor

pertimbangan itu seperti faktor teknis, faktor geoteknik seperti (sudut lereng tambang aman, jenjang), faktor ekonomi seperti (harga jual komoditas tambang, biaya penambangan, dan kewajiban finansial perusahaan tambang terhadap pemerintah).

2. Perencanaan Produksi

Perencanaan produksi dilakukan setelah diketahui jumlah estimasi cadangan tertambang, dimana dilakukan penetapan *pushback* dan *sequence*. Tahapan selanjutnya setelah perencanaan produksi dilakukan yaitu dengan menentukan faktor ekonominya seperti penentuan indikator seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *payback period* (PBP).

3. Penetapan BESR

Pembuatan desain *pit* harus memerlukan perhitungan BESR untuk menentukan seberapa besar ratio pada *increment* tambang terakhir sepanjang *pit wall*. BESR diaplikasikan pada permukaan dari *final pit*, jika melewati batasnya maka tidak diperoleh keuntungan dalam usaha penambangan tersebut. Setelah nilai BESR diperoleh, BESR yang optimal akan digunakan untuk bisa mengetahui batas *pit* penambangan yang optimal dengan menghitung dan memaksimalkan nilai NPV.

Menurut Sasongko (2009), rumus penentuan BESR yang memperhitungkan aliran kas yaitu sebagai berikut:

$$BESR = \frac{(1-x)I - C_t}{C_{sw}} \dots\dots\dots(1)$$

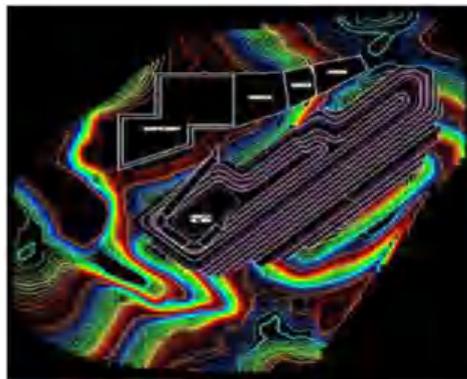
Dimana:

- I = Harga jual bijih per ton
- x = Iuran produksi 13,5%
- C_t = Biaya produksi bijih per ton
- C_{sw} = Biaya pengupasan material penutup per BCM

Rancangan konsep biasanya digunakan untuk perhitungan teknis dan penentuan tahapan hingga tahap studi kelayakan (*feasibility study*), sedangkan rancangan rekayasa digunakan sebagai acuan dari pelaksanaan kegiatan aktual di . Kegiatan tersebut meliputi rancangan batas akhir tambang, tahapan ngan (*mining phases pushback*), penjadwalan produksi dan material



buangan (*waste*). Rancangan rekayasa tersebut biasanya dibuatkan rancangan bulanan, rancangan mingguan, dan rancangan harian (Konsultan Karya Jaya, 2024).



Gambar 3 Perencanaan dan desain tambang (Konsultan Karya Jaya, 2024)

Penetapan persyaratan, spesifikasi, dan kriteria teknis yang terperinci dan pasti merupakan esensi dari sebuah rancangan, yang bertujuan mencapai tujuan dan sasaran suatu kegiatan, beserta dengan langkah-langkah teknis pelaksanaannya. Dalam industri pertambangan, terdapat juga konsep desain tambang (*mine design*) yang mencakup kegiatan-kegiatan serupa dengan perencanaan tambang, namun dengan tingkat informasi yang lebih tinggi dan biasanya terdapat dua tingkat rancangan yang berbeda, yaitu sebagai berikut (Konsultan Karya Jaya, 2024):

1. Rancangan konsep (*conceptual design*), adalah sebuah konsep awal atau dasar rancangan yang disusun dengan merinci analisis dan perhitungan secara kasar, baru kemudian dinilai dari beberapa aspek yang krusial. Rancangan ini akan diperluas dan disesuaikan dengan kondisi nyata di lapangan.
2. Rancangan rekayasa atau rekacipta (*engineering design*), adalah Merupakan kelanjutan dari konsep rancangan, rancangan ini telah dirinci secara menyeluruh berdasarkan data dan informasi yang diperoleh dari penelitian laboratorium dan literatur, serta dilengkapi dengan hasil pemeriksaan kondisi di lapangan.

2.3 *Bench* pada Tambang Terbuka



Open pit merupakan salah satu metode penambangan terbuka. Metode ini un pengupasan terlebih dahulu terhadap lapisan tanah penutup kemudian ung *ore*-nya. Penambangan dengan metode *open pit* akan melakukan an material dengan membentuk *bench* atau jenjang (Fianti dkk., 2020).

