

SKRIPSI

**ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR BESI LATERIT
PADA BLOK X, PT. SEBUKU IRON LATERITIC ORES,
KABUPATEN KOTABARU, PROVINSI KALIMANTAN SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh

**NURUL IKHSAN
D061 18 1001**



**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

SKRIPSI

**ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR BESI LATERIT
PADA BLOK X, PT. SEBUKU IRON LATERITIC ORES,
KABUPATEN KOTABARU, PROVINSI KALIMANTAN SELATAN**

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana strata satu
(S-1) pada Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin*

**NURUL IKHSAN
D061 18 1001**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR BESI LATERIT
PADA BLOK X, PT. SEBUKU IRON LATERITIC ORES,
KABUPATEN KOTABARU, PROVINSI KALIMANTAN SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh :

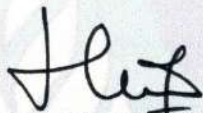
**NURUL IKHSAN
D061 18 1001**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 27 Januari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping,

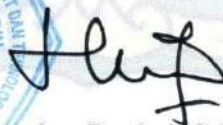


Dr.Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng
NIP. 19771214 200501 1 002



Dr. Adi Tonggiroh S.T.,M.T.
NIP. 19650928200003 1 002

Mengetahui
Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin,



Dr.Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng
NIP. 19771214 200501 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nurul Ikhsan
NIM : D061181001
Program studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul:

**“ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR BESI LATERIT
PADA BLOK X, PT. SEBUKU IRON LATERITIC ORES,
KABUPATEN KOTABARU, PROVINSI KALIMANTAN SELATAN”**

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain, bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri.

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

Makassar, Januari 2023

Yang Menyatakan



Nurul Ikhsan

SARI

Di Indonesia batuan ultramafik banyak tersingkap terutama di bagian tengah dan timur Indonesia, seperti di Kalimantan, Sulawesi, Halmahera, Busur Banda dan Papua. Indonesia merupakan salah satu daerah yang memiliki singkapan batuan ultramafik di permukaan terbesar di dunia. Salah satu lokasi yang menghasilkan endapan besi laterit di Indonesia berada di Pulau Sebuku, Kalimantan Selatan. Kebutuhan dan permintaan hasil tambang dari tahun ke tahun semakin mengalami peningkatan. Keadaan ini harus diimbangi dengan eksplorasi dan penemuan cadangan yang baru. Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini yaitu mengetahui sebaran bijih besi laterit blok X. pada daerah penelitian dan estimasi sumberdaya terukur bijih besi laterit blok X. Pada daerah penelitian. Adapun metode yang digunakan pada penelitian ini dengan membuat model blok dengan menggunakan data geologi bawah permukaan serta melakukan interpolasi data dengan metode *Invers distance weighted*. Adapun hasil yang didapatkan yaitu berdasarkan hasil interpolasi 182 titik bor dengan metode *invers distance weighted*, terlihat sebaran kadar Fe pada lapisan limonit dengan kadar tinggi tersebar dominan di bagian selatan dan timur pada daerah penelitian, sedangkan pada lapisan saprolit terlihat sebaran kadar Fe dominan kadar rendah yang tersebar pada seluruh area daerah penelitian dan estimasi cadangan terukur bijih besi laterit pada daerah penelitian diperoleh total volume bijih besi laterit pada lapisan limonit sebesar 3.071.875 m³ dengan total tonase sebesar 5.099.313 ton sedangkan total volume bijih besi laterit pada lapisan saprolit sebesar 576.875 m³ dengan total tonase sebesar 957.613 ton.

Kata kunci : Ultramafik, besi laterit, Unsur Fe, Model blok.

ABSTRACT

In Indonesia, many ultramafic rocks are exposed, especially in the central and eastern parts of Indonesia, such as in Kalimantan, Sulawesi, Halmahera, Banda Arc and Papua. Indonesia is one of the regions that has the largest surface ultramafic rock outcrops in the world. One of the locations that produce iron laterite deposits in Indonesia is on Sebuku Island, South Kalimantan. The need and demand for mining products from year to year is increasing. This situation must be balanced with exploration and discovery of new reserves. The purpose of this research is to know the distribution of laterite iron ore block X. in the research area and to model the measured reserves of laterite iron ore block X. in the research area. The method used in this research is to create a block model using subsurface geological data and to interpolate the data using the Inverse distance weighted method. The results obtained are based on the interpolation results of 182 drill points using the inverse distance weighted method, it can be seen that the distribution of Fe content in the limonite layer with high content is dominantly distributed in the southern and eastern parts of the study area, while in the saprolite layer, the distribution of Fe content is dominantly low. spread over the entire research area and the estimated measured reserves of laterite iron ore in the study area obtained a total volume of laterite iron ore in the limonite layer of 3,071,875 m³ with a total tonnage of 5,099,313 tons while the total volume of laterite iron ore in the saprolite layer is 576,875 m³ with a total tonnage of 957,613 ton.

Keywords : *Ultramafic, laterite iron, Elemental Fe, Block model.*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan pemetaan geologi dengan judul “*Estimasi Sumberdaya Terukur Besi Laterit pada Blok X PT. Sebuku Iron Lateritic Ores, Kabupaten Kotabaru, Provinsi Kalimantan Selatan*” ini bisa diselesaikan dengan sebaik-baiknya. Shalawat dan salam juga senantiasa kita kirimkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menjadi teladan terbaik bagi umat manusia.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis dalam penyusunan tugas akhir ini, antara lain:

1. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing utama dan sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang senantiasa membimbing dan memberikan pengarahan kepada penulis.
2. Bapak Dr. Adi Tonggiroh S.T., M.T. sebagai Dosen Pembimbing pendamping yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis.
3. Bapak Dr. IR. Musri Mawaleda, M.T., dan Ibu Dr. IR. Haerany Sirajuddin, M.T. selaku dosen penguji yang telah memberi arahan dan masukan kepada penulis.
4. Bapak/Ibu Dosen pada Departemen Teknik Geologi yang telah memberikan banyak ilmu selama proses perkuliahan.

