

SKRIPSI

**PERENCANAAN *PIT COMPARTMENT* PADA AREA MAHALONA
SOUTH-WEST DI PT VALE INDONESIA TBK,
KABUPATEN LUWU TIMUR, PROVINSI
SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh

AFRI IFTHIHAR

D62115005



PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PERENCANAAN PIT COMPARTMENT PADA AREA MAHALONA
SOUTH-WEST DI PT VALE INDONESIA TBK,
KABUPATEN LUWU TIMUR, PROVINSI
SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh

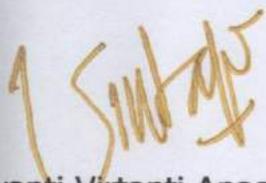
AFRI IFTHIHAR

D62115005

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 28 Desember 2020 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T.
NIDK. 197010052008012026

Pembimbing Pendamping,



Rizki Amalia, S.T., M.T.
NIDK. 8889211019

Ketua Program Studi




Dr. Eng. Purwanto, ST., MT.
NIP. 197111282005011002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Afri Ifthihar
NIM : D62115005
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Perencanaan *Pit Compartment* Pada Area Mahalona

South-West Di Pt Vale Indonesia Tbk,

Kabupaten Luwu Timur, Provinsi

Sulawesi Selatan

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.

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

Makassar, 27 Januari 2021



ABSTRAK

PT Vale Indonesia Tbk (PTVI) merupakan salah satu perusahaan pertambangan nikel terbesar di Indonesia dengan luas 70.566 hektar yang terletak di daerah Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Salah satu dari bagian Kontrak Karya PTVI adalah area Mahalona *South-West*. Area Mahalona terdiri dari 14 *compartment* yang dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok *West Area* (6 *compartment*) dan *South Area* (8 *compartment*). Area Mahalona *South-West* dibagi menjadi beberapa *compartment* karena persebaran biji yang tidak merata di satu tempat dan untuk menghemat biaya penambangan. Keuntungan dari metode *pit compartment* adalah pembukaan lahan yang sedikit dan dapat mengurangi biaya penambangan. Tujuan dari penelitian ini yaitu membuat desain *pit compartment*, mengestimasi total cadangan, mengestimasi total keuntungan, dan melakukan analisis sensitivitas keuntungan *pit compartment*. Data yang digunakan dalam pembuatan desain adalah data topografi daerah penelitian dan model blok daerah penelitian. Desain *pit compartment* diolah menggunakan aplikasi *Maptek Vulcan 9.0* dan perhitungan cadangan, keuntungan, dan analisis sensitivitas diolah menggunakan aplikasi *Microsoft Excel*. Pembuatan desain *pit compartment* harus mempertimbangkan aspek teknis berupa standar operasional prosedur (SOP) dan geometri jenjang dari *pit*. Total estimasi tonase (OB dan *waste*) dan *ore* yang dihasilkan pada area ini masing-masing sebanyak 122.203.182 ton dan 37.552.575 ton. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh estimasi total cadangan nikel sebanyak 191.472 ton dan keuntungan senilai US\$1.233.530.181. Hasil analisis sensitivitas memperlihatkan bahwa keuntungan *pit compartment* paling sensitif terhadap perubahan nilai variabel harga nikel.

Kata Kunci: Nikel, analisis sensitivitas, biaya operasi, cadangan, keuntungan.

ABSTRACT

PT Vale Indonesia Tbk (PTVI) is one of the largest nickel mining companies in Indonesia with an area of 70,566 hectares, located in the Sorowako area, East Luwu Regency, South Sulawesi Province. One of the parts of the PTVI Contract of Work is the Mahalona South-West area. The Mahalona area consists of 14 compartments which are divided into two groups, namely the West Area (6 compartments) and the South Area (8 compartments). The Mahalona South-West area is divided into several compartments due to the uneven distribution of ore in one place and to save mining costs. The advantage of the pit compartment method is less land clearing and can reduce mining costs. The purpose of this research is to design a pit compartment, to estimate the total reserves. Estimate the total profit, and perform a pit compartment profit sensitivity analysis. The data used in making the design are the topographical data of the research area and the block model of the research area. The pit compartment design was processed using the software Maptek Vulcan 9.0 and the calculation of reserves, profit, and sensitivity analysis were processed using software Microsoft Excel. The design of the pit compartment must consider technical aspects in the form of standard operating procedures (SOP) and the level geometry of the pit. The total estimated tonnage (OB and waste) and ore produced in this area were 122,203,182 tons and 37,552,575 tons, respectively. Based on the calculation results, the total estimated nickel reserves are 191,472 tons and a profit of US\$1,233,530,181. The results of the sensitivity analysis show that the profit of the pit compartment is the most sensitive to changes in the value of the nickel price variable.

Keywords: Nickel, sensitivity analysis, operating cost, reserve, profit.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Jalla Jalaluhu penulis panjatkan karena atas segala berkah yang diberikan oleh-Nya sehingga Skripsi dengan judul "Perencanaan *Pit Compartment* pada Area Mahalona *South-West* di PT Vale Indonesia Tbk, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan" ini dapat diselesaikan dengan baik.

Selama penyusunan Skripsi penulis banyak menemukan kendala-kendala namun berkat dukungan dari berbagai pihak, akhirnya penyusunan Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Muh. Ibnu Rusjid Andi selaku pembimbing penulis selama melakukan penelitian di PT Vale Indonesia Tbk.

Terima kasih penulis haturkan kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T. selaku pembimbing I dan Kepala Laboratorium Perencanaan dan Valuasi Tambang dan Ibu Rizki Amalia, S.T., M.T. selaku pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan dan masukan selama penyusunan Skripsi. Terima kasih juga kepada Ibu Rini Novrianti Sutardjo Tui, S.T., M.BA., M.T. selaku dosen Laboratorium Perencanaan dan Valuasi Tambang. Terima kasih kepada Bapak Asran Ilyas, ST., MT. Ph.D dan Bapak Dr Eng. Ir. Muhammad Ramli MT selaku dosen penguji. Terima kasih kepada Ketua Departemen Teknik Pertambangan, seluruh dosen dan pegawai yang telah banyak membantu penulis selama menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik.

Terima kasih buat seluruh anggota Laboratorium Perencanaan dan Valuasi Tambang yang selalu memberikan masukan dan semangat, dan kepada saudara-saudaraku dari Teknik Pertambangan angkatan 2015. Ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada kedua orang tua Bapak (alm) Moh. Nurung, S. Pd., M.M., Ibu Nuheriah, S.Pd dan Bapak Mirwan, S.E serta seluruh keluarga besar yang senantiasa

memberikan semangat, dukungan, doa dan sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan pengetahuan dibidang perencanaan tambang.

Makassar, 21 Desember 2020

Afri Ifthihar

DAFTAR ISI

	halaman
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Tahapan Penelitian	4
1.6 Lokasi Penelitian.....	6
BAB II RANCANGAN <i>PIT</i> , KEUNTUNGAN, DAN ANALISIS SENSITIVITAS	8
2.1 Rancangan <i>Pit</i>	9
2.2 Cadangan	14
2.3 Keuntungan	25
2.3 Analisis Sensitivitas	29
BAB III METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Pengambilan Data.....	31
3.2 Pengolahan dan Analisis Data.....	33
BAB IV PERENCANAAN <i>PIT COMPARTMENT</i> DAN ANALISIS SENSITIVITAS.....	44

	halaman
4.1 Desain <i>Pit Compartment</i>	44
4.2 Perhitungan Cadangan	46
4.3 Estimasi Total Keuntungan.....	47
4.4 Analisis Sensitivitas	54
BAB V PENUTUP	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian (PT Vale Indonesia Tbk, 2017)	6
2.1 Diagram proses perencanaan tambang (Sasongko, 2009)	8
2.2 Bagian-bagian geometri jenjang (Hustrulid <i>et al</i> , 2013)	11
2.3 Bagian-bagian <i>working bench</i> (Hustrulid <i>et al</i> , 2013)	12
2.4 Bagian-bagian <i>catch bench</i> (Hustrulid <i>et al</i> , 2013).....	13
2.5 <i>Overall slope angle</i> (Hustrulid <i>et al</i> , 2013)	14
2.6 Perhitungan cadangan dengan metode model blok (Sinclair <i>et al</i> , 2005)	17
2.7 Klasifikasi cadangan mineral yang digunakan oleh Amerika Serikat (SME, 1991 dalam Sinclair <i>et al</i> , 2005).....	19
2.8 Klasifikasi cadangan mineral yang digunakan oleh Australia (Aust-IMM, 1992 dalam Sinclair <i>et al</i> , 2005).....	19
2.9 Klasifikasi cadangan mineral yang digunakan oleh Kanada (CIM, 1994 dalam Sinclair <i>et al</i> , 2005).....	19
2.10 Profil laterit Blok Sorowako (PT Vale Indonesia, 2017)	24
2.11 Profil laterit Blok Petea (PT Vale Indonesia, 2017)	24
2.12 Klasifikasi biaya produksi menurut Jelen 1970 (Gentry <i>and</i> O'neil, 1984).....	26
3.1 Tampilan model blok	34
3.2 Tampilan tampak samping dari model blok	34
3.3 Elevasi terendah dari model blok	35
3.4 Tampilan poligon yang telah dibuat	35
3.5 Tampilan hasil penghalusan sudut menggunakan <i>apply curve</i>	36
3.6 Tampilan hasil penghalusan sudut menggunakan <i>condition string</i>	36
3.7 Tampilan penentuan <i>toe/crest</i>	37
3.8 Tampilan proyeksi poligon ke atas	37
3.9 Tampilan proyeksi poligon ke samping	38