Bench pada tambang terbuka harus dalam keadaan stabil. Dalam definisi *bench*, ada dua gaya yaitu penahan dan penggerak. Gaya penahan merupakan gaya yang menahan *bench* dari massa suatu pergerakan. Apabila gaya penahan yang bekerja lebih besar daripada gaya penggerak maka kondisi *bench* akan dalam keadaan stabil. Sedangkan apabila gaya penahan yang bekerja lebih kecil daripada gaya penggerak maka kondisi *bench* akan dalam keadaan tidak stabil. Faktor keamanan (FK) akan menjadi perbandingan antara gaya penahan dan gaya penggerak (Simbolon dkk., 2020). Kestabilan lereng selalu dianggap penting karena keruntuhan sekecil apapun dapat menimbulkan kerugian finansial dan dapat membahayakan pekerja di sekitar. Sehingga kemiringan lereng perlu dianalisis dengan cermat sebelum ataupun setelah konstruksi (Ullah *et al.*, 2020). Terkait *bench* pada penambangan terbuka, maka perlu diperhatikan beberapa hal yaitu sebagai berikut:

2.3.1 Geometri *Bench*

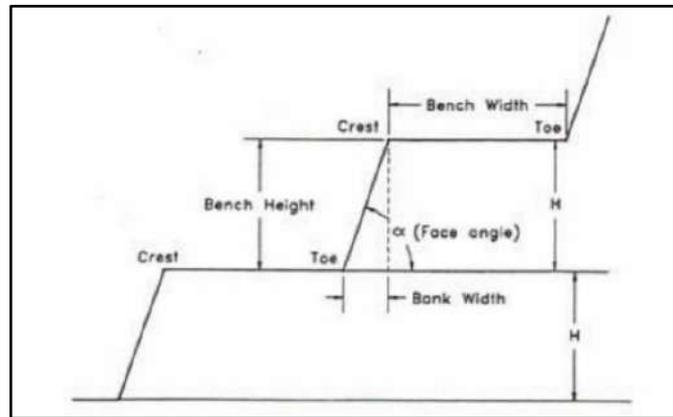
Penentuan geometri jenjang (*bench*) memerlukan pertimbangan yang baik untuk menentukan datanya, seperti data produksi harian dan tahunan, ukuran alat mekanis, penyesuaian dengan *ultimate pit slope*, dan berdasarkan kriteria *slope stability*. Parameter penting dalam pembuatan desain jenjang terdiri dari tinggi, lebar dan kemiringan yang menentukan dimensinya dipengaruhi oleh (Abdillah, 2017):

1. Spesifikasi alat (alat gali dan alat angkut)
2. Kondisi geologi
3. Sifat fisik batuan
4. Selektivitas pemisahan yang diharapkan antara bijih dan buangan
5. Laju produksi
6. Iklim

Geometri *bench* terdiri dari beberapa parameter seperti tinggi *bench*, lebar *bench* dan panjang *bench*. Parameter lain seperti puncak *bench* (*crest*), kaki *bench* (*bench face*), sudut lereng (α) dan *bank width*. Jarak vertikal dan horizontal pada *pit* disebut tinggi jenjang, sementara jarak horizontal di tempat dilaksanakannya seluruh aktivitas penggalian, pemuatan, dan



pengeboran-peledakan dikenal sebagai lebar jenjang. Sudut lereng jenjang disebut sebagai kemiringan jenjang. Ketinggian maksimum jenjang diusahakan agar sesuai dengan tipe alat muat yang digunakan, sehingga bagian puncaknya dapat dijangkau oleh alat muat tersebut (Abdillah, 2017) (Abdillah, 2017).



Gambar 4 Bagian *bench* (Abdillah, 2017)

2.3.2 *Pit Slope Geometri*

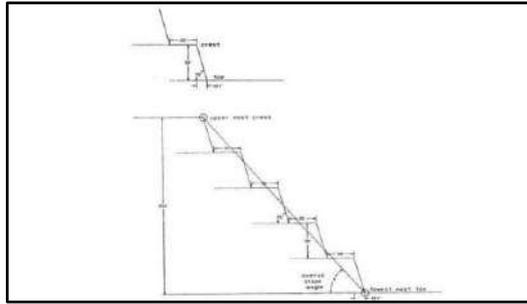
Prinsip umum dalam merancang kemiringan lereng, sebagaimana dijelaskan oleh Hoek dan Bray, adalah menghasilkan desain akhir yang optimal. Desain tersebut harus mencocokkan kemiringan standar yang digunakan dan tetap ekonomis. Kedua aspek desain ini harus dipertimbangkan dalam perencanaan kemiringan tambang terbuka. Salah satu pendekatan dalam merancang kembali kemiringan adalah dengan membuat lereng cukup datar untuk memastikan faktor keselamatan, sebagaimana yang dijelaskan oleh Hoek dan Bray (Utami dan Bali, 2019).

Tambang terbuka mempunyai dua jenis *slope* yaitu *individual slope* dan *overall slope* yang dapat dilihat pada Gambar 4. Adapun jenis jenis lereng bukaan tambang (*pit slope*) yaitu sebagai berikut (Hidayatullah dkk., 2018):

1. *Single slope* yaitu lereng tunggal yang tersusun hanya satu jenjang (*bench*) yang mempunyai bagian seperti tinggi lereng (sama dengan tinggi *bench*), sudut lereng, kaki lereng (*toe*), dan siku lereng (*crest*).
2. *Inter-ramp slope* yaitu lereng yang terletak antara jalan tambang, biasanya tersusun dari beberapa jenjang (*benches*).



ng keseluruhan (*overall pit slope*) merupakan lereng yang terbentuk dari in *crest* teratas dan *toe* terbawah, dimana total dari tinggi lereng sama an kedalaman bukaan tambang.