5. Seluruh Staf Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Saudara - saudari Xenolith (Geologi 2018) yang telah menemani dan mendukung penulis dalam pengambilan data di lapangan, pengolahan data, asistensi, serta membantu penulis dan menjadi teman diskusi saat melakukan penelitian Tugas Akhir.
7. Rekan-rekan magang mahasiswa geologi atas nama Rizal (UNDIP) dan Mita (ITATS) yang telah banyak membantu selama penyusunan Tugas Akhir ini.
8. Kedua orangtua terkasih yang tiada hentinya memberikan dukungan baik moral maupun materil kepada penulis.
9. Serta kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas segala bantuan dan dorongan yang diberikan selama ini.

Penulis menyadari banyaknya ketidaksempurnaan yang terdapat pada tulisan ini. Olehnya itu penulis sangat mengaharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak. Akhir kata semoga pada tulisan ini dapat bernilai positif bagi para pembaca maupun penulis.

Makassar, Januari 2023

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUJUAN	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iv
SARI	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Maksud Dan Tujuan	2
1.5 Waktu Dan Lokasi Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Geologi Regional	5
2.1.1 Fisiografi Regional	5
2.1.2 Stratigrafi Regional	7

2.1.3	Struktur Geologi Regional	10
2.2	Batuan Ultramafik	12
2.3	Serpentinisasi	15
2.3.1	Karakter Serpentinisasi Pada Batuan Ultramafik	15
2.3.2	Proses Serpentinisasi Pada Batuan Ultramafik	16
2.3.3	Mineralogi Serpentin	18
2.4	Besi Laterit	20
2.4.1	Faktor Faktor Pengontrol Laterisasi	21
2.4.2	Endapan Bijih Besi Laterit	24
2.4.3	Genesa Endapan Bijih Besi Laterit.....	25
2.4.4	Zonasi Profil Endapan Besi Laterit	27
2.5	Permodelan dan Perhitungan Sumberdaya.....	29
2.6	Metode <i>Inverse Distance Weighted</i>	31

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Metode Penelitian	36
3.2	Tahapan Penelitian	36
3.2.1	Tahap Persiapan	37
3.2.2	Tahap Pengumpulan Data	37
3.2.3	Tahap Pengolahan dan Analisis Data	39
3.2.3.1	Metode <i>Inverse Distance Weighted (IDW)</i>	40
3.2.3.2	Permodelan dan Estimasi Sumberdaya Terukur.....	41
3.2.4	Penyusunan Penyusunan Laporan Akhir	41

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Data Penelitian	44
4.2	Litologi Pada Daerah Penelitian	44
4.2.1	Satuan Peridotit Terserpentinisasi	46
4.2.1	Satuan Serpentininit.....	47
4.3	Profil Laterit	48
4.3.1	Profil Geokimia <i>Iron</i> Laterit.....	49
4.4.	Interpolasi Sebaran Unsur Fe Pada Daerah Penelitian.....	51
4.4.1	Interpolasi Sebaran Unsur Fe Pada Lapisan Limonit	52
4.4.2	Interpolasi Sebaran Unsur Fe Pada Lapisan Saprolit	53
4.5	Permodelan Dan Estimasi Sumberdaya Terukur Fe.....	54

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran	59

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

- **Peta Sebaran Titik Bor**
- **Peta Sebaran Batuan Peridotit Dan Serpentininit**
- **Peta Distribusi Unsur Fe Lapisan Limonit**
- **Peta Distribusi Unsur Fe Lapisan Saprolit**
- **Model Blok Lapisan Limonit**
- **Model Blok Lapisan Saprolit**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta tunjuk lokasi penelitian, Peta lokasi wilayah kerja PT. Sebuku Iron Lateritic Ores (sumber:www.welt-atlas.de dan http://www.bappeda-kotabaru.info)	3
Gambar 2.1.	Kerangka tektonik Kalimantan (Hall, 2014).	6
Gambar 2.2.	Korelasi satuan batuan Lembar Kotabaru, Kalimantan Selatan (Rustandi dkk, 1995)	7
Gambar 2.3	Peta geologi regional Pulau Sebuku skala 1 : 250.000 (Rustandi dkk, 1995).....	8
Gambar 2.4	Penampang melintang Kalimantan-Sulawesi (Div. Eksplorasi PT. SILO, 2013).....	12
Gambar 2.5	Ilustrasi skenario serpentinisasi pada kerak samudera (Li dan Lee, 2006).....	17
Gambar 2.6	Dehidroksilasi pada mineral-mineral serpentin yang memiliki perbedaan struktur, yang mengontrol batas stabilitas dan laju dehidrasi (Ferrand, 2019)	19
Gambar 2.7.	Diagram komposit topografi laterit (Ahmad, 2006).....	22
Gambar 2.8	Ilustrasi profil zona laterit pada batuan ultramafik beserta kadar unsurnya (Elias, 2005).....	29
Gambar 2.9	Hubungan antara Hasil Eksplorasi, Sumberdaya Mineral dan Cadangan Mineral (BSN, 2011).....	31
Gambar 3.1	Aktivitas <i>logging</i>	37
Gambar 3.2	Aktivitas <i>logging</i>	38
Gambar 3.3	Aktivitas Analisis Lab	39
Gambar 3.4	Diagram Alir Metode dan Tahapan Penelitian	43
Gambar 4.1	Peta sebaran titik bor pada daerah penelitian	44
Gambar 4.2	Peta geologi Pulau Sebuku (andhi Cahyadi, 2017)	45
Gambar 4.3	Kenampakan sampel <i>core</i> peridotit terserpentinisasi pada <i>Hole Id</i> BT-223R	47