Gambar	halaman
3.10 Tampilan hasil desain <i>pit</i>	38
3.11 Tampilan pembuatan <i>solid pit</i>	39
3.12 Tampilan cara memotong <i>pit</i> dan topografi.....	40
3.13 Tampilan triangulasi dari proyeksi poligon	40
3.14 Tampilan perhitungan cadangan nikel	41
3.15 Bagan alir penelitian.....	43
4.1 Grafik analisis sensitivitas keuntungan <i>pit compartment</i> terhadap perubahan harga	55
4.2 Grafik analisis sensitivitas keuntungan <i>pit compartment</i> terhadap perubahan biaya penambangan.....	56
4.3 Grafik analisis sensitivitas keuntungan <i>pit compartment</i> terhadap perubahan biaya pengolahan	57
4.4 Grafik analisis sensitivitas keuntungan <i>pit compartment</i> terhadap perubahan biaya umum dan administrasi, dan biaya lain-lain.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
3.1 Data <i>mine recovery factor</i> tahun 2019 yang digunakan PTVI	32
3.2 Estimasi patokan biaya yang dikeluarkan perusahaan	32
4.1 Rekomendasi geometri jenjang PT Vale Indonesia Tbk.....	44
4.2 Hasil perhitungan tonase material <i>pit compartment</i> Mahalona <i>South-West</i> ...	45
4.3 Hasil perhitungan estimasi cadangan 14 <i>pit compartment</i>	47
4.4 Hasil perhitungan total pendapatan.....	48
4.5 Hasil perhitungan biaya penambangan	49
4.6 Hasil perhitungan biaya pengolahan.....	50
4.7 Hasil perhitungan biaya umum dan administrasi, dan biaya lain-lain.....	51
4.8 Hasil perhitungan total biaya setiap <i>pit compartment</i>	52
4.9 Hasil perhitungan total keuntungan setiap <i>pit compartment</i> area Mahalona <i>South-West</i>	53
4.10 Analisis sensitivitas keuntungan <i>pit compartment</i> terhadap perubahan harga.....	54
4.11 Analisis sensitivitas keuntungan <i>pit compartment</i> terhadap perubahan biaya penambangan	55
4.12 Analisis sensitivitas keuntungan <i>pit compartment</i> terhadap perubahan biaya pengolahan.....	57
4.13 Analisis sensitivitas keuntungan <i>pit compartment</i> terhadap perubahan biaya umum dan administrasi, dan biaya lain-lain.....	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	halaman
A. Peta Topografi Area Mahalona <i>South-West</i>	64
B. Model Blok 14 <i>Pit Compartment</i>	66
C. Hasil Perhitungan Estimasi Cadangan 14 <i>Pit Compartment</i>	74
D. Desain <i>Pit Compartment</i>	107

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Vale Indonesia Tbk (PTVI) merupakan salah satu perusahaan pertambangan nikel terbesar di Indonesia. Berdasarkan surat keputusan Menteri ESDM tanggal 21 Maret 2017, PT Vale Indonesia Tbk diberikan lokasi seluas 70.566 hektar di daerah Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Sebagian area perusahaan merupakan area hutan lindung sehingga perusahaan mesti membuat perencanaan yang baik mengenai penggunaan lahan agar kestabilan lingkungan tetap terjaga seiring dengan berjalannya kegiatan penambangan (PT Vale Indonesia Tbk, 2017).

Salah satu bagian dari Kontrak Karya PTVI adalah area Mahalona *South-West* yang terletak di antara Blok Sorowako dan Blok Petea. Area Mahalona terdiri dari 14 *compartment* yang dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok *West Area* (6 *compartment*) dan *South Area* (8 *compartment*). Kelompok *West Area* terdiri dari *Compartment 9, Compartment 10, Compartment 11, Compartment 12, Compartment 77, dan Compartment 99*, sedangkan kelompok *South Area* terdiri dari *Compartment 1, Compartment 2, Compartment 3, Compartment 4, Compartment 5, Compartment 6, Compartment 7, dan Compartment 8*. Mahalona *South-West* adalah area yang masih dalam tahap eksplorasi lanjutan dan direncanakan mulai berproduksi pada tahun 2023 sehingga perencanaan penambangan yang dibuat adalah *long term planning*.

Perencanaan adalah penentuan persyaratan dalam mencapai sasaran kegiatan serta urutan teknik pelaksanaan berbagai macam kegiatan untuk mencapai suatu tujuan dan sasaran yang diinginkan. Konsep perencanaan tambang meliputi bagaimana merencanakan dan merancang suatu tambang untuk memperoleh dan mengangkat

mineral yang bernilai ekonomis. Salah satu cabang dari ilmu perencanaan tambang yang sangat penting adalah desain *pit* yang bertujuan untuk merancang *pit* sehingga memudahkan jalannya kegiatan penambangan (Sasongko, 2009).

Desain suatu *pit* bergantung pada bentuk dan arah penyebaran dari suatu mineral yang akan ditambang. Mineral dengan penyebaran yang begitu luas menyebabkan desain *pit* penambangan yang luas pula. Salah satu metode untuk mengatasi masalah pengelolaan sebuah *pit* yang luas adalah metode *pit compartment*. Metode ini membagi *pit* yang luas menjadi beberapa *pit* agar proses penambangannya dilakukan berdasarkan unit-unit *pit* yang lebih sempit sehingga proses pembuatan *pit* menjadi lebih mudah. Selain itu, pembagian *pit* yang luas menjadi unit-unit *pit* yang kecil dapat meningkatkan keuntungan perusahaan karena dapat mengurangi biaya pengupasan (Marbun dan Alex, 2010). PT Vale Indonesia Tbk menggunakan metode tersebut untuk mengurangi pembukaan lahan yang luas di area yang terbatas. Rata-rata luas *pit compartment* di PT Vale Indonesia adalah sekitar 27-30 Ha (PT Vale Indonesia Tbk, 2017).

Keuntungan perusahaan diperoleh dari selisih antara pendapatan dan biaya produksi. Pendapatan tahunan sebuah perusahaan pertambangan dihitung berdasarkan jumlah unit yang diproduksi dan terjual sepanjang tahun berdasarkan harga penjualan per unit, sedangkan biaya produksi terdiri dari biaya operasi dan pengeluaran umum. Harga dan biaya merupakan risiko pasar pada industri pertambangan yang mungkin berubah di masa mendatang, sehingga akan memengaruhi keuntungan yang diperoleh. Salah satu analisis risiko yang paling banyak digunakan analisis sensitivitas. Analisis sensitivitas adalah analisis yang dilakukan untuk mengetahui akibat ketidakpastian profitabilitas pada investasi dengan mengubah variasi pada salah satu variabel untuk mengetahui perubahan evaluasi ekonomi yang dihasilkan. Tujuan dari analisis sensitivitas adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan variabel-variabel harga dan

biaya terhadap keuntungan, sehingga dapat dilakukan antisipasi terhadap perubahan keuntungan sewaktu-waktu (Diego, 2009).

Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk membuat desain *pit compartment* pada area Mahalona *South-West*, mengestimasi cadangan dan keuntungan yang dihasilkan oleh perusahaan, dan melakukan analisis sensitivitas terhadap keuntungan akibat perubahan variabel-variabel yang memengaruhinya.

1.2 Rumusan Masalah

Area Mahalona *South-West* direncanakan mulai berproduksi pada tahun 2023 dan kegiatan penambangan akan dilakukan menggunakan metode *pit compartment* sebanyak 14 *compartment*. Saat ini masih dalam tahap eksplorasi lanjutan, sehingga diperlukan perencanaan awal jangka panjang yang dibuat oleh *Long Term Planning* dan digunakan hingga kegiatan penambangan selesai. Perencanaan yang dibuat diantaranya desain *pit compartment*, estimasi cadangan dan keuntungan serta analisis risiko penambangan.

Berdasarkan hal tersebut, rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa total cadangan nikel berdasarkan hasil desain yang dibuat.
2. Berapa total keuntungan penambangan di area Mahalona *South-West*.
3. Bagaimana pengaruh perubahan variabel harga dan biaya terhadap keuntungan *pit compartment*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menghitung total cadangan nikel berdasarkan hasil desain yang dibuat.

2. Menghitung total keuntungan penambangan di area Mahalona *South-West*.
3. Menghitung pengaruh perubahan variabel harga dan biaya terhadap keuntungan *pit compartment*

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah pengembangan wawasan dan pengetahuan mengenai perencanaan tambang khususnya desain *pit compartment* dan analisis risiko pasar dari rencana kegiatan penambangan *pit compartment*.

1.5 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu:

1. Persiapan

Kegiatan ini merupakan tahapan awal sebelum kegiatan lapangan yang meliputi:

- a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sebelum dan selama penelitian berlangsung hingga penyusunan Skripsi, studi literatur dibutuhkan untuk mempelajari masalah yang diteliti mengenai perhitungan estimasi cadangan *pit compartment*, keuntungan *pit compartment*, dan analisis sensitivitas. Studi literatur dilakukan pada buku-buku teks, jurnal penelitian yang terkait, laporan-laporan sebelumnya yang mendukung penelitian serta informasi dari media berupa internet.

- b. Rumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Pada tahap ini dilakukan pengamatan lebih lanjut untuk mengidentifikasi masalah yang menjadi topik penelitian dan tujuan yang ingin dicapai dari penelitian.

2. Pengambilan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini merupakan data yang diperoleh dari

PT Vale Indonesia Tbk pada bulan Februari-Agustus 2019 terdiri dari:

- a. Peta topografi daerah penelitian.
- b. Model Blok daerah penelitian.
- c. *Mine recovery factor* tahun 2019.
- d. Harga nikel.
- e. Estimasi biaya operasi.

3. Pengolahan Data

Data yang dikumpulkan diolah untuk membuat desain *pit compartment* menggunakan aplikasi *Maptek Vulcan 9.0* sehingga diperoleh jumlah estimasi cadangan. Tahap selanjutnya yaitu menghitung jumlah estimasi keuntungan keseluruhan *pit compartment* pada area Mahalona *South-West* dengan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel for Windows*. Tahap akhir adalah melakukan analisis sensitivitas keuntungan terhadap perubahan variabel harga dan biaya menggunakan aplikasi *Microsoft Excel for Windows*.

4. Penyusunan laporan

Tahap ini merupakan tahap akhir dari rangkaian kegiatan penelitian dimana keseluruhan data yang telah diperoleh dan diolah, diakumulasikan dan dituangkan dalam bentuk *draft* laporan hasil penelitian sesuai dengan format dan kaidah penulisan Skripsi yang telah ditetapkan Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

5. Seminar dan Penyerahan Laporan

Hasil akhir dari penelitian ini dipresentasikan dalam Ujian Sidang Sarjana Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin setelah melalui penyempurnaan berdasarkan masukan-masukan yang diperoleh dari seminar. Laporan akhir diserahkan ke Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