Gambar 5 *Individual slope* (atas), *overall slope* (bawah) (Abdillah, 2017)

2.3.3 Ramp

Jalan tambang adalah sarana yang sangat penting demi kelancaran produksi dan untuk menentukan seberapa besar biaya penambangan. Pembangunan jalan tambang harus dilakukan dengan baik untuk memenuhi persyaratan teknis dan standar keselamatan kerja. Meskipun konstruksi jalan tambang pada dasarnya hamper sama dengan konstruksi jalan darat umum, termasuk penggunaan rambu-rambu jalan dan lampu jalan, namun permukaan jalan tambang jarang ditutupi dengan aspal atau beton. Sebaliknya, jalan tambang hanya diperkeras dan secara teratur dirawat dengan baik agar tidak mudah bergelombang atau berlubang (Rivandy dan Noor, 2015).

Mine haul road merupakan salah satu bagian penting yang mendukung keberhasilan tambang. Desain *mine haul road* yang efisien sangat penting karena biaya pengangkutan bijih dan limbah sangat bergantung pada hasil desain jalan. Volume material timbunan (*fill*) dan galian (*cut*) merupakan hasil dari desain *new road* dan *existing road* (Shafira *et al.*, 2022).

Kondisi jalan harus disesuaikan dengan spesifikasi alat karena akan sangat mempengaruhi kenyamanan operator alat gali-muat dalam melintasi atau melewati jalan tambang, adanya potensi terjadinya kecelakaan tambang, dan mengurangi tingkat produktivitas dari umur alat. Jalan tambang sering dilalui oleh alat berat yang menggunakan *crawler track* seperti, *track loader*, *bulldozer*, dan *excavator*. Sehingga harus dibuatkan geometri jalan yang sesuai dengan standar yang berlaku, pemiringan *grade* yang sesuai, tahapan pengerasan jalanan, dan standar yang baik (Aldiyansyah dkk., 2016).

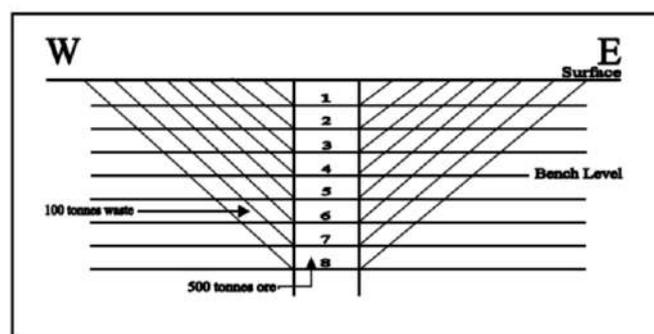


Perencanaan geometri jalan harus memperhatikan keadaan topografi terhadap pembukaan jalan yang dilakukan dengan memperhatikan spesifikasi alat

yang akan lewat selama pada kegiatan penambangan. Pelaksanaan kegiatan penambangan harus didukung dengan kondisi jalan yang baik, sehingga diperlukan perencanaan geometri jalan yang baik. Penentuan standar jalan mengacu pada Kepmen ESDM 1827 Tahun 2018, AASTHO, dan spesifikasi pada alat angkut terbesar yang akan lewat pada jalur penambangan. Kondisi jalan yang baik mampu meningkatkan hasil produksi, efektifitas kerja alat angkut, dan kenyamanan bagi operator alat angkut. Sedangkan kondisi jalanan yang tidak baik akan menjadi penyebab terjadinya kecelakaan kerja yang bisa berakibat tidak tercapainya target produksi perusahaan karena kegiatan produksi yang bisa terhambat (Sahrul dkk., 2023).

2.4 Optimasi *Pit Limit*

Optimasi *pit* merupakan menentukan batas akhir yang optimal untuk ditambang dimana batas ini digunakan untuk menentukan perhitungan cadangan tertambang (Wijaya dkk., 2012). Kennedy 1990 menjelaskan bahwa optimasi *pit* adalah usaha menambang blok dengan geometri *slope* tertentu untuk memperoleh menghasilkan geometri yang paling optimal. Whittle merupakan contoh sederhana perangkat lunak dalam optimasi *pit*, dimana topografi datar dengan bentuk empat persegi panjang dan tubuh bahan tambang penyebaran vertikal dapat dilihat pada Gambar 5 (Rifandy dan Sutan, 2018).



Gambar 6 Optimasi *pit* pada endapan cadangan (Rifandy dan Sutan, 2018)

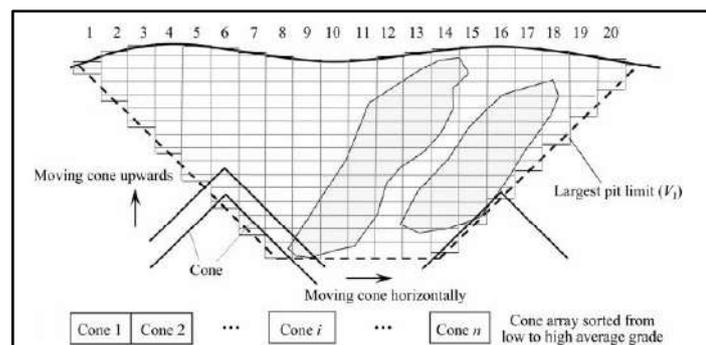
Waste dan *low grade* dianggap bernilai negatif atau bukan *ore* dan tidak diambil untuk bisa mendapatkan *pit* yang optimal, dimana harus tetap atikan nilai *Net Present Value* (NPV). Model blok dalam bentuk *section* a komoditas nikel saat ini menjadi dasar perhitungan untuk optimalisasi Proses optimalisasi *pit* telah menjadi langkah krusial yang diperlukan



ketika menghadapi kendala, membantu mengidentifikasi sumber daya atau cadangan yang paling efisien, dan menentukan batas penambangan agar mencapai tingkat pengembalian maksimum (Rahmi dan Yulhendra, 2019).