Gambar 4.4	Kenampakan petrografi peridotit terserpentinisasi pada daerah penelitian dengan nomor sampel BT-223R.....	48
Gambar 4.5	Kenampakan megaskopis litologi serpentinit pada titik pengeboran BT-232R.....	48
Gambar 4.6	Kenampakan petrografi serpentinit pada daerah penelitian dengan nomor sampel BT-232R yang memperlihatkan mineral kuarsa, serpentin, dan mineral opak.....	51
Gambar 4.7	Salah satu kenampakan profil endapan laterit pada lapangan Blok X Pulau Sebuku.....	49
Gambar 4.8	Profil Geokimia laterit.....	51
Gambar 4.9	Penampang hasil pemboran Blok X.....	51
Gambar 4.10	Sebaran unsur Fe pada lapisan limonit.....	52
Gambar 4.11	Sebaran unsur Fe pada lapisan saprolite.....	53
Gambar 4.12	Pemodelan 3D sebaran Fe pada lapisan limonit.....	55
Gambar 4.13	Kenampakan vertikal pemodelan sebaran Fe pada Section A-B...	55
Gambar 4.14	Pemodelan 3D sebaran Fe pada lapisan saprolit.....	56
Gambar 4.18	Kenampakan vertikal pemodelan sebaran Fe pada Section A-B...	56

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Estimasi Sumber daya Daerah Penelitian.....	58
-----------	---	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya geologi, di setiap pulau yang ada di Indonesia selalu memiliki kekayaan sumber daya geologi yang dapat dimanfaatkan untuk kepentingan umat manusia. Salah satu sumber daya geologi yang dimiliki oleh Indonesia adalah sumber daya mineral khususnya bijih besi laterit.

Bijih besi adalah produk residual pelapukan kimia pada batuan ultramafik. Pelapukan pada peridotit menyebabkan unsur-unsur dengan mobilitas rendah sampai *immobile* seperti Ni, Fe dan Co mengalami pengayaan secara residual dan sekunder. Salah satu lokasi yang menghasilkan bijih besi laterit di Indonesia berada di Pulau Sebuku, Kalimantan Selatan. Laterit di Pulau Sebuku ini memiliki karakteristik yang berbeda dengan laterit di tempat lainnya seperti Soroako dan Pomalaa. Laterit di Pulau Sebuku cenderung memiliki kandungan nikel yang rendah dengan kandungan besi yang tinggi. (Cahyadi dkk., 2017).

Menurut Sutisna (2006) cadangan bijih besi laterit di Pulau Sebuku mencapai 426,5 juta ton, yang merupakan cadangan bijih besi terbesar di Indonesia. Estimasi sumber daya pada daerah penelitian dilakukan dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weight (IDW)* untuk penaksiran kadar bijih besi laterit. Metode IDW dianggap paling baik dalam hal ketepatan penaksirannya. Metode *inverse distance weighted* merupakan metode yang memperhitungkan letak ruang (jarak),

yang merupakan kombinasi linear atau harga rata-rata tertimbang (weighting average) dari titik-titik data yang ada di sekitarnya (Haris,2005).

Proses IDW akan memberikan nilai pengestimasi kadar blok berdasarkan kadar-kadar sampel yang telah dikoreksi. Berdasarkan hal tersebut, dilakukan penelitian dengan judul “*Estimasi Sumberdaya Terukur Besi Laterit pada Blok X PT. Sebuku Iron Lateritic Ores, Kabupaten Kotabaru, Provinsi Kalimantan Selatan*”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas dapat dirumuskan masalah dalam penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana sebaran bijih besi laterit Blok X pada daerah penelitian?
2. Bagaimana estimasi sumberdaya terukur bijih besi laterit Blok X pada daerah penelitian?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian yang dilakukan, penulis membatasi masalah yang akan diangkat yaitu penelitian ini berfokus pada *grade* bijih besi, conto permodelan geologi serta sumberdaya terukur bijih besi laterit yang berada pada Blok X di wilayah IUP PT. Sebuku Iron Lateritic Ores.

1.4 Tujuan Penelitian

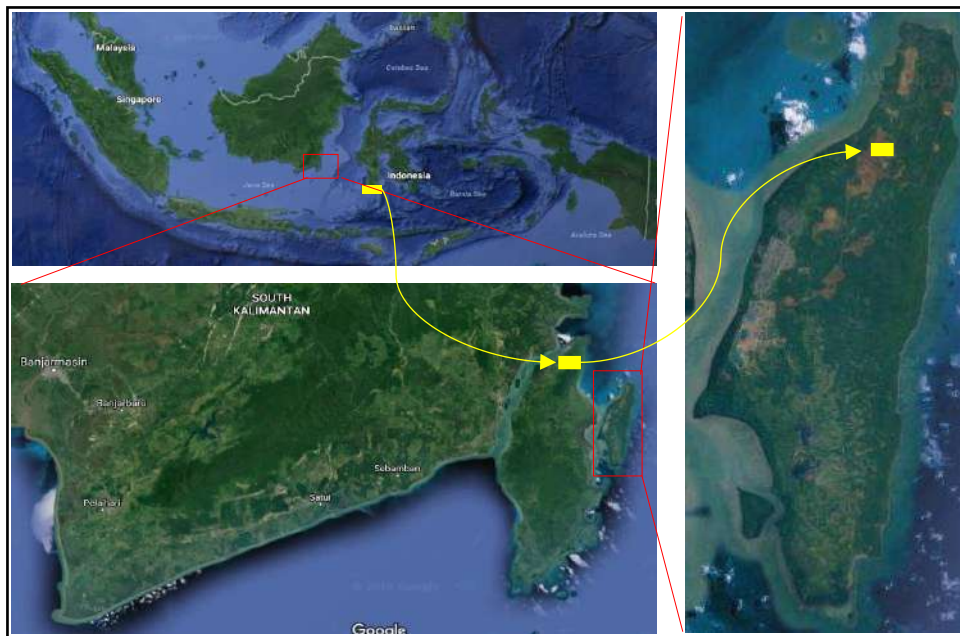
Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui sebaran bijih besi laterit Blok X pada daerah penelitian
2. Estimasi sumberdaya terukur bijih besi laterit Blok X pada daerah penelitian.

1.5 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama waktu magang industri berlangsung yang berjalan kurang lebih 3 bulan. Daerah penelitian secara administratif terletak pada Kecamatan Pulau Sebuku termasuk dalam Kabupaten Kotabaru, Provinsi Kalimantan Selatan. Secara geografis, posisi Pulau Sebuku terletak antara $4^{\circ}5'35''$ - $4^{\circ}9'27''$ LU dan $117^{\circ}31'39''$ - $117^{\circ}35'55''$ BT.