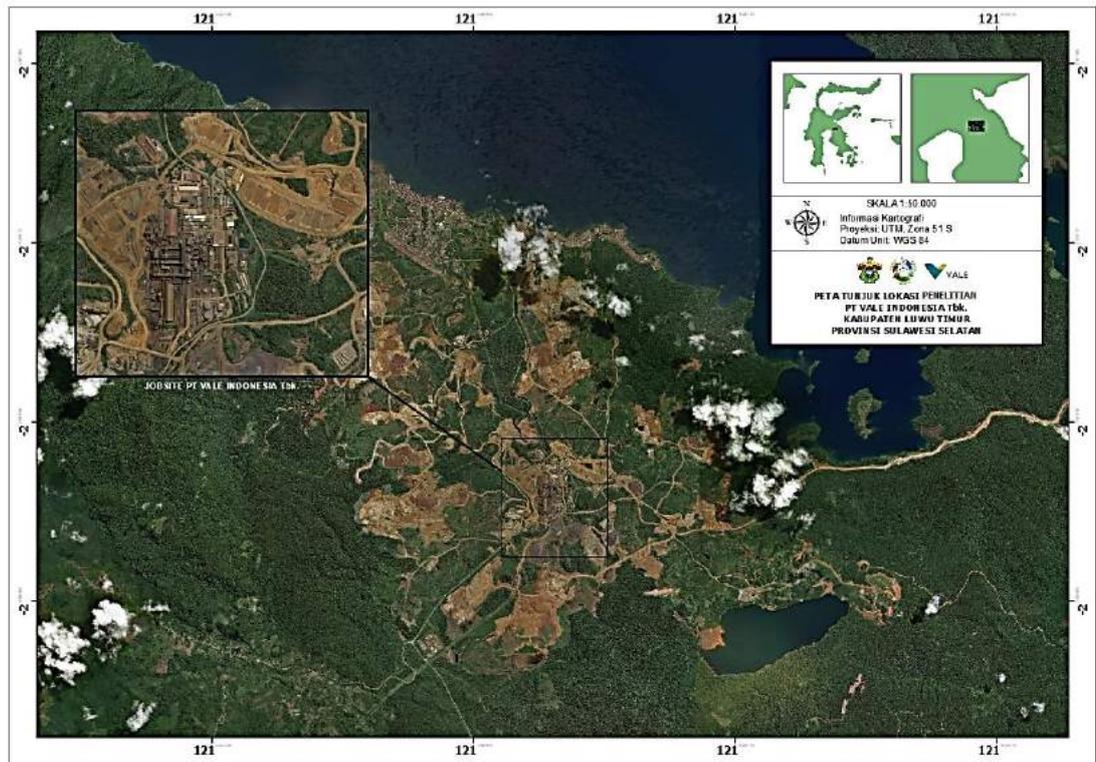
1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di PT Vale Indonesia Tbk Desa Sorowako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia. Perjalanan menuju Sorowako dari Makassar dapat ditempuh melalui dua jalur yaitu darat dan udara. Perjalanan darat menggunakan kendaraan bus ditempuh selama \pm 12 jam dan melalui akses udara ditempuh sekitar \pm 60 menit dari Bandara Internasional Sultan Hasanuddin Maros. Lokasi *site* PT Vale Indonesia Tbk terletak sekitar \pm 361 km ke arah Timur Laut dari Kota Makassar, ibukota Provinsi Sulawesi Selatan.

Secara umum, wilayah Kontrak Karya PT Vale Indonesia Tbk dibagi ke dalam dua lokasi, yaitu:

1. Lokasi *Sorowako Project Area* (SPA) dengan luas area 10.000 ha.
2. Lokasi *Sorowako Outer Area* (SOA) dengan luas area sebesar 108.000 ha. Lokasi ini meliputi daerah Petea, Malili, Lingke, Lengkobale, Lambatu, Tanamalia, Lingkona, Lampenisu, Lampesue, Topemanu, Tanah Merah, Nuha, Matano dan Larona.

Peta tunjuk lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1.

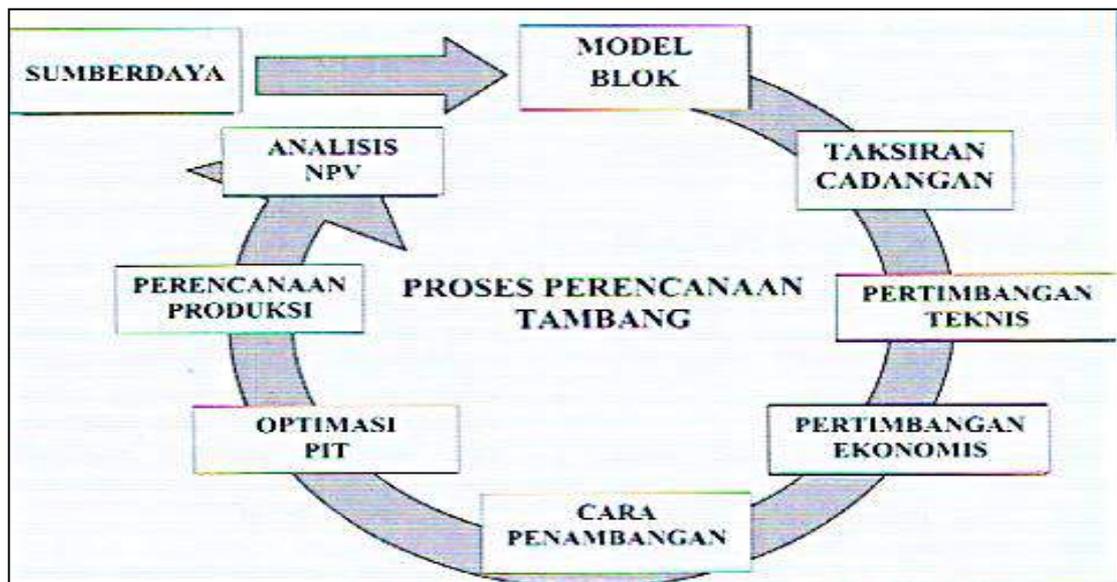


Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian di area Kontrak Karya PT Vale Indonesia (PT Vale Indonesia Tbk, 2017).

BAB II

RANCANGAN *PIT*, KEUNTUNGAN DAN ANALISIS SENSITIVITAS

Perencanaan tambang terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap pemodelan geologi, perencanaan jangka panjang (*long-term planning*) dan perencanaan jangka pendek (*short-term planning*). Perencanaan jangka panjang (*long-term planning*) adalah perencanaan awal yang dibuat sebelum melakukan penambangan. Perencanaan jangka panjang sering diarahkan pada *strategic planning* atau *feasibility study*. Perencanaan jangka pendek, yaitu perencanaan operasional untuk mencapai perencanaan yang telah ditetapkan pada perencanaan jangka panjang. Perencanaan tambang merupakan proses yang melingkar atau iterasi seperti yang terlihat pada Gambar 2.1 (Sasongko, 2009).



Gambar 2.1 Diagram proses perencanaan tambang (Sasongko, 2009).

Setelah model geologi sumberdaya batubara/mineral dibangun kemudian dilakukan pembuatan model blok. Pembuatan model blok merupakan tahapan membagi area sumberdaya dalam blok-blok yang lebih kecil. Setelah itu disesuaikan dengan

rencana penjadwalan produksi dan alat-alat tambang yang digunakan. Berdasarkan model blok tersebut secara numerik sumberdaya dapat diestimasi jumlahnya. Tahap berikutnya adalah optimasi *pit* dengan pertimbangan faktor teknis; sudut lereng tambang aman, jenjang, dan kondisi lokal, dan pertimbangan faktor ekonomis; harga jual komoditas tambang, biaya-biaya tambang, dan kewajiban finansial perusahaan tambang terhadap pemerintah. Optimasi *pit* adalah untuk menentukan batas tambang akhir (*ultimate pit limit*), dimana batas tambang tersebut digunakan sebagai batas keruangan dalam perhitungan cadangan tertambang. Setelah cadangan tertambang diketahui, maka tahap selanjutnya adalah perencanaan produksi, yaitu berupa aktivitas perencanaan tahapan tambang (*pushback*), sekuen tambang, dan penjadwalan produksi tambang. Tahap terakhir proses perencanaan tambang adalah penilaian cadangan dengan menentukan indikator ekonomi seperti nilai sekarang bersih (*net present value*), *internal rate of return*, dan *payback period* (Sasongko, 2009).

2.1 Rancangan *Pit*

Rancangan *pit* terdiri atas *pit compartment* dan geometri jenjang.

1. *Pit compartment*

Penyebaran cadangan yang luas memaksa perusahaan tambang untuk membuat lubang bukaan yang besar/luas pula. Lubang bukaan (*pit*) yang terlalu besar membutuhkan usaha dan biaya yang lebih banyak. Salah satu metode yang bisa digunakan adalah *pit compartment*. *Pit compartment* merupakan metode membagi sebuah *pit* yang besar menjadi beberapa *pit* yang lebih kecil berdasarkan penyebaran blok-blok cadangan. Setiap spasi antara blok cadangan satu dengan lainnya akan dibatasi oleh dinding *pit* (*berm*) sehingga terbentuk beberapa *pit* kecil untuk setiap blok cadangan. Tujuan utama *pit compartment* adalah agar proses penambangan dilakukan

berdasarkan unit-unit *pit* yang lebih kecil sehingga penanganan suatu *pit* menjadi lebih mudah (Marbun dan Alex, 2010).

2. Geometri Jenjang

Elemen-elemen suatu jenjang terdiri dari tinggi, lebar dan kemiringan yang penentuan dimensinya dipengaruhi oleh: (a) alat-alat berat yang dipakai (terutama alat gali dan angkut), (b) kondisi geologi, (c) sifat fisik batuan, (d) selektifitas pemisahan yang diharapkan antara bijih dan buangan, (e) laju produksi, dan (f) iklim. Tinggi jenjang adalah jarak vertikal antara level horisontal pada *pit*; lebar jenjang adalah jarak horisontal lantai tempat dimana seluruh aktivitas penggalian, pemuatan dan pengeboran-peledakan dilaksanakan; dan kemiringan jenjang adalah sudut lereng jenjang. Batas ketinggian jenjang diupayakan sesuai dengan tipe alat muat yang dipakai agar bagian puncaknya terjangkau oleh alat muat. Disamping itu batas ketinggian jenjang pun harus mempertimbangkan aspek kestabilan lereng, yaitu tidak longsor karena getaran peledakan atau akibat hujan (Hustrulid *et al*, 2013).

Faktor-faktor yang memengaruhi geometri jenjang antara lain (Novian, 2008):

a. Produksi

Pembuatan jenjang tujuannya adalah untuk mendapatkan endapan nikel sesuai dengan produksi yang diinginkan. Dimensi jenjang yang akan dibuat perlu mempertimbangkan jumlah produksi yang direncanakan.