Pertimbangan teknis dalam optimasi *pit* mencakup sudut lereng tambang yang aman dan kondisi geologi, sementara pertimbangan ekonomi yaitu harga jual komoditas tambang, biaya penambangan, kewajiban finansial perusahaan tambang terhadap pemerintah, faktor lingkungan, infrastruktur, pengolahan, hukum, dan sosial. Tujuan dari optimalisasi *pit* adalah menetapkan batas akhir tambang yang digunakan sebagai batas keruangan dalam estimasi cadangan yang sudah diekstraksi. Langkah berikutnya adalah perencanaan produksi, yang melibatkan aktivitas seperti perencanaan tahapan tambang (*pushback*), urutan tambang, dan penjadwalan produksi tambang. Tahapan terakhir proses perencanaan tambang adalah menentukan cadangan dengan menghitung indikator ekonomi (*financial economic model*) seperti nilai sekarang bersih atau *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *payback period* (Rifandy dan Sutan, 2018).

Optimasi *pit* memiliki tujuan untuk menentukan batas tambang terbaik dan memperhitungkan cadangan optimum yang memberikan keuntungan ekonomi. Metode yang sering digunakan dalam optimasi *pit* adalah kerucut mengambang (*floating cone*). Metode ini dianggap dapat menentukan batas bukaan yang paling optimal untuk memperoleh bahan galian (Rifandy dan Sutan, 2018).



Gambar 7 Metode *floating cone* pada pembuatan *bench* pada *pit* (Xu et al., 2021).

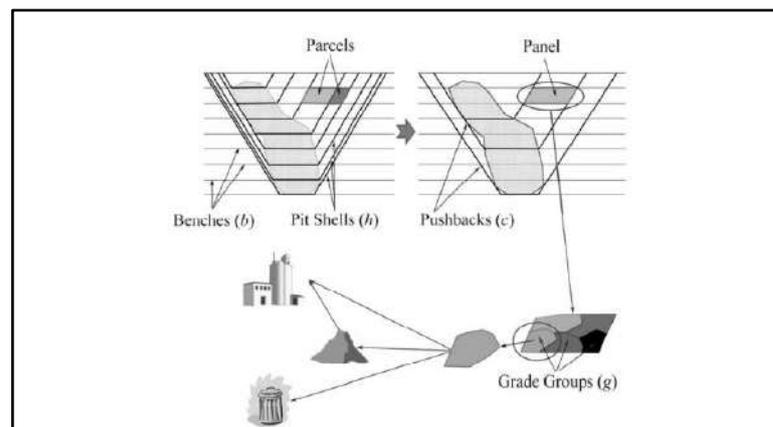
Penggunaan metode *floating cone* masih kurang umum untuk digunakan dengan metode *Leach-Grossman* karena metode memilih nilai NPV tertinggi sebagai acuan dalam metode optimasi. Tetapi metode *floating cone* ini masih dapat digunakan karena memberikan solusi dalam kegiatan



optimasi serta lebih sederhana untuk digunakan. Selain itu, pembuatan batas akhir penambangan di berbagai *bench* dapat diterapkan dengan sempurna dengan menggunakan metode ini (Rifyan dkk., 2023).

2.5 *Pit shell*

Pit shell ditentukan pada suatu proses optimasi untuk memaksimalkan profit atau keuntungan. Sebelum penentuan *pit shell*, langkah awal yang dilakukan yaitu penentuan *pit limit* terlebih dahulu dilakukan untuk melakukan perancangan desain dan arah penambangan. *Pit shell* adalah kumpulan garis atau kontur yang menggambarkan batas atas dan bawah dari suatu wilayah tambang terbuka. Garis atas *pit shell* mengindikasikan ketinggian maksimum dari galian yang dapat diambil secara ekonomis, sementara garis bawah *pit shell* menunjukkan batas terendah dari area yang masih berisi bahan galian yang dapat diambil secara ekonomis (Tekno minerba, 2024).