Lokasi penelitian dapat dicapai dengan menggunakan pesawat melalui jalur udara dari Makassar menuju Kotabaru dengan waktu tempuh sekitar 55 menit, dari Kotabaru ke lokasi penelitian dapat dicapai dengan kapal waktu tempuh sekitar 40 menit. Lokasi penelitian merupakan IUP dari PT. Sebuku Iron Lateritic Ores (PT. SILO).



Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian, Peta lokasi wilayah kerja PT. Sebuku Iron Lateritic Ores, (sumber: www.welt-atlas.de dan <http://www.bappeda-kotabaru.info>)

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini secara umum sebagai acuan dalam melakukan tahapan eksplorasi yang efektif serta evaluasi terhadap proses yang dilakukan dalam sebaran dan conto permodelan geologi di blok lainnya serta dapat mengaplikasikan teori-teori yang dijumpai di bangku perkuliahan dengan dunia kerja.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

2.1.1 Fisiografi Regional

Pulau Sebuku secara geografis terletak antara 4°9'27" - 4°5'35" LU dan 117°31'39" - 117°35'55" BT. Secara geologi, Pulau Sebuku masuk dalam Peta Geologi Regional Lembar Kotabaru yang secara fisiologis termasuk ke dalam Anak Cekungan Asam-asam dan Anak Cekungan Pasir (Rustandi dkk., 1986). Anak Cekungan Asam-Asam termasuk ke dalam Cekungan Barito, sedangkan Anak Cekungan Pasir termasuk dalam Cekungan Kutai. Cekungan Barito dengan Anak Cekungan Asam-Asam dipisahkan oleh Pegunungan Meratus dan dengan Anak Cekungan Pasir oleh Pegunungan Kukusan. Kedua anak cekungan itu di sebelah barat dibatasi oleh Pegunungan Meratus, timur oleh Tinggian P. Laut, selatan oleh Laut Jawa, dan di utara oleh Tinggian Lintang Paternoster. Tinggian Lintang Paternoster disebut juga Tinggian Lintang Barito Kutai atau *Adang Flexure* atau Sesar Adang yang memisahkan kedua anak cekungan tersebut dari Cekungan Kutai (Rustandi, dkk., 1995).

Menurut Nurhakim, dkk (2011) morfologi yang berkembang pada daerah Pulau Sebuku secara umum dapat dibagi menjadi 2 satuan, yaitu satuan morfologi pedataran dan satuan morfologi perbukitan.

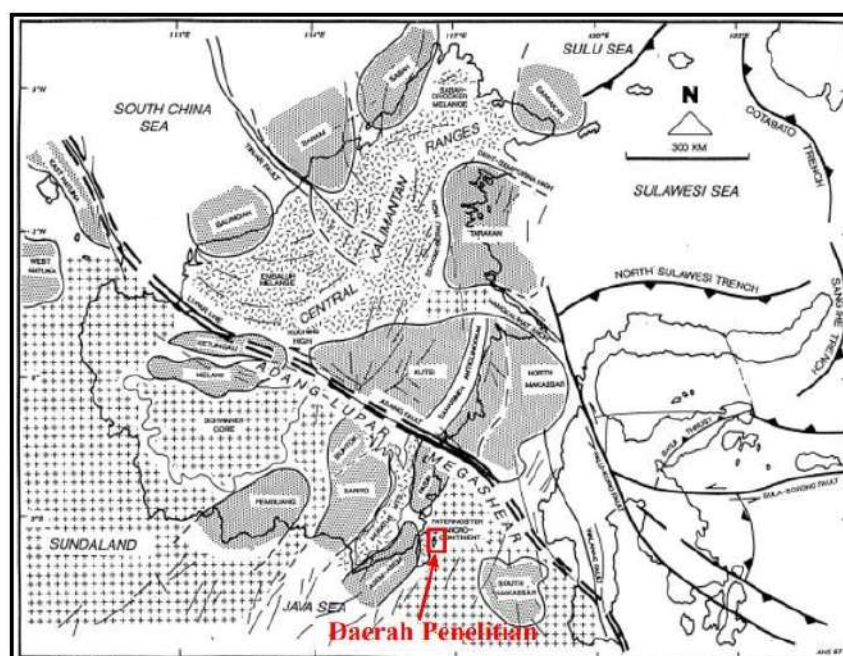
1. Satuan morfologi pedataran

Satuan morfologi pedataran tersebar hampir di seluruh wilayah penelitian khususnya pada daerah pantai. Satuan morfologi ini memiliki elevasi tertinggi

kurang dari 50 mdpl, dan elevasi terendah 0 mdpl yang merupakan garis pantai. Satuan ini memiliki kemiringan lereng $\pm 11\%$ atau 7° . Satuan morfologi ini dapat dipisahkan lagi menjadi satuan morfologi dataran kering dan dataran berair. Sungai-sungai pada satuan morfologi ini memiliki pola penyebaran subdendritik, bermeander dan merupakan sungai permanen.

2. Satuan Morfologi perbukitan

Satuan morfologi perbukitan terdapat pada daerah Selatan. Satuan ini memiliki elevasi tertinggi 150 mdpl dan terendah 50 mdpl. Satuan ini memiliki kemiringan lereng lebih dari 11%. Sungai-sungai bersifat musiman dengan pola aliran sungansubdendritik-dendritik. Satuan morfologi perbukitan ini dapat dibagi menjadi dua yaitu perbukitan bergelombang sedang dan perbukitan bergelombang kuat.