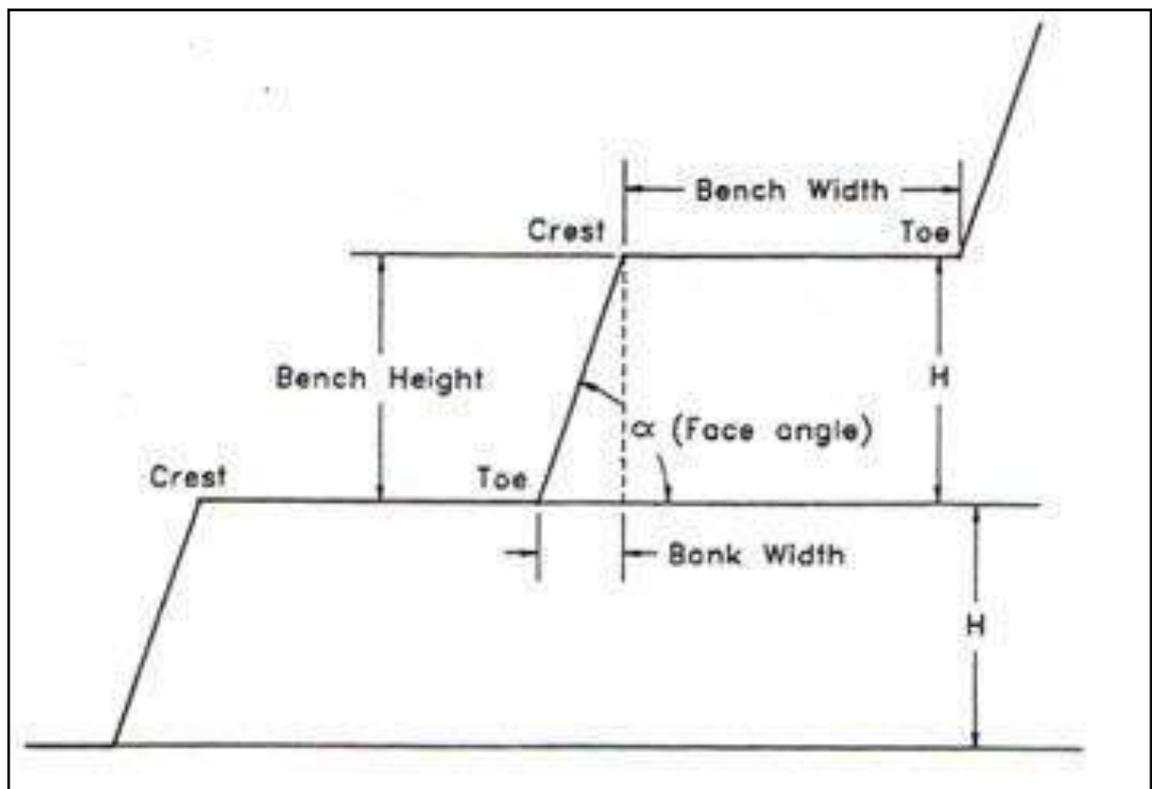
b. Kondisi batuan

Kondisi batuan menentukan peralatan yang harus digunakan. Kondisi batuan yang dominan antara lain kekuatan batuan, faktor pengembangan, densitas batuan dan struktur geologi. Penggalian dapat langsung dilakukan pada permukaan kerja material yang lunak. Jarak dan ketinggian penggalian perlu diperhitungkan dalam memperkirakan lebar dan tinggi jenjang.

c. Peralatan produksi

Peralatan produksi yang akan digunakan harus disesuaikan dengan kapasitas produksi yang diinginkan dan sesuai material yang akan dikerjakan.

Dimensi jenjang yang mempertimbangkan faktor-faktor tersebut mempunyai kondisi kerja yang baik yang akan memengaruhi efisiensi kerja. Gambar geometri jenjang dapat dilihat pada Gambar 2.2.

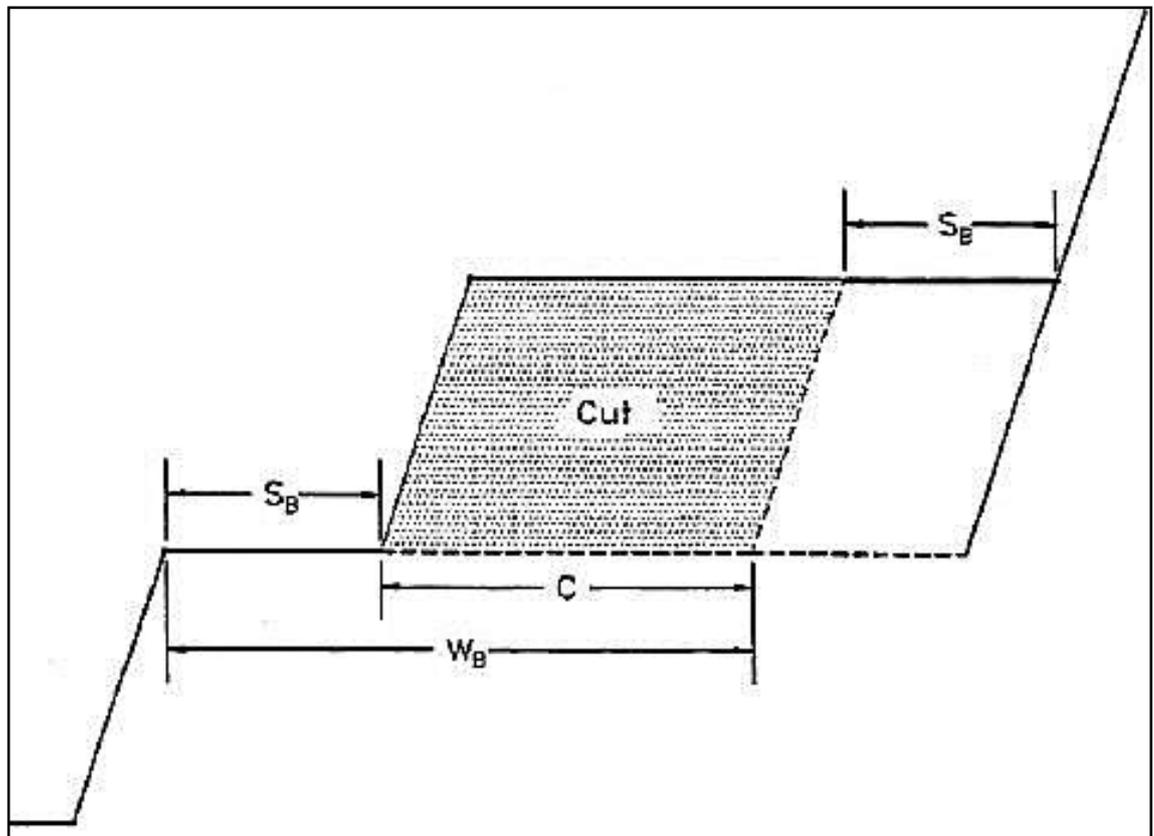


Gambar 2.2 Bagian-bagian geometri jenjang (Hustrulid *et al*, 2013).

Lebar jenjang (*bench width*) merupakan jarak horizontal yang diukur dari ujung lantai jenjang sampai dengan belakang lantai jenjang. Tidak ada rumus baku untuk menghitung lebar minimum jenjang. Lebar jenjang minimum sangat dipengaruhi oleh (Novian, 2008):

- Jenis dan dimensi peralatan.
- Posisi kerja dari peralatan yang sedang beroperasi di lantai yang sama.
- Lebar dari tumpukan material hasil pembongkaran.

Jenjang kerja (*working bench*) merupakan suatu jenjang dimana tempat penambangan atau penggalian berlangsung. Bagian yang sedang digali dari *working bench* disebut *cut*. Setelah bagian *cut* ditambang maka akan terbentuk *safety bench*. Gambar jenjang kerja dapat dilihat pada Gambar 2.3.

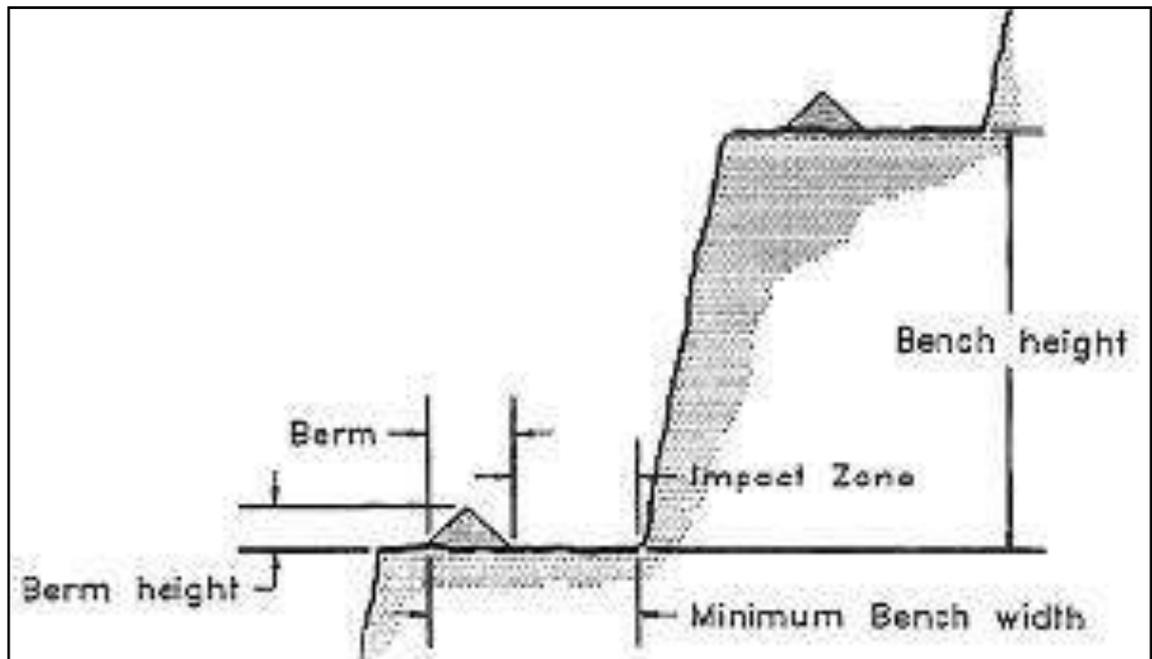


Gambar 2.3 Bagian-bagian *working bench* (Hustrulid *et al*, 2013).

Safety bench dapat disebut juga jenjang penangkap (*catch bench*) dan dapat merujuk pada *berm*. Fungsi dari *safety bench* atau *berm* ini adalah untuk mengumpulkan material tanah yang jatuh dari *bench* di atasnya dan menahannya agar tidak terjadi longsor yang fatal.

Pada jenjang penangkap tumpukan material bongkahan (*berm*) biasanya terdapat di sepanjang *crest*. Tumpukan tersebut akan membentuk suatu saluran antara tumpukan dan kaki lereng (*toe*) untuk menangkap batuan yang jatuh. *Impact zone*

merupakan area yang terkena dampak dari jatuhnya material (Hustrulid *et al*, 2013). Geometri *catch bench* dapat dilihat pada Gambar 2.4.