Gambar 8 Skema proses *pit shells* dan *pushback* (Elkington & Durham, 2011)

Metode grafis, penambangan terbatas, dan optimasi matematis biasanya dilakukan untuk penentuan *pit shell* yang optimal. Metode yang paling sering dilakukan yaitu metode optimasi matematis seperti *integer programming*, *linear programming*, dan *mixed integer linear programming*. Penentuan desain *pit shell* dilakukan dengan beberapa faktor pertimbangan sebagai berikut (Tekno minerba, 2024):



me serta kualitas bahan galian yang akan diekstraksi,
a operasional penambangan
or lingkungan

4. Peraturan pemerintah yang berlaku
5. Lingkungan, hukum, dan peraturan yang berlaku

Pit shell merupakan serangkaian bentuk penambangan dari tambang terbuka yang bertujuan memaksimalkan arus kas, dengan memperhatikan beberapa parameter seperti kemiringan lereng, pendapatan, dan parameter biaya. Oleh karena itu, algoritma seperti *Lerchs-Grossman* seringkali digunakan dalam pembuatan *pit shell*. *Shell pit* umumnya dihasilkan melalui proses penyesuaian harga atau biaya. Batas-batas dari *shell pit* ini kemudian digunakan sebagai *pushback* tengah atau sketsa dari batas *pit*. Sebuah *pushback* merupakan ekspansi bertahap dari garis *pit*, direncanakan untuk memastikan kegiatan penambangan mencapai material bijih pada kedalaman tertentu sesuai dengan prosedur kemiringan lereng. Perencanaan *pushback* diatur seiring berlangsungnya operasi penambangan, dengan tujuan memaksimalkan ekstraksi bijih dan meminimalkan pengambilan *waste* (Elkington & Durham, 2011).

Strategi perencanaan tambang terbuka melibatkan serangkaian langkah dalam pembuatan *shell pit*, penentuan batas akhir *pit*, seleksi *pushback*, penentuan kapasitas produksi, penjadwalan tambang, menetapkan *cut-off grade*, dan melakukan optimasi *stockpile*. Metodenya relatif baru dan dapat diselesaikan dalam dua tahap. Pembuatan *shell pit* melibatkan penciptaan rentang harga yang berperan sebagai langkah pemrosesan geometris dalam merancang *pushback* dan menetapkan sketsa batas *pit*. Tahap kedua melibatkan pemilihan *pushback* dari *pit shells* yang telah dibuat sebagai bagian dari formulasi penjadwalan, yang menggabungkan pengurangan peringkat dan optimasi stok secara implisit. Kapasitas produksi diperlakukan sebagai variabel keputusan dalam formulasi tersebut dan dapat ditingkatkan seiring waktu dengan mempertimbangkan faktor biaya (Elkington & Durham, 2011).

Metode *bench* menggabungkan *bench* secara berurutan hingga ke elevasi terendah, dimana optimalisasi yang dihasilkan akan memunculkan sketsa *pit limit*. Penggunaan teknik ini pada awalnya hanya akan melakukan optimasi pada *benches*

ptimasi selanjutnya akan berurut ke bawah sesuai dengan model blok yang ekonomis untuk ditambang, dan pada elevasi terendah akan membentuk. Selanjutnya, dibuatkan desain *bench* terhadap batas garis dari hasil *pit*



shell, sehingga pembuatan *bench* tiap elevasi akan membentuk *pit limit* yang optimal untuk ditambang (Nasab and Offei., 2009).

2.6 Desain *Pit Limit*

Perusahaan pertambangan di Indonesia kebanyakan menggunakan metode tambang terbuka pada proses penambangannya. Penambangan metode tambang terbuka merupakan kegiatan penggalian material baik itu *overburden* maupun *ore* yang langsung berhubungan langsung dengan udara luar. Metode ini sangat sesuai digunakan untuk *ore bodies* yang melintang horizontal dekat permukaan sehingga memungkinkan tingkat produksi yang tinggi dengan *cost* yang rendah. Sehingga untuk membuat rancangan produksi pada metode penambangan terbuka dibutuhkan desain *pit* untuk kegiatan operasional penambangannya (Fadli dkk., 2015).

Perancangan *pit* penambangan dibuat untuk menentukan lubang bukaan penambangan yang optimal untuk ditambang. Desain *pit* ini digunakan untuk menentukan bentuk, ukuran, dan volume endapan mineral sehingga kegiatan penambangan akan bergantung pada bentuk dan arah persebaran mineralnya. Mineral dengan persebaran yang luas akan menimbulkan bukaan *pit* yang luas pula. Perencanaan tambang juga digunakan untuk memperkirakan wilayah yang memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi lubang penambangan (Fahmi *et al.*, 2024).

Desain dari perencanaan pada tambang terbuka harus meminimalisir biaya sebelum lokasi penambangan dibuka. Perancangan desain *pit* perlu dibuatkan pemodelan terhadap sebaran cadangan untuk memudahkan kegiatan penambangan. Perancangan penambangan jangka menengah pada komoditas nikel laterit berbeda dengan komoditas batubara. Perbedaan ini disebabkan karena kondisi geologi jenis bahan galian yang berbeda (Munir dkk., 2023).

Aspek penting dalam perencanaan tambang adalah perancangan *pit* tambang. Tahapan perencanaan *pit* dilakukan setelah tahap eksplorasi serta konseptual. Unsur penting dalam perancangan desain *pit* penambangan yaitu penentuan *pit limit* dan bentuk dari desain *pit*. Hal terpenting yang harus diperhatikan *sain pit* pada metode penambangan terbuka yaitu geometri *bench* seperti *ari tinggi bench*, *lebar berm*, kemiringan lereng, dan Panjang *bench*



minimum pada saat penambangan. Penentuan geometri *bench* ini juga mempertimbangkan target produksi bulanan dan tahunan serta unit alat berat yang akan digunakan untuk kegiatan operasional penambangan (Pranajati dan Ananda., 2023).