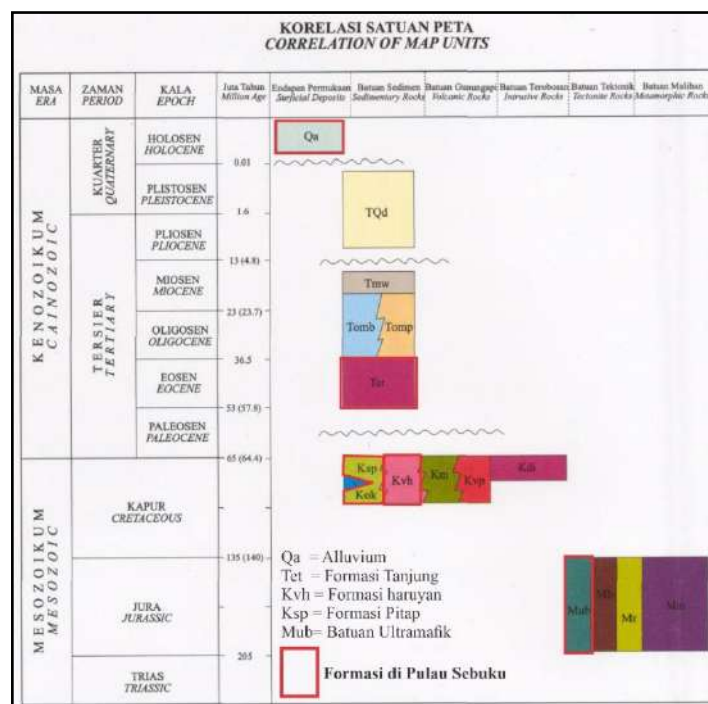


Gambar 2.1. Kerangka tektonik Kalimantan (Hall, 2014).

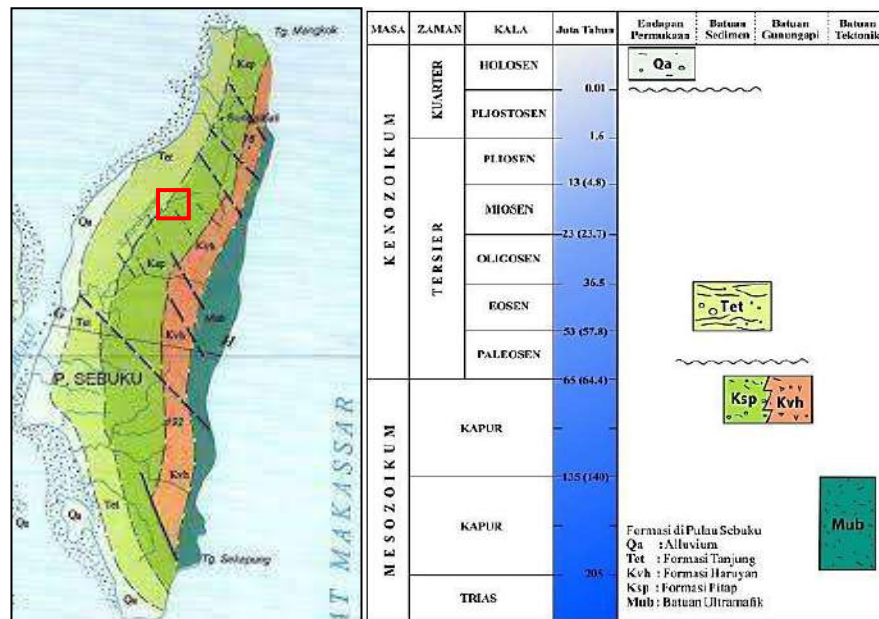
2.1.2 Stratigrafi Regional

Secara regional, stratigrafi lembar Kotabaru dan Pulau Sebuku dibagi oleh Rustandi dkk. (1995) menjadi 16 formasi, yaitu Batuan Bancuh, Batupasir Kersikan dan Rijang Radiolaria, Sekis Garnet Amfibolit, Batuan Ultramafik, Diorit, Olistolit Kintap, Formasi Pitap, Anggota PAAU, Formasi Manunggal, Formasi Haruyan, Formasi Tanjung, Formasi Pamaluan, Formasi Berai, Formasi Warukin, Formasi Dahor, dan Alluvium. Kolom korelasi regional Lembar Kotabaru dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Pulau Sebuku sendiri secara stratigrafi regional tersusun atas lima formasi, dari yang tua ke muda, yaitu sebagai berikut: Batuan Ultramafik, Formasi Pitap, Formasi Haruyan, Formasi Tanjung, dan Alluvium. Peta geologi regional Pulau Sebuku dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.2. Korelasi satuan batuan Lembar Kotabaru, Kalimantan Selatan (Rustandi dkk, 1995)



Gambar 2.3 Peta geologi regional Pulau Sebuku skala 1 : 250.000 (Rustandi dkk, 1995)

1. Batuan Ultramafik (Mub)

Formasi ini terdiri atas harzburgit, dunit, serpentinit, gabbro, basalt, dan piroksenit yang telah terserpentin. Mineral pembentuknya berupa olivin dan piroksen yang umumnya berubah menjadi serpentin, klorit, dan mineral bijih. Dalam unit ini juga dijumpai mikrodiorit berupa bodin berukuran 1-2 m, dengan arah sumbu $N290^{\circ}E$ yang tersingkap di bagian barat Lembar. Batuan ultramafik ini bersentuhan secara tektonik dengan satuan di sekitarnya. Sebarannya terdapat di daerah Pegunungan Kusan, sekitar G. Tanahbeambin, di lereng timur G. Sebatung di Pulau Laut, dan di Pulau Sebuku. Formasi ini merupakan batuan yang tertua, diduga berumur Jura (Rustandi dkk, 1995).

2. Formasi Pitap (Ksp)

Formasi Pitap terdiri atas perselingan konglomerat, batupasir *wacke* dan batulanau, dengan sisipan batugamping, breksi, batulempung konglomerat dan, basalt. Konglomerat umumnya berlapis baik, komponennya berupa basalt,

batulempung, batuan ultramafik, rijang, batugamping, gabbro, dan diabas (Rustandi dkk, 1995). Formasi ini diduga berumur Kapur Akhir dan terendapkan di lingkungan laut dangkal. Tebal formasi ini antara 1000-1500 m. Formasi ini menjemari dengan Formasi Haruyan.

3. Formasi Haruyan (Kvh)

Formasi Haruyan terdiri atas lava basalt, breksi aneka bahan, dan tuf. Komponen breksi formasi ini berupa basalt, rijang, batulanau, dan *greywacke*. Lokasi tipe formasi ini ada di Sungai Haruyan, Kalimantan Selatan. Formasi Haruyan memiliki ketebalan mencapai 1250 meter dan menjemari dengan Formasi Pitap. Umur dari formasi ini diduga berumur Kapur Atas (Rustandi dkk., 1986 dan Nurhakim dkk., 2011).