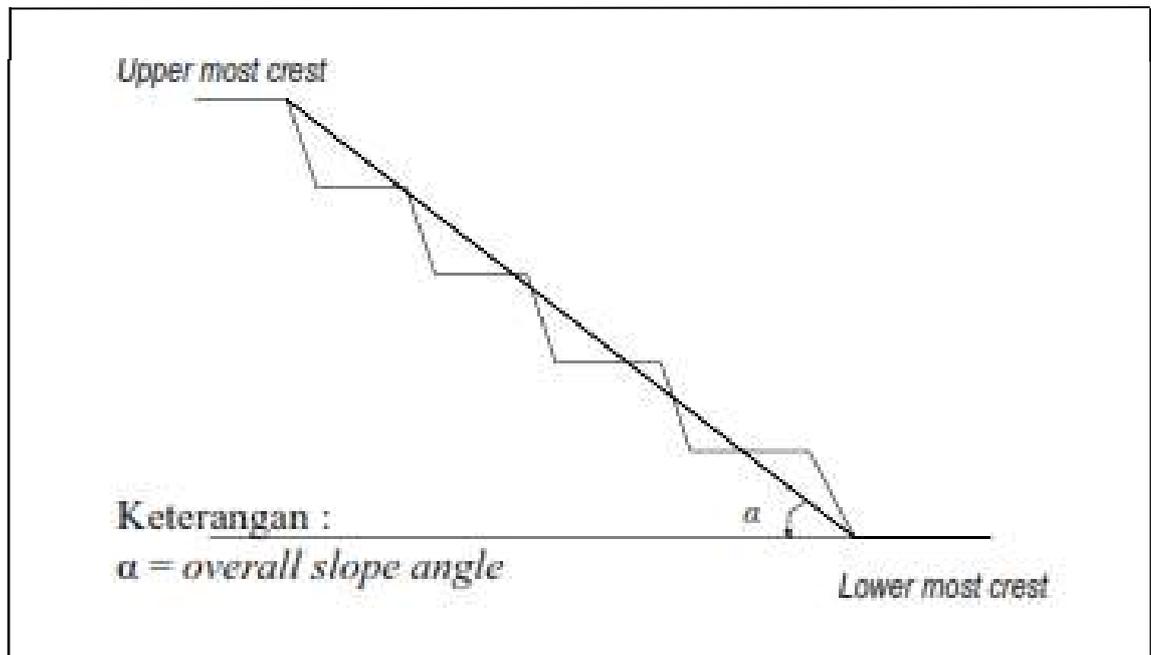


Gambar 2.4 Geometri *catch bench* (Hustrulid *et al*, 2013).

Lebar *catch bench* disesuaikan dengan tinggi *bench*. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh para ahli pertambangan direkomendasikan bahwa semakin tinggi *bench*, maka semakin lebar *catch bench* yang diperlukan.

Lereng tunggal (*single slope*) merupakan lereng yang dibentuk oleh satu jenjang atau terbentuk oleh *crest* dan *toe*. Lereng keseluruhan (*overall slope*) merupakan lereng yang dibentuk oleh keseluruhan jenjang. Kemiringan ini diukur dari *crest* paling atas sampai dengan *toe* paling akhir dari *front* penambangan. Kemiringan lereng sangat dipengaruhi oleh karakteristik batuan dan kegiatan peledakan (Hustrulid *et al*, 2013).

Dalam operasi di *pit*, pengontrolan sudut lereng biasa dilakukan dengan menandai lokasi pucuk jenjang (*crest*) yang diinginkan menggunakan bendera kecil. Operator *shovel* diperintahkan untuk menggali sampai mangkuknya mencapai lokasi bendera tersebut (Hustrulid *et al*, 2013). *Overall slope angle* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Overall slope angle (Hustrulid *et al*, 2013).

2.2 Cadangan

Cadangan (*reserve*) adalah endapan mineral yang diketahui ukuran, bentuk sebaran, kuantitas, dan kualitasnya dan yang secara ekonomis, teknis, hukum, lingkungan dan sosial dapat ditambang pada saat perhitungan dilakukan (Sinclair *et al*, 2005).

2.2.1 Perhitungan Cadangan

Perhitungan cadangan harus memperhatikan persyaratan tertentu, antara lain (Sinclair *et al*, 2005):

1. Suatu taksiran cadangan harus mencerminkan secara tepat kondisi geologi dan karakteristik/sifat dari endapan bahan galian.
2. Suatu model cadangan yang akan digunakan untuk perencanaan tambang harus konsisten dengan metode penambangan dan teknik perencanaan tambang yang akan diterapkan.

3. Taksiran yang baik dan harus didasarkan pada data aktual yang diolah/diperlakukan secara objektif. Keputusan dipakai-tidaknya suatu data dalam penafsiran harus diambil dengan pedoman yang jelas dan konsisten. Tidak boleh ada pembobotan data yang berbeda dan harus dilakukan dengan dasar yang kuat.

Metode perhitungan cadangan digunakan sesuai dengan bentuk dan arah penyebaran dari cadangan antara lain (Sinclair *et al*, 2005):

1. Metode Penampang

Metode penampang lebih cocok digunakan untuk tipe endapan yang mempunyai kontak tajam seperti bentuk tabular (perlapisan atau *vein*). Pola eksplorasi (bor) umumnya teratur yang terletak sepanjang garis penampang, namun untuk kasus endapan yang akan ditambang secara *underground* umumnya mempunyai pola bor yang kurang teratur. Keuntungan metode ini adalah proses perhitungannya tidak rumit dan sekaligus dapat dipergunakan untuk menyajikan hasil interpretasi model dalam sebuah penampang, sedangkan kekurangannya adalah tidak bisa dipergunakan untuk tipe endapan dengan mineralisasi yang kompleks.

2. Metode Poligon (*Area of Influence*)

Metode ini umumnya diterapkan pada endapan-endapan yang relatif homogen dan mempunyai geometri yang sederhana. Kadar pada suatu luasan di dalam poligon ditaksir dengan nilai data yang berada di tengah-tengah poligon sehingga metoda ini sering disebut dengan metode daerah pengaruh (*area of influence*). Kelemahan metode ini adalah belum memperhitungkan tata letak (ruang) nilai data di sekitar poligon dan tidak ada batasan yang pasti sejauh mana nilai contoh mempengaruhi distribusi ruang.

3. Metode USGS *Circular* 891

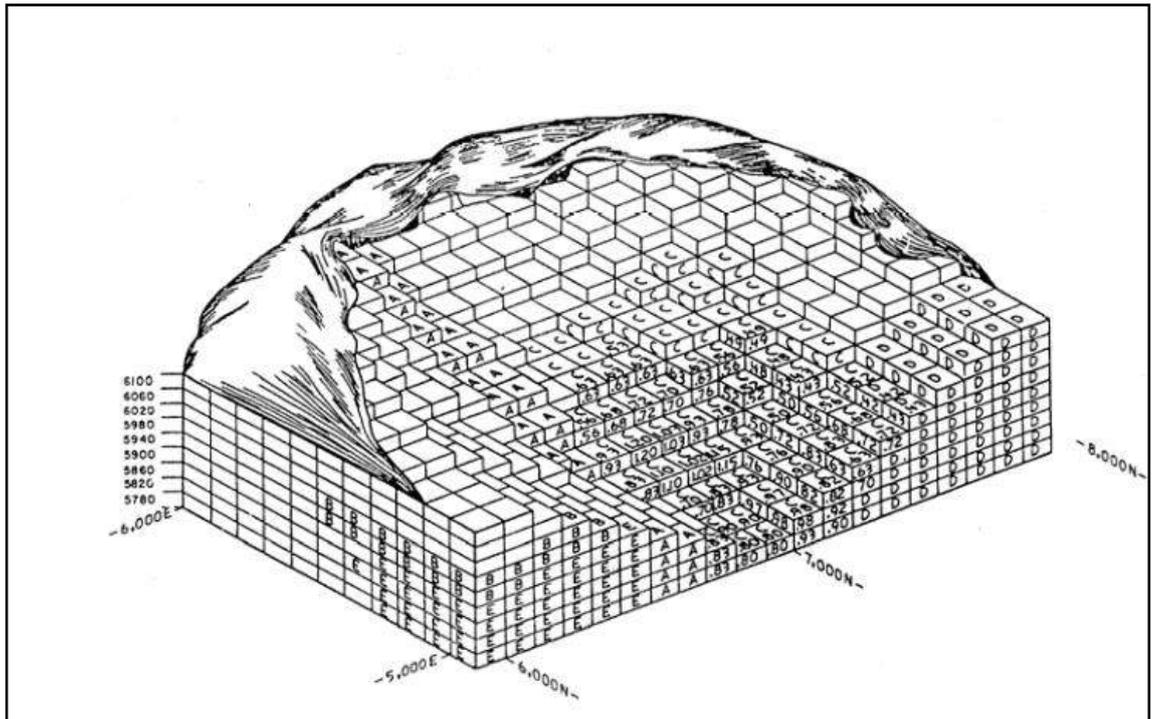
Sistem *United States Geological Survey* (USGS) merupakan pengembangan dari sistem blok dan perhitungan dan perhitungan volume biasa. Sistem USGS ini dianggap sesuai untuk diterapkan dalam perhitungan cadangan batubara karena sistem ini ditujukan pada pengukuran bahan galian yang berbentuk perlapisan (tabular) yang memiliki ketebalan dan kemiringan lapisan yang relatif konsisten.

4. Metode Segitiga

Metode ini digunakan untuk menaksirkan parameter dan juga sekaligus digunakan untuk menghitung cadangan. Rumus perhitungan pada metode ini hampir sama dengan metode poligon hanya saja dalam metode segitiga titik data digunakan untuk mewakili parameter seluruh area segitiga, sedangkan metode poligon menggunakan titik data yang berada di tengah luasan poligon.

5. Metode Sistem Blok

Pemodelan dengan komputer untuk mempresentasikan endapan bahan galian umumnya dilakukan dengan model blok (*block model*). Dimensi model blok dibuat sesuai dengan desain penambangannya, yaitu mempunyai ukuran yang sama dengan tinggi jenjang. Semua parameter seperti jenis batuan, kuantitas bahan galian, dan topografi dapat dimodelkan dalam bentuk blok. Parameter yang mewakili setiap blok teratur diperoleh dengan menggunakan metode penafsiran umum yaitu NNP, IDW, atau Kriging. Perhitungan cadangan dengan metode model blok dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Perhitungan cadangan dengan metode model blok (Sinclair *et al*, 2005).

2.2.2 Klasifikasi Sumber Daya Mineral dan Cadangan

Klasifikasi sumber daya mineral dan cadangan adalah suatu proses pengumpulan, penyaringan serta pengolahan data dan informasi dari suatu endapan mineral untuk memperoleh gambaran yang ringkas mengenai endapan itu berdasarkan kriterianya (SNI No. 13-4786-1998, 1998).

1. Klasifikasi Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 13-4786-1998 Amandemen 1

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 13-4786-1998 Amandemen 1 Tahun 1998 bahwa klasifikasi sumberdaya mineral dan cadangan adalah:

- a) Sumber daya mineral hipotetik (*hypothetical mineral resource*) adalah sumber daya mineral yang kuantitas dan kualitasnya diperoleh berdasarkan perkiraan pada tahap Survei Tinjau.
- b) Sumber daya mineral tereka (*inferred mineral resource*) adalah sumber daya mineral yang kuantitas dan kualitasnya diperoleh berdasarkan hasil tahap Prospeksi.