Perhitungan cadangan tertambang dan desain *pit limit* penambangan menjadi hal yang sangat penting dalam rencana pembukaan *pit* baru. Untuk penentuan batas penambangan (*pit limit*) harus memperhitungkan batas dari nilai *stripping ratio* yang ekonomis untuk ditambang. Selain parameter *stripping ratio*, penentuan batas penambangan ini juga menggunakan parameter perhitungan *economy stripping ratio* (ESR) (Pardosi dkk., 2020).

Penentuan *pit* hasil optimasi yaitu dengan memilih daerah yang memiliki potensi untuk pembuatan desain *pit*. Penentuan ini menjadi awal untuk bisa mengevaluasi cadangan *ore*. Beberapa parameter yang bisa mempengaruhi *pit limit* untuk bisa menentukan cadangan tertambang yaitu bentuk geometri lereng, nilai *stripping ratio* yang berfungsi sebagai Batasan, penyelidikan geoteknik, dan kondisi topografinya. *Stripping ratio* merupakan cara yang digunakan untuk efisiensi geometri penambangan. Perbandingan antara volume *overburden* dan *ore* yang dikupas disebut dengan *stripping ratio*. Nilai dari *break even stripping ratio* (BESR) juga digunakan untuk menentukan perluasan daerah *pit* penambangan (Nashita dkk., 2023).

Pertimbangan ekonomi juga menjadi parameter penting dalam perencanaan desain *pit*. Data dari parameter ekonomi mencakup seperti nilai dari endapan *ore* dalam satuan ton, biaya produksi, biaya pengupasan *overburden*, serta keuntungan dari nilai *stripping ratio* yang ekonomis. Selain pertimbangan ekonomis, terdapat juga pertimbangan teknis dalam perencanaan *ultimate pit limit*, batas, dan ukuran maksimum dari kedalaman saat tambang *mine out*. Parameter lain seperti dimensi *bench* seperti kaki lereng (*toe*), sudut muka *bench* (*face angle*), puncak lereng (*crest*) dan geometri jalan tambang seperti kemiringan jalan, super elevasi, jari-jari belokan, jumlah jalur, *cross slope*, lebar jalan, penentuan mekanis alat berat yang at, serta kondisi geologi di lapangan (Nashita dkk., 2023).



encanaan desain *pit* membutuhkan beberapa parameter untuk penentuannya seperti, batas akhir tambang, desain *pit*, desain *bench*, dan penentuan

cadangan tertambangnya. Parameter ini dijadikan acuan dalam menunjang kegiatan penambangan yang optimal sehingga diperlukan perencanaan yang terencana dan terarah sehingga dapat mencapai potensi yang optimal. Perancangan awal tambang ini yaitu pembuatan desain *pit* akan mengetahui seberapa besar potensi *ore* yang disesuaikan dengan perbandingan *stripping ratio*, serta *benchs* yang mengikuti geometri yang sudah direkomendasikan agar lebih aman untuk bisa diaplikasikan secara aktual di lapangan (Wardani dkk., 2021).

Desain *pit limit* dilakukan berdasarkan algoritma dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *whittle. Software* ini menggunakan parameter teknis dan parameter ekonomi untuk melakukan optimasi *pit*-nya. Model blok yang berisi atribut di ekstrak ke perangkat lunak dengan penambahan pengaruh biaya dan teknis. Untuk mengetahui blok optimasi yang dibuat sudah sesuai, maka model blok hasil optimasi dihitung karena model blok yang dihasilkan selain memiliki atribut ekonomi dan teknis juga mempunyai atribut biaya (Nasab and Offei., 2009).

2.7 Mine Scheduling

Kegiatan penambangan akan sangat membutuhkan perencanaan dan perancangan tambang. Perencanaan dalam pertambangan mencakup desain *pit limit*, tahapan *sequence* penambangan, urutan kegiatan penambangan dalam periode tahunan dan periode bulanan, serta penjadwalan dan produksi penambangan. Penentuan penjadwalan produksi dilakukan untuk penentuan produktivitas dan pemilihan alat angkut dan alat muat, kapasitas produksi, dan penentuan jumlah fleet alat angkut untuk bisa mencapai target produksi perusahaan (Tamrin dan Yulhendra, 2022).

Penjadwalan produksi pada tambang terbuka untuk perencanaan jangka panjang adalah tugas yang wajib dilakukan sebelum melakukan kegiatan operasional penambangan. Setiap blok material tertambang harus dibuatkan *scheduling* untuk bisa diketahui *material movement* tiap periode. Tujuannya untuk memaksimalkan *net present value* pada saat kegiatan penambangan berlangsung. Pembuatan *mine scheduling* harus berdasarkan beberapa parameter seperti