4. Formasi Tanjung (Tet)

Formasi Tanjung terdiri atas perselingan konglomerat, batupasir dan batulempung dengan sisipan serpih, batubara dan batugamping. Bagian bawah formasi ini terdiri atas konglomerat dan batupasir dengan sisipan batulempung, serpih, dan batubara. Bagian atas formasi ini terdiri atas batupasir dan batulempung dengan sisipan batugamping. Batugamping pada formasi ini banyak mengandung fosil *Discocyclus sp.*, *Nummulites sp.*, dan *Lepidocyclus sp.* (Rustandi dkk, 1995). Berdasarkan kandungan fosil yang ditemukan maka diperkirakan umur formasi ini yaitu Eosen. Lingkungan pengendapan bagian bawah formasi ini berupa fluviatil dan beralih menjadi delta pada bagian atas. Lokasi tipe dari formasi ini berada di daerah Tanjung, Kalimantan Selatan. Formasi Tanjung mengendap

secara tak selaras di atas Formasi Pitap dan Formasi Haruyan (Rustandi dkk., 1986; dan Nurhakim dkk., 2011).

5. Alluvium (Qa)

Alluvium di sini terdiri atas kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan lumpur. Alluvium ini terbentuk sebagai endapan sungai, rawa, dan pantai (Rustandi dkk, 1995).

2.1.3 Struktur Geologi Regional

Menurut Van Bemmelen (1949), struktur kalimantan dapat dibagi menjadi 3 zona, yaitu zona barat laut – barat dan sentral, zona tenggara serta zona timur laut-utara. Zona tenggara sendiri terdiri atas Pegunungan Meratus, Pulau Laut, dan Antiklinorium Samarinda.

Wakita dkk (1998) menyebut *basement* daerah Meratus sebagai Kompleks Meratus. Kompleks Meratus tersebar pada Pegunungan Meratus-Bobaris dan Pulau Laut (Gambar 2.4.). Komposisi batuan di Kompleks Meratus terdiri atas batuan metamorf tekanan tinggi (Sekis Hauran dan Filit Palaihari), batuan ultramafik (Ofiolit Meratus), dan batuan bancuh yang berisi rijang, batugamping, dan basalt di dalam matriks lempung. Rentang umur batuan di Meratus Kompleks yaitu dari mulai Jura-Kapur Akhir (Wakita, 2000).

Kegiatan tektonik Pulau Laut dan Pulau Sebuku menurut Rustandi dkk (1995) diduga telah berlangsung sejak Zaman Jura, yang menyebabkan bercampurnya batuan ultramafik, batuan bancuh, batuan malihan, dan rijang radiolarian. Pada zaman Kapur Awal atau mungkin lebih tua, terjadi kegiatan magmatisme. Magma ini menerobos batuan yang dihasilkan pada zaman Jura.

Semua batuan tersebut merupakan alas Formasi Pitap dan anggotanya, yang berumur Kapur Awal bagian atas. Pada Kapur Akhir bagian bawah terjadi kegiatan tektonik yang menyebabkan tersesarkannya batuan ultramafik ke atas Formasi Pitap. Pada Kapur Akhir bagian atas terjadi genang laut, sementara itu terjadi pula kegiatan vulkanik yang menghasilkan endapan Formasi Manunggal fasies sedimen dan fasies vulkanik.

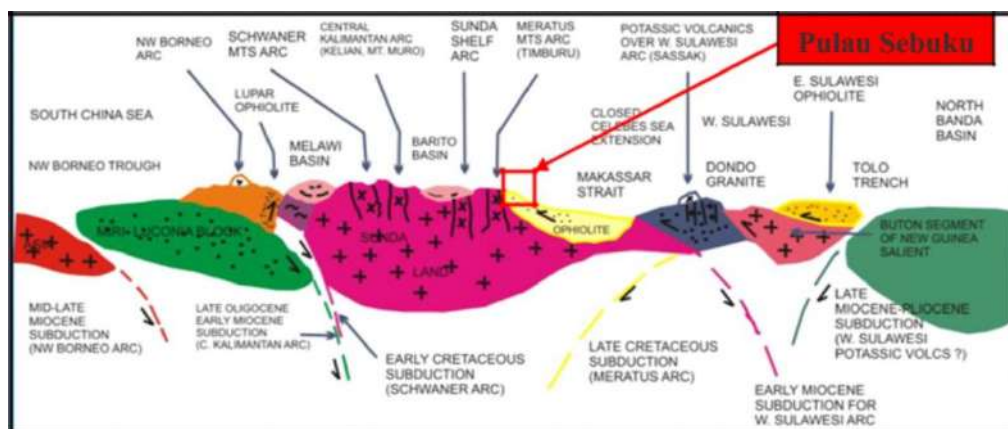
Pada awal Paleosen terjadi pengangkatan yang kemudian diikuti oleh pendataran sampai Eosen dan menghasilkan Formasi Tanjung bagian bawah. Kemudian diikuti kembali genang laut yang menghasilkan Formasi Tanjung bagian atas. Pada Kala Oligosen genang laut mencapai puncaknya dan terbentuklah paparan karbonat yang sangat luas sehingga dihasilkan Formasi Berai yang menutupi seluruh batuan yang lebih tua. Kegiatan ini dibarengi pengendapan klastika yang menyusun Formasi Pamaluan (Rustandi dkk, 1995).

Paparan laut berkembang sampai Miosen Awal, kemudian terjadi susut laut pada Miosen Tengah dan terbentuklah endapan darat yang menyusun Formasi Warukin. Pada Miosen Akhir, terjadi lagi kegiatan tektonik yang kuat yang menyebabkan batuan tua terangkat ke permukaan, membentuk Tinggian Meratus yang memisahkan Cekungan Barito dan Pasir serta berbagai anak cekungan. Pada Plio-Plistosen berlangsung lagi pendataran dan terbentuklah Formasi Dahor (Rustandi dkk, 1995).