- c) Sumber daya mineral terunjuk (*indicated mineral resource*) adalah sumber daya mineral yang kuantitas dan kualitasnya diperoleh berdasarkan hasil tahap Eksplorasi Umum.
- d) Sumber daya mineral terukur (*measured mineral resource*) adalah sumber daya mineral yang kuantitas dan kualitasnya diperoleh berdasarkan hasil tahap Eksplorasi Rinci.
- e) Cadangan terkira (*probable reserve*) adalah sumber daya mineral terunjuk dan sebagian sumberdaya mineral terukur yang tingkat keyakinan geologinya masih lebih rendah yang berdasarkan studi kelayakan tambang semua faktor yang terkait telah terpenuhi, sehingga penambangan dapat dilakukan secara ekonomik
- f) Cadangan terbukti (*proved reserve*) adalah sumber daya mineral terukur yang berdasarkan studi kelayakan tambang semua faktor yang terkait telah terpenuhi, sehingga penambangan dapat dilakukan secara ekonomik.

2. Klasifikasi di beberapa Negara

a. Klasifikasi cadangan di Amerika Serikat

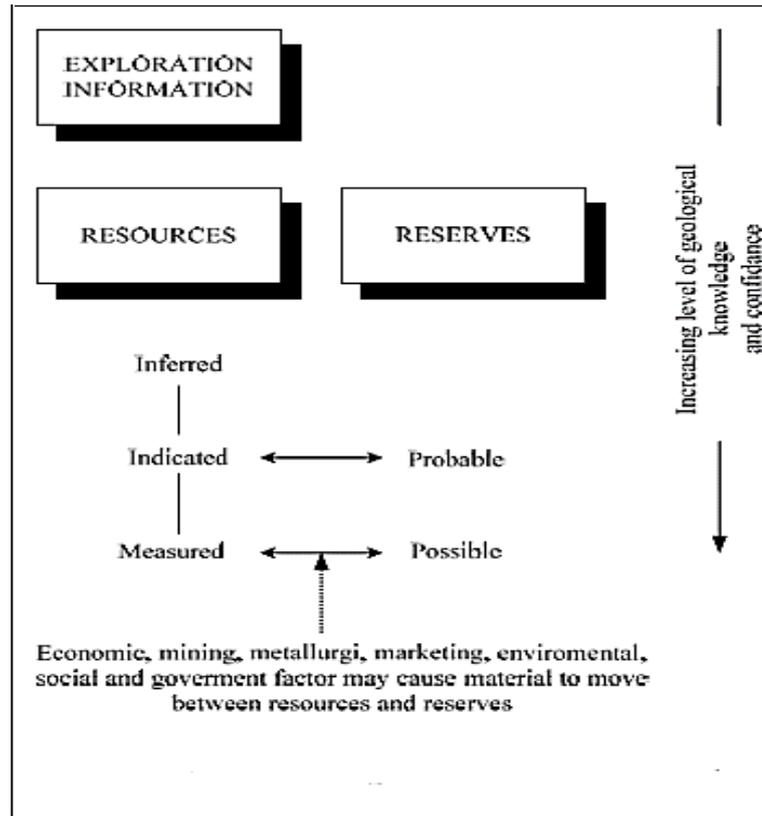
Klasifikasi cadangan yang digunakan negara Amerika Serikat dapat dilihat pada Gambar 2.7.

b. Klasifikasi cadangan di Australia

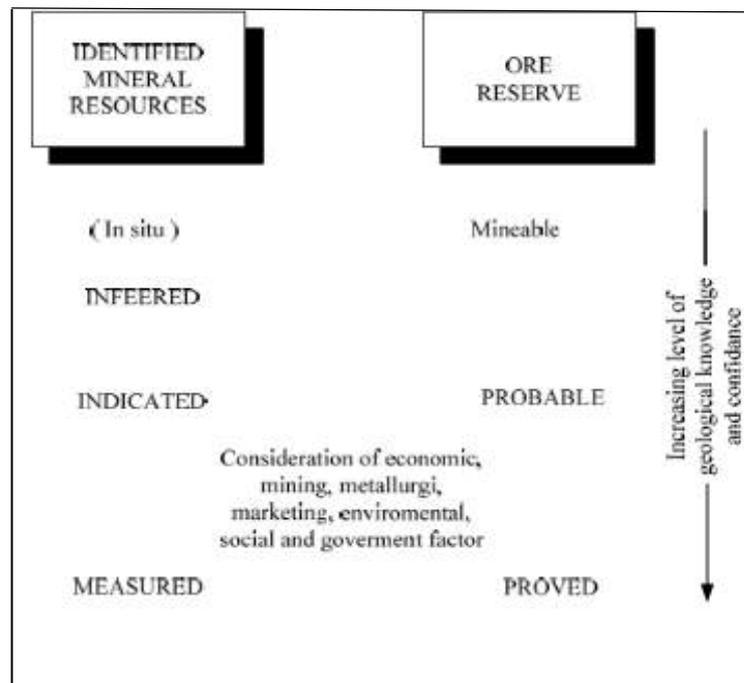
Klasifikasi cadangan yang digunakan negara Australia dapat dilihat pada Gambar 2.8.

c. Klasifikasi cadangan di Kanada

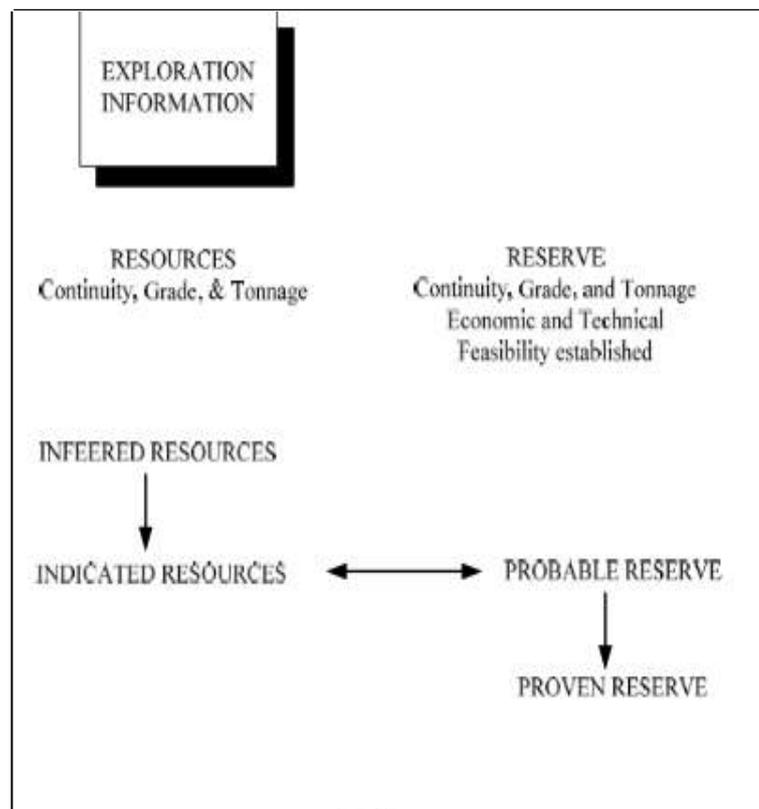
Klasifikasi cadangan yang digunakan negara Kanada dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.7 Klasifikasi cadangan mineral yang digunakan oleh Amerika Serikat (*Society of Mining Engineers*, 1991 dalam Sinclair *et al*, 2005).



Gambar 2.8 Klasifikasi cadangan mineral yang digunakan oleh Australia (Aust-IMM, 1992 dalam Sinclair *et al*, 2005).



Gambar 2.9 Klasifikasi cadangan mineral yang digunakan oleh Kanada (CIM, 1994 dalam Sinclair *et al*, 2005).

2.2.3 Genesa Nikel Laterit

Nikel laterit adalah produk residual pelapukan kimia pada batuan ultramafik (dunit, peridotit) dan ubahannya (serpentinit). Proses ini berlangsung selama jutaan tahun dimulai ketika batuan ultramafik tersingkap di permukaan bumi (Kurniadi *et al*, 2017).

Karakteristik bijih laterit yang dihasilkan dari pelapukan kimiawi dipengaruhi oleh sifat batuan induk, iklim, kondisi topografi, dan waktu. Sifat protolit batuan dasar khususnya derajat serpentinisasi memiliki peran penting dalam pengembangan deposit laterit Ni secara komersial. Goldthly pada tahun 1981 mengemukakan bahwa bijih nikel laterit diturunkan dari batuan ultramafik yang tidak terpusat biasanya ditandai dengan saprolit yang lebih tipis dan banyak *boulder*, tapi tinggi kandungan Ni sementara

pelapukan protolit ultramafik *serpentinized* cenderung menghasilkan saprolit yang lebih tebal tetapi kandungan Ni lebih rendah (Sufriadin *et al*, 2011).

Pembentukan nikel laterit diawali dengan adanya proses pelapukan. Pelapukan ini berlangsung pada batuan peridotit yang banyak mengandung olivin, magnesium, silikat, dan besi silikat yang mengandung 0,3% Ni. Batuan ini mudah mengalami pelapukan lateritik yang dapat memisahkan nikel dari silikat dan asosiasi mineralnya. Selanjutnya, air tanah yang kaya akan CO₂ yang berasal dari udara luar maupun dari tumbuhan akan melarutkan olivin sehingga akhirnya terurai menjadi larutan dan koloid. Penguraian olivin, magnesium, besi, nikel, dan silika ke dalam larutan cenderung untuk membentuk suspensi koloid dari partikel-partikel silika. Di dalam larutan, besi akan bersenyawa dengan oksida dan mengendap sebagai ferri hidroksida. Selanjutnya, endapan ini akan menghilangkan air dan membentuk mineral *goethite*, *hematite* dan *cobalt* dalam jumlah kecil, membentuk mineral-mineral seperti karat dimana oksida besi diendapkan dekat dengan permukaan tanah. Magnesium, nikel dan silika tertinggal di dalam larutan selama air masih asam, tetapi jika dinetralisasi karena bereaksi dengan batuan dan tanah, maka zat-zat tersebut berada di tempat-tempat yang lebih dalam pada zona pengayaan.

Proses pengayaan dimulai dari suatu batuan yang mengandung 0,25%Ni sehingga akan dihasilkan 1,6% Ni. Keadaan ini merupakan suatu kadar nikel yang sudah menguntungkan dan cukup ekonomis untuk ditambang, sedangkan bijih nikel pada endapan laterik mempunyai kadar yang paling tinggi terletak dekat dengan batuan dasar zona pelapukan dan diendapkan pada retakan-retakan di bagian atas dari lapisan dasar/*bedrock* (PT Vale Indonesia Tbk, 2017).