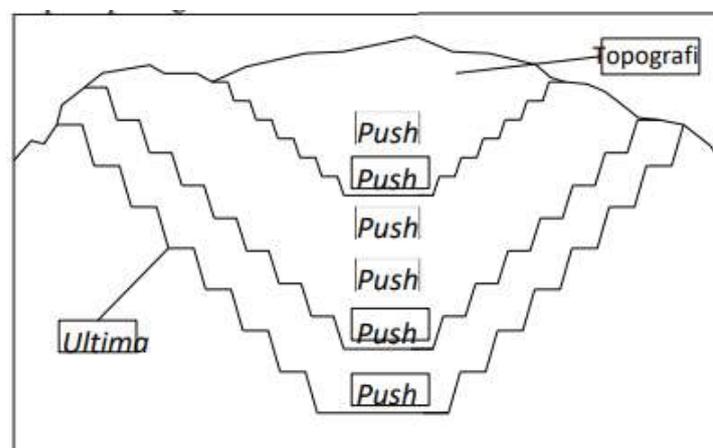
produktivitas alat gali-muat dan kemiringan lereng (Morales *et al.*, 2015). yanto (2005) menjelaskan bahawa penjadwalan produksi adalah n jumlah material tertambang untuk dipindahkan dari *pit* ke lokasi lain



pada setiap periode waktu. Parameter waktu yang biasa digunakan dalam penjadwalan produksi penambangan adalah dalam satu tahun. Target produksi biasanya dinyatakan dalam ton atau m^3 /tahun, dan biasanya dalam satuan waktu terkecil yaitu ton per hari atau ton per jam. Rancangan ini bertujuan untuk bisa mencapai tujuan produksi yang sudah ditentukan sebelumnya (Isti dkk., 2023).

Kegiatan penambangan memerlukan pemodelan, perhitungan cadangan, serta perencanaan teknis kegiatan penambangan selaku tahapan awal sebelum semua tahapan penambangan lainnya dilakukan. Pembuatan penjadwalan produksi dan rancangan *sequence* penambangan bertujuan untuk bisa membuat besaran target produksi, *mine scheduling*, dan desain *sequence* penambangan. *Mine scheduling* ini menjadi faktor yang sangat penting dalam kegiatan penambangan karena target dalam penjadwalan produksi akan menjadi penentu seberapa besar keuntungan pada tiap kegiatan penambangan dalam satu periode. Sehingga target produksi yang dirancang harus sesuai dengan jumlah pemasaran yang sudah disesuaikan dengan jumlah cadangan yang dimiliki. Setelah mengetahui seberapa besar target permintaan pasar, maka harus dilakukan pemilihan alat angkut dan alat muat yang dibutuhkan (Arianto dkk., 2020).

Pushback adalah tahapan penambangan yang menampilkan bentuk endapan yang akan ditambang dari awal titik penambangan hingga pada akhir titik penambangan. Setiap tahapan ini harus dirancang dengan baik untuk bisa memudahkan akses ke semua lokasi penambangan. Tahapan ini juga berguna untuk menyediakan tempat galian yang cukup baik agar alat muat dan alat angkut bisa beroperasi dengan efisien, seperti pada gambar di bawah (Isti dkk., 2023).



Gambar 9 *Cross-section pushback* pada suatu rancangan penambangan (Isti dkk., 2023)



Perencanaan tambang merupakan penentuan teknis dalam pelaksanaan kegiatan penambangan dan penentuan dalam tahapan pelaksanaan untuk bisa mencapai tujuan kegiatan. Perencanaan merupakan bagian dari kegiatan perencanaan yang berkaitan dengan beberapa aspek seperti aspek geometri termasuk batas akhir penambangan, tahapan kegiatan penambangan, serta penjadwalan produksi. Tujuan dari penjadwalan produksi yaitu untuk bisa menentukan seberapa besar keuntungan yang optimal untuk bisa ditambang yang diatur dalam produksi tiap periode. Pembuatan penjadwalan produksi ini dilakukan secara konvensional dengan berbagai scenario dalam penjadwalan produksi kemudian memilih skenario yang paling menguntungkan berdasarkan keuntungan yang diperoleh. Penjadwalan produksi pada pertambangan memberikan informasi mengenai volume perbandingan antara *waste* dan *ore* yang akan diproduksi sesuai dengan periode tahunan maupun periode bulanan. Target produksi merupakan sejumlah tonase bahan galian tertambang yang menjadi acuan dalam kegiatan penambangan. Target produksi ini harus tercapai tiap tahunnya karena apabila tidak tercapai, maka akan mempengaruhi perencanaan keuangan perusahaan (Fahmi dan Zaenal, 2022).

Penjadwalan produksi dibagi menjadi 2 berdasarkan rentang waktunya, yaitu sebagai berikut (Putra dkk., 2019):

1. *Long term*, merupakan penjadwalan produksi dalam rentang waktu satu sampai lima tahun. Untuk mencapai *long term* pada tahun awal, maka harus direncanakan dengan perencanaan *short term* (bulanan). Pertimbangannya seperti kemampuan alat hingga kemajuan tambang hingga periode tahun pertama tercapai, sehingga harus dilakukan perencanaan awal yang baik.
2. *Short term*, merupakan penjadwalan produksi dalam rentang waktu satu sampai lima bulan. Pertimbangan *short term* harus dilakukan dengan baik karena perencanaan yang buruk akan berpengaruh terhadap target produksi. Perhitungan volume yang salah akan menyebabkan adanya kelebihan dan kekurangan volume yang menyebabkan produksi tidak tercapai atau tidak
 ii dengan *plan*.