Rustandi dkk (1995) mengatakan struktur geologi yang berkembang di Pulau Laut dan Pulau Sebuku umumnya berupa sesar dan lipatan. Sesar naik umumnya berarah hampir utara-selatan, sedangkan sesar geser memiliki orientasi hampir

barat-timur, dan sesar turun memiliki arah relatif utara-selatan. Arah sumbu lipatan dalam batuan sedimen Pra-Tersier maupun Tersier, umumnya memiliki arah timur laut-barat daya atau hampir utara-selatan.

Berdasarkan geologi regional, Pulau Sebuku merupakan daerah anjakan dari ofiolit, yang terjadi akibat adanya gaya deformasi tektonik dari lempeng yang menunjam di sebelah timur Sulawesi yang terjadi pada kala Miosen–Pliosen. Dapat diketahui bahwa struktur utama yang berkembang di daerah ini merupakan struktur-struktur sesar anjakkkan (Gambar 2.5) dengan struktur minor berupa sesar geser, sesar naik dan perlipatan (Div. Eksplorasi PT. SILO, 2013). Daerah penelitian berdasarkan peta geologi regional memiliki kelurusan dengan orientasi baratlaut-tenggara.



Gambar 2.4 Penampang melintang Kalimantan-Sulawesi (PT. SILO, 2013)

2.2. Batuan Ultramafik

Batuan ultramafik hadir dalam bumi sebagai komponen utama penyusun mantel atas di bawah kerak benua atau kerak samudera (Kadariusman, 2009). Secara sederhana batuan beku ultramafik adalah batuan beku yang secara kimia mengandung kurang dari 45% SiO_2 dari komposisinya. Kandungan mineralnya

didominasi oleh mineral-mineral berat dengan kandungan unsur-unsur seperti Fe (besi) dan Mg (magnesium) (Ahmad, 2008).

Winter (2001) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa batuan ultramafik adalah batuan beku yang tersusun oleh 90% mineral mafik. Mineral-mineral tersebut memiliki warna gelap yang disebabkan oleh kandungan magnesium dan besi yang tinggi. Penamaan batuan “ultramafik” dan “ultrabasa” memiliki perbedaan arti. Batuan ultrabasa merupakan jenis batuan yang secara geokimia mengandung sangat sedikit silika dan jarang ditemukannya kehadiran mineral-mineral ferromagnesian. Mineral-mineral ferromagnesian berwarna gelap dengan unsur utama Fe dan Mg. Mineral yang sedikit mengandung unsur utama Fe dan Mg menandakan keterdapatannya didominasi oleh silika feldspar, feldspathoid, dan muskovit (Ahmad, 2008).

Mineral-mineral mafik merupakan kelompok dari mineral olivin, orthopiroksen, klinopiroksen, biotit, hornblende/amfibol, kromit, turmalin, besi oksida, sebagian kecil garnet dan spinel, serta terkadang biotit. Maka, diketahui bahwa sebagian besar batuan ultramafik merupakan batuan ultrabasa, namun tidak semua batuan ultrabasa merupakan batuan ultramafik. Sebagai contoh, batuan piroksenit memiliki komposisi silika mencapai kadar 60%, namun tergolong dalam batuan ultramafik karena didominasi oleh mineral piroksen.

Beberapa mineral dominan yang hadir dalam batuan ultramafik, adalah sebagai berikut (McDonough dan Rudnick, 1998):

1. Olivin

Mineral olivin di dalam batuan ultramafik didominasi oleh forsterit (Mg_2SiO_4). Umumnya forsterit dalam olivin dapat mencapai kisaran 90%-92%

hingga yang tertinggi 94%, sedangkan sisanya yaitu berupa fayalit (Fe_2SiO_4). Peridotit olivin umumnya memiliki kandungan Ca mulai dari beberapa ratus hingga seribu ppm. Pertukaran Ca antara klinopiroksen dan olivin digunakan sebagai geobarometer untuk peridotit spinel karena batuan ini relatif tidak sensitif terhadap tekanan.

2. Ortopiroksen

Kandungan alumina dari ortopiroksen pada fasies peridotit garnet umumnya rendah dan bervariasi, biasanya ortopiroksen pada fasies ini digunakan untuk mengetahui tekanan pembentukannya. Secara umum, kandungan CaO pada ortopiroksen sangat bervariasi dan umumnya digunakan untuk mengetahui suhu pembentukan, sedangkan kandungan Na_2O dan TiO_2 dapat mencerminkan komposisi dari peridotit tersebut.

3. Klinopiroksen

Kandungan alumina dari klinopiroksen pada fasies peridotit garnet umumnya rendah dan bervariasi, biasanya klinopiroksen pada fasies ini digunakan untuk mengetahui tekanan pembentukannya. Kandungan Cr_2O_3 pada klinopiroksen umumnya tinggi.

4. Spinel

Spinel dapat diartikan sebagai mineral atau nama grup mineral. Grup spinel sendiri terdiri atas spinel (MgAl_2O_4), hercynit (FeAl_2O_4), magnesio-kromit (MgCr_2O_4) dan kromit (FeCr_2O_4). Umumnya, lherzolit memiliki spinel dengan kandungan Al yang tinggi dan Cr yang rendah, di sisi lain harzburgit memiliki kandungan Al yang rendah dan Cr yang tinggi.

5. Plagioklas

Plagioklas dalam peridotit didominasi oleh anorthit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Rasio anorthit dalam peridotit plagioklas memiliki kisaran antara 50%-80%, sedangkan sisanya yaitu berupa albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). Plagioklas dapat juga ditemukan sebagai mineral sekunder pada peridotit xenolith yang menunjukkan komposisi yang basa dan dapat terkait dengan kandungan Na yang relatif tinggi yang akan membentuk amfibol.