Susunan horizon nikel laterit secara umum terdiri dari (PT Vale Indonesia Tbk, 2017):

1. *Iron cap* (tudung besi); Lapisan ini memiliki konsentrasi besi yang tinggi dan melindungi lapisan di bawahnya terhadap erosi.
2. Limonitik (*overburden*); Lapisan ini terletak pada bagian atas yang relatif kaya dengan oksida besi namun berakumulasi dengan tanah penutup (*top soil*). Limonit merupakan zona pelindian bagian yang kaya akan oksida besi.
3. Saprolit merupakan produk lapukan dari batuan dasar, fragmen-fragmen batuan asal masih terlihat, berukuran kerikil-bongkah, pada umumnya mineral-mineralnya sudah teralterasi.
4. *Bedrock* merupakan batuan asal yang berupa batuan ultramafik seperti peridotit dan dunit.

Profil horizontal dibagi menjadi tiga, yaitu lapisan limonit sebagai *overburden*, lapisan saprolit sebagai *ore*, dan lapisan *bedrock* sebagai *quarry- (blue zone)*. Kondisi perlapisan batuan secara umum yang terdapat di lokasi penambangan nikel Sorowako terdiri dari (PT Vale Indonesia Tbk, 2017):

1. Lapisan *Overburden*

Lapisan ini terletak di bagian paling atas berwarna coklat kemerahan hingga coklat kehitaman. Kadar Ni kurang dari 1,3%. Ketebalan lapisan rata-rata mencapai 7m. Material secara umum dalam ukuran halus (lempung-lanau) dan sering dijumpai mineral stabil berupa kromit, magnetit. Struktur dan tekstur batuan induk tidak dapat dikenali.

2. Limonit Berkadar Menengah (*Medium Grade Limonit/ MGL*)

Zona di bawah *overburden* yang disebut zona MGL, berwarna kuning hingga kecoklatan, agak lunak, berkadar air 30%-40%, kadar Ni berkisar antara 1,4-1,5%, Fe 44%, MgO 3%, SiO 2%. Zona MGL ini merupakan zona transisi dari *overburden* ke saprolit dengan ketebalan sekitar 2–10 m.

3. Zona Saprolit

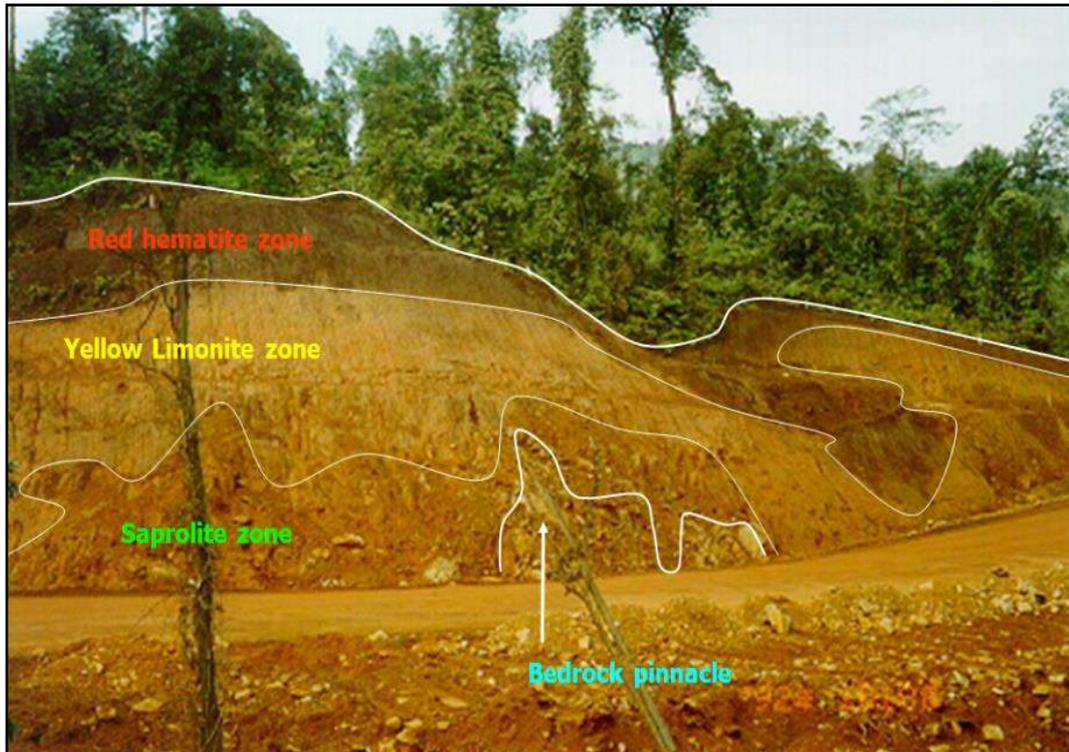
Zona saprolit merupakan zona bijih (*ore zone*) mengandung banyak fragmen batuan dasar yang teralterasi. Tekstur dan struktur batuan dasar dapat dengan mudah dikenali, berwarna kuning kecoklatan sampai kemerah-merahan. Zona saprolit merupakan zona berkadar Ni tinggi, yaitu rata-rata lebih besar dari 1,8% dengan ketebalan lapisan antara 2-15 m.

4. *Bedrock (Blue Zone)*

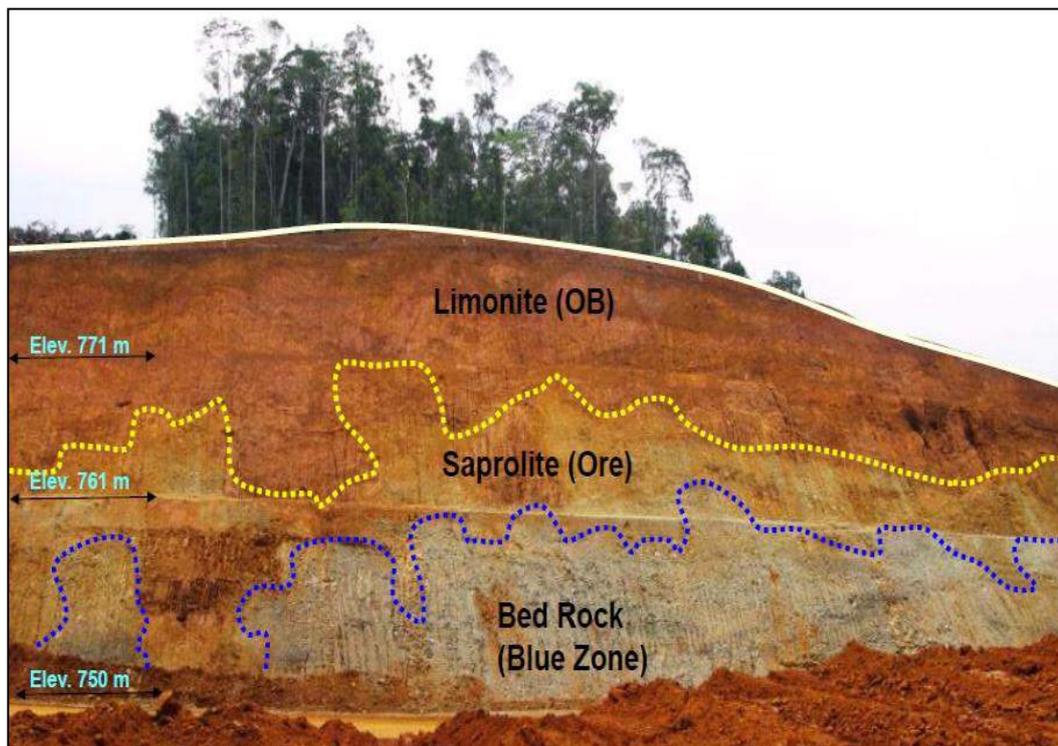
Lapisan ini merupakan batuan peridotit yang tidak atau belum mengalami pelapukan dengan kadar Ni 1,23%. Pada umumnya batuan ini merupakan bongkah-bongkah masif, berwarna kuning pucat sampai abu-abu kehijauan. Secara lokal batuan dasar ini disebut *blue zone*.

Ketebalan dari masing-masing lapisan tidak merata, tergantung dari morfologi dan relief. Endapan laterit umumnya terakumulasi banyak pada endapan bawah bukit dengan relief yang landai, sedangkan pada relief yang terjal endapan makin menipis, disamping adanya kecenderungan akumulasi mineral yang berkadar tinggi dijumpai pada zona-zona retakan, zona sesar, dan rekahan pada batuan.

Bijih nikel yang terdapat di bagian tengah dan timur Sulawesi tepatnya di area Sorowako termasuk ke dalam jenis nikel laterit dan bijih nikel silika (*garnierit*). Area Sorowako terdiri dari tiga unit batuan kuartar endapan aluvial dan endapan lakustrin, batuan ultrabasa tersier seperti harzburgit dimana deposit laterit Ni menjadi inang, dan batuan sedimen Kapur. Sebagian besar endapan terletak di bukit dan daerah topografi pegunungan rendah yang terbentuk selama erosi dalam dengan pelapukan serpentinisasi yang kuat dan ultramafik tak terserpentinisasi (Ilyas *et al*, 2016). Profil laterit pada Blok Sorowako dan Blok Petea dapat dilihat pada Gambar 2.10 dan 2.11.



Gambar 2.10 Profil laterit Blok Sorowako (PT Vale Indonesia Tbk, 2017).



Gambar 2.11 Profil laterit Blok Petea (PT Vale Indonesia Tbk, 2017).