2.8 Sequence Penambangan

Industri pertambangan merupakan industri yang memerlukan biaya dan teknologi yang besar serta resiko yang sangat tinggi. Sehingga perlunya manajemen yang baik sebelum proses kegiatan penambangan dilakukan sehingga akan memaksimalkan keuntungan serta kelancaran operasional dengan tentunya dengan pertimbangan keamanan. Untuk mendukung operasional penambangan dibutuhkan arahan dari perencanaan penambangan berupa tahapan *mining sequence*. Perencanaan desain *sequence* ini digunakan sebagai landasan untuk melakukan kegiatan di lapangan seperti tahapan batas-batas penggalian penambangan yang diatur pada *sequence*, penjadwalan produksi penambangan, dan pengelolaan material *waste*. Rekayasa rancangan tersebut dibagi berdasarkan rancangan *sequence* bulanan, mingguan, dan harian (Sarfin dkk., 2023).

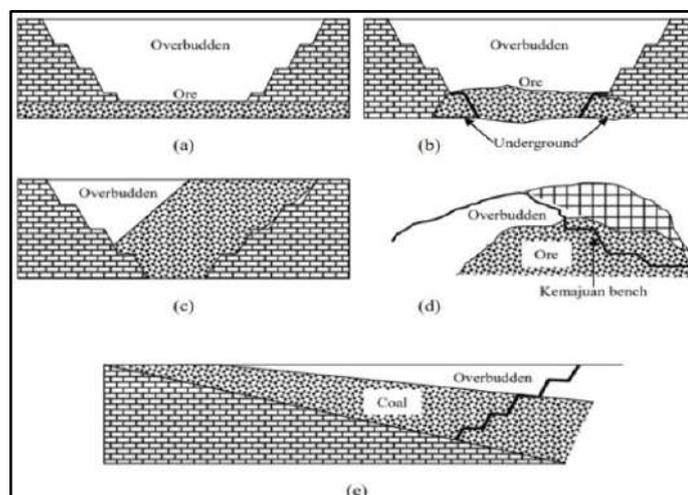
Sequence penambangan adalah tahapan-tahapan penambangan dari awal penambangan hingga akhir penambangan pada bukaan *pit*. Awal perencanaan tambang salah satunya yaitu perancangan desain *pit limit* dan selanjutnya akan dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil berdasarkan pertimbangan *stripping ratio*. *Sequence* pada kegiatan penambangan menjadi gambaran pada kegiatan penambangan dari periode awal hingga periode akhir penambangan hingga berbentuk *pit*. Tujuan dibuatnya *sequence* yaitu untuk membagi volume dari tiap periode penambangan sehingga akan lebih mudah ditangani. Rancangan ini dibuat untuk bisa digunakan sebagai pedoman dalam kegiatan pelaksanaan penambangan dan digunakan sebagai pemilihan kemungkinan terbaik (Indrajaya dkk., 2019).

Tahapan awal penentuan perencanaan yaitu desain *sequence* untuk bisa menentukan estimasi cadangan tertambang pada *pit* sehingga tahapan perencanaan menjadi lebih teratur. Tahapan desain *sequence* ini akan membuat desain *pit*, *ramp*, *hauling road*, dan drainase pada setiap *sequence*-nya. Data yang dibutuhkan dalam pembuatan *sequence* penambangan yaitu data geologi, data geoteknik, data morfologi, dan data nilai BESR yang akan digunakan sebagai acuan untuk bisa menentukan *stripping ratio* setiap periode penambangan (Sarfin dkk., 2023).



uence penambangan merupakan bentuk dari *pit* penambangan tiap periode sehingga istilah dari *sequence* biasanya digunakan sebagai kemajuan dalam periode bulanan ataupun periode mingguan. Pembuatan *sequence*

disesuaikan dengan volume produksi pada suatu periode dan biasanya dari periode bulanan. Menurut Bargawa (2010) menjelaskan bahwa perencanaan *sequence* penambangan adalah bentuk-bentuk dari penambangan untuk bisa menambang cadangan *ore* mulai dari elevasi teratas dari awal penambangan hingga ke elevasi terendah dari batas akhir penambangan. Perancangan *sequence* ini membuat kegiatan tahapan penambangan lebih mudah untuk dilakukan karena membagi *ultimate pit* limit menjadi unit-unit *pit* yang lebih kecil. Sehingga diperlukan perancangan tambang tiga dimensi yang lebih kompleks sehingga dapat dilihat secara langsung modelnya (Arianto dkk., 2020).



Gambar 10 Variasi penambangan *open pit* pada *sequence* penambangan

Rancangan *sequence* penambangan mengacu pada bentuk rancangan desain *pit*. Rancangan desain *pit* ini harus disesuaikan dengan rencana target produksi perusahaan. Dasar penentuan model *sequence* adalah *pit limit* penambangan dengan menggunakan beberapa parameter geoteknik yang sudah ditetapkan perusahaan (Husaini dkk., 2019). Dari hasil rancangan *sequence* penambangan menjadi pedoman untuk bisa menentukan pemilihan alat gali muat dalam pengoperasian kegiatan penambangan. Pembuatan *pit* desain harus memperhatikan spesifikasi alat yang digunakan sesuai dengan kondisi aktual di lapangan, karena ukuran dan spesifikasi alat membuat kegiatan penambangan tidak berjalan secara

Indrajaya dkk., 2019).