2.3 Keuntungan

Keuntungan adalah hasil pendapatan bersih yang diperoleh perusahaan yang dapat dihitung dengan Persamaan 2.1 (Marbun dan Alex, 2010):

$$\text{Keuntungan} = \text{Pendapatan} - \text{Biaya} \dots\dots\dots(3.1)$$

2.3.1 Pendapatan

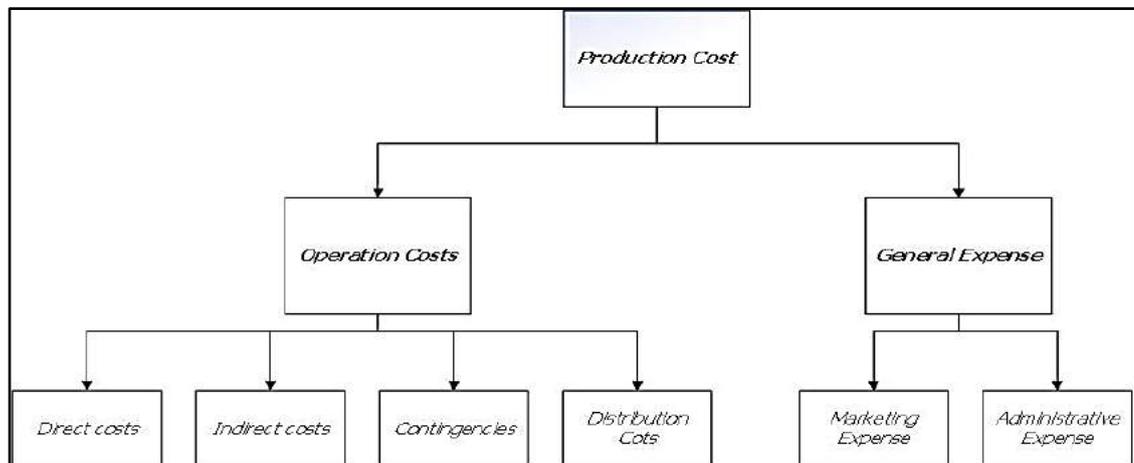
Pendapatan (*revenue*) adalah perkiraan dana yang masuk atau diterima oleh perusahaan sebagai hasil penjualan produksi endapan bahan galian yang dihasilkan sesuai dengan skenario produksi dan harga yang direncanakan (Marbun dan Alex, 2010). Pendapatan tahunan sebuah perusahaan pertambangan dihitung berdasarkan jumlah unit yang diproduksi dan terjual sepanjang tahun berdasarkan harga penjualan per unit. Tingkat produksi tahunan sangat ditentukan dari jumlah tonase bijih yang dihasilkan, kadar bijih yang ditambang, dan persentase *recovery* pada material bijih, sedangkan harga satuan sangat ditentukan oleh jumlah penawaran dan permintaan barang dimana penentuan harga sangat dipengaruhi oleh pemasaran mineral.

2.3.2 Biaya

Dalam proses penambangan, perusahaan biasanya mengeluarkan berbagai macam biaya yang dapat dikelompokkan menjadi tiga golongan dasar, yakni bahan langsung, tenaga kerja langsung, dan *overhead*. Pengertian biaya sebenarnya memiliki dua istilah atau terminologi biaya yang perlu diketahui, yaitu (Giatman, 2010):

- a. Biaya (*cost*) yang dimaksud disini ialah semua pengorbanan yang dibutuhkan dalam rangka mencapai suatu tujuan yang diukur dengan nilai uang.
- b. Pengeluaran (*expencc*) biasanya berkaitan dengan sejumlah uang yang dikeluarkan atau dibayarkan dalam rangka mendapatkan suatu hasil yang diharapkan.

Menurut Jelen (1970) dalam Gentry *and* O'Neil (1984), biaya produksi terdiri dari biaya operasi dan pengeluaran umum. Klasifikasi biaya produksi dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Klasifikasi biaya produksi menurut Jelen, 1970 (Gentry *and* O'Neil, 1984).

Analisis investasi dilakukan menggunakan beberapa komponen biaya. Selain *operational costs* dan *capital costs* digunakan pula beberapa komponen biaya lain sebagai berikut (Gentry *and* O'Neil, 1984):

1. *Cash costs* menunjukkan unit biaya aktual yang dikeluarkan.
2. *Noncash costs* tidak menunjukkan biaya langsung yang dikeluarkan tetapi pengeluaran dapat dilakukan dari pemotongan pendapatan yang diperoleh. Depresiasi dan depleksi merupakan dua contoh utama dari *noncash costs*.
3. *Sunk costs* pengeluaran sederhana yang telah dibuat sebelumnya. *Sunk costs* tidak relevan dalam keputusan investasi kapital yang mempertimbangkan keuntungan dimasa mendatang terhadap biaya yang dikeluarkan dimasa mendatang.
4. *Marginal costs* perubahan jumlah biaya yang dikeluarkan disebabkan oleh perubahan satu unit jumlah produksi.

5. *Cost of capital* pada dasarnya memiliki konsep yang berbeda dengan *capital cost*. *Cost of capital* merupakan peningkatan biaya yang terjadi terhadap modal investasi.
6. *Opportunity costs* adalah hasil atau nilai pengembalian yang terdahulu dari kesempatan investasi yang telah ditolak oleh sebuah perusahaan.

Klasifikasi estimasi biaya menurut *The American Association of Cost Engineers* (AACE) adalah:

1. *Order of Magnitude Estimates* (Estimasi Rasio)

Order of magnitude estimates digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk pengambilan keputusan dalam proyek pembuatan uji kelayakan potensial dan sebagai koreksi pembelanjaan dari anggaran biaya yang telah ditetapkan untuk beralih ke tahap berikutnya dari tahapan-tahapan proyek. Tingkat akurasi estimasi berada pada rentang 30% - 50%. Informasi yang dapat digunakan dalam estimasi seperti lokasi proyek, taksiran kotor dari cadangan potensial dan kadar mineral, metode penambangan, tingkat produksi, dan peralatan produksi yang dibutuhkan.

2. *Preliminary Estimates* (Estimasi Otorisasi *Budget*)

Preliminary estimates digunakan sebagai estimasi lanjutan dari *order of magnitude estimates* untuk menajamkan taksiran ketika telah ada data tambahan yang dapat digunakan. *Preliminary cost* sangat tepat digunakan dalam analisis kelayakan khususnya kelayakan ekonomi dari suatu proyek. Tingkat akurasi estimasi berada pada rentang 15% - 30%. Informasi yang dapat digunakan dalam estimasi seperti tingkat produksi, metode dan rancangan penambangan yang diusulkan.

3. *Definitive Estimates* (Estimasi Proyek Kontrol)

Definitive estimates dapat digunakan untuk beberapa tujuan berikut:

- a. Penetapan kontrak harga.
- b. Sebagai dasar laporan dari status pembiayaan proyek.
- c. Penetapan format akhir dari laporan pembiayaan.
- d. Sebagai informasi dari pembiayaan aktual yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam metode estimasi dimasa mendatang.

Tingkat akurasi estimasi berada pada rentang 5% - 15%. Informasi yang dapat digunakan dalam estimasi seperti perencanaan dan rancangan pasti dari metode penambangan yang akan dilakukan, kapasitas produksi, *ore recovery*, kadar rata-rata, perkiraan dilusi, serta perencanaan pabrik produksi.

4. *Detailed Estimates* (Estimasi Detail)

Detailed estimates merupakan puncak dari prosedur estimasi. Tingkat akurasi estimasi berada pada rentang 2% - 10%. Informasi yang digunakan dalam estimasi seperti rincian gambar mesin, jadwal pasti dari proyek, dan penawaran pasti dari pabrik, kontraktor, dan subkontraktor.

Informasi-informasi biaya yang digunakan dalam estimasi dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama, yaitu:

1. *Historical costs* merupakan informasi biaya yang diperoleh dari perusahaan secara internal, berasal dari data pembiayaan yang telah digunakan perusahaan pada proyek terdahulu. Informasi diperoleh dalam bentuk literatur, arsip akunting, laporan bisnis, asosiasi perdagangan, maupun publikasi teknik lainnya.
2. *Measured costs* didefinisikan sebagai hubungan antara nilai mata uang terhadap waktu dimana proses observasi langsung sangat berkaitan dengan aturan matematik. *Measured costs* secara umum dapat ditentukan dengan menggunakan empat metode yaitu *time studies*, *work sampling*, *man-hour reports*, dan *predetermined motion-time data*.

3. *Policy costs* merupakan salah satu jenis informasi biaya yang unik karena memiliki karakteristik tersendiri dalam penggunaannya untuk tujuan estimasi dan dapat digunakan sebagai nilai mutlak untuk keperluan estimasi biaya dimasa mendatang.

2.4 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas merupakan analisis yang digunakan untuk mengetahui pengaruh model keluaran terkait dengan variasi parameter yang digunakan. Jika dilakukan perubahan kecil pada parameter yang dimasukkan maka menghasilkan perubahan relatif besar pada model keluaran, maka model tersebut dikatakan peka terhadap parameter. Analisis ini memungkinkan untuk mengenali parameter mana yang paling berpengaruh pada model. Akibat yang mungkin terjadi dari perubahan tersebut dapat diketahui dan diantisipasi sebelumnya jika melakukan analisis sensitivitas. Analisis sensitivitas adalah teknik yang digunakan untuk menentukan bagaimana dampak perbedaan nilai variabel independen terhadap variabel dependen tertentu. Analisis ini menghitung tingkat perubahan pada *output* sistem sehubungan dengan perubahan dalam parameter pada *input* sistem (Diego, 2009).

Salah satu metode yang sering digunakan dalam membuat analisis sensitivitas adalah metode sobol. Metode ini adalah metode analisis sensitivitas berbasis varian standar untuk mengevaluasi sistem yang kompleks dan metode ini memiliki indeks sensitivitas berbasis varian yang akurat dengan ukuran sampel yang besar. Namun, metode ini tidak dapat diterapkan kemodel dengan sejumlah besar parameter *input* (Shengqiang *et al*, 2018).

Secara umum analisis sensitivitas menilai dan memberi informasi tentang seberapa besar pengaruh perubahan nilai yang diakibatkan oleh perubahan nilai dari parameter yang berlaku. Simulasi dengan lebih dari satu nilai bisa memberikan berbagai

metode tentang perubahan suatu sistem. Perubahan nilai yang terjadi akibat perubahan parameter dapat mengidentifikasi parameter mana yang paling berpengaruh spesifik terhadap perubahan sistem (Anas *et al*, 2017). Prosedur umum yang harus diikuti saat melakukan analisis sensitivitas adalah (Blank *and* Tarquin, 2018):

1. Tentukan parameter yang mungkin berbeda dari nilai yang akan dianalisis.
2. Pilih kisaran dan peningkatan variasi untuk setiap parameter.
3. Pilih ukuran nilai.
4. Hitung hasil untuk setiap parameter dengan menggunakan ukuran nilai sebagai dasar.
5. Untuk menafsirkan sensitivitas dengan lebih baik, tampilkan secara grafis parameter terhadap ukuran bernilai.

Contoh kasus, misalnya laju pengembalian adalah kriteria ekonomi yang digunakan untuk mengukur tingkat keuntungan. Analisis sensitivitas dapat dilakukan dengan melakukan evaluasi bagaimana laju pengembalian tersebut berubah seiring dengan perubahan yang terjadi pada parameter-parameter seperti investasi awal, keuntungan per tahun, umur proyek, dan nilai sisa. Analisis ini sering digunakan untuk menentukan jumlah perubahan dalam sebuah variabel yang mungkin dibutuhkan sebagai keputusan cadangan berdasarkan pada nilai rata-rata atau perkiraan estimasi terbaik (Stermole *and* Stermole, 2000).

Untuk mengetahui seberapa sensitif suatu keputusan terhadap perubahan faktor-faktor yang memengaruhinya maka setiap pengambilan keputusan pada ekonomi teknik hendaknya disertai dengan analisis sensitivitas. Analisis ini akan memberikan gambaran sejauh mana suatu keputusan akan cukup kuat berhadapan dengan perubahan faktor-faktor yang memengaruhi.