2.3. Serpentinisasi

2.3.1. Karakteristik Serpentinisasi pada Batuan Ultramafik

Serpentinisasi merupakan proses yang dapat mengubah mineral primer pada batuan ultramafik menjadi mineral sekunder seperti serpentin. Apabila batuan mengandung mineral serpentin dalam jumlah yang melimpah, batuan tersebut disebut sebagai serpentinit. Saat lantai kerak samudera tersingkap, batuan akan mengalami interaksi dengan fluida hidrotermal pada batas lempeng divergen, mengalami berbagai macam proses yang dapat mengubah komposisinya termasuk interaksi dengan intrusi batuan mafik seperti gabbro (Escartin dan Canat, 1999). Dimitriev dan Sharaskin (1975) dalam Hekinian (1982) mengklasifikasikan stadia serpentinisasi menjadi dua fase, meliputi proses serpentinisasi seragam dari mineral asal (pseudomorfisme) tanpa bekas ubahan tekstur batuan asal, serta pembentukan *vein*, *veinlet* dan fase mineral lain dari rekristalisasi serpentin.

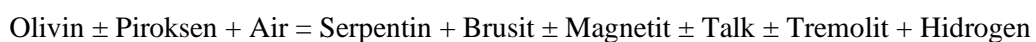
Li dan Lee (2006) mengemukakan bahwa mekanisme serpentinisasi pada batuan ultramafik di kerak samudera dapat terbagi menjadi empat, yaitu infiltrasi air laut dalam kerak samudera, pelapukan batuan yang telah terangkat ke

permukaan pada zona infiltrasi air laut pada zona subduksi, zona *detachment fault*, serta zona dehidrasi pada zona subduksi sehingga fluida lepas dari baji mantel. Menurut Gill (2010), tekstur *seriate* dan *hourglass* pada mineral primer menandakan kuat bahwa proses serpentinisasi berjalan lambat.

Menurut Maffione (2014), proses serpentinisasi pada batuan ultramafik melewati tahapan pengubahan pada suhu yang rendah dan penambahan ikatan H₂O (hidrasi) oleh fluida pada rentang suhu 200-400°C, dan dapat berubah apabila berada dalam kondisi statis dan reduksi. Apabila melebihi kondisi suhu tersebut, mineral olivin atau piroksen akan terubahkan yang terjadi pada kondisi *reduction* atau alterasi *retrograde* (Winter, 2001). Mineral yang paling rentan terkena proses serpentinisasi adalah orthopiroksen dan olivin, sedangkan menurut Moeskops (1977), klinopiroksen cenderung resisten terhadap perubahan. Sisa-sisa tekstur olivin derajat relik akan terlihat sebagai tekstur *mesh structure* dan orthopiroksen dengan lamela pada tekstur bastit (Groppo dkk., 2006).

2.3.2. Proses Serpentinisasi pada Batuan Ultramafik

Serpentinisasi batuan ultramafik menurut Maffione dkk (2014) terjadi pada suhu rendah yang berasal dari proses hidrasi fluida pada suhu 200-400°C. Secara simpel bentuk dari reaksi serpentinisasi dapat dijelaskan sebagai berikut:



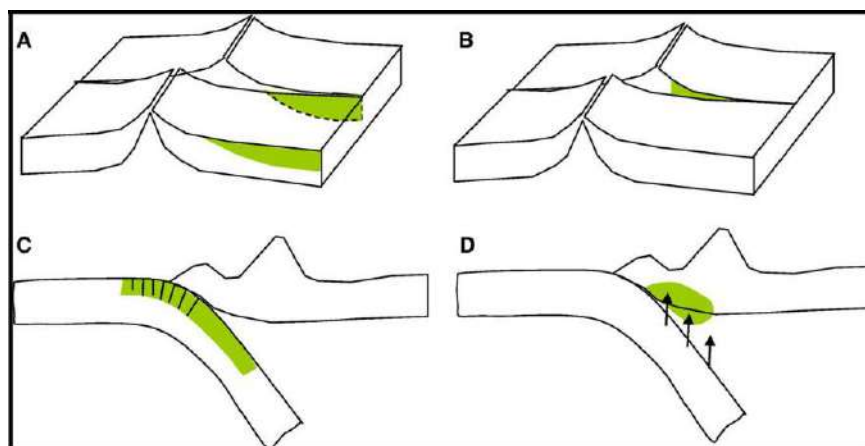
Mekanisme serpentinisasi peridotit dari kerak samudera menurut Li dan Lee (2006) dapat dibagi menjadi empat, yaitu (Gambar 2.10.) :

1. Infiltrasi air laut dalam kerak samudera melalui rekahan samudera
2. Pelapukan peridotit laut yang telah terangkat ke permukaan pada zona

rekahan atau detachment fault sudut rendah.

3. Infiltrasi air laut ke dalam sesar ekstensi yang terbentuk akibat pembengkokkan slab subduksi
4. Dehidrasi pada zona subduksi yang diikuti oleh lepasnya fluida dari material baji mantel

Skenario serpentinisasi A, C, dan D merupakan proses in situ karena prosesnya sebagian besar terjadi di dalam kerak samudera atau baji mantel, sedangkan skenario B merupakan proses serpentinisasi eks situ karena prosesnya dipengaruhi oleh proses pelapukan. Ahmad (2008) menambahkan bahwa proses serpentinisasi tidak selalu terbentuk di dalam dasar laut dengan suhu pembentukan yang mencapai lebih dari 200°C , akan tetapi proses serpentinisasi juga dapat hadir secara sekunder dari pelapukan kimia pada laterit batuan ultramafik di permukaan.



Gambar 2.5. Ilustrasi skenario serpentinisasi pada kerak samudera (Li dan Lee, 2006)

Pada tahap awal serpentinisasi dengan suhu sekitar $200\text{-}300^{\circ}\text{C}$, serpentin akan mulai menggantikan olivin. Kemudian pada tahap selanjutnya serpentin akan mulai menggantikan ortopiroksen pada suhu sekitar $300\text{-}400^{\circ}\text{C}$. Proses serpentinisasi pada tingkat ini juga diikuti oleh peningkatan unsur Pb, Cs dan Li. Hal ini

berdasarkan atas studi batuan metabasaltik dan metasedimen tekanan tinggi, yang memberikan hasil bahwa mobilitas dari unsur litofil (Pb, Cs dan Li) meningkat pada kedalaman 90 km yang sesuai dengan suhu 400°C (Deschamps dkk, 2010).

Proses serpentinisasi menurut Maffione dkk (2014) berkembang melalui beberapa reaksi bergantung pada lingkungan alterasi fluida-batuan-nya. Pada sistem yang didominasi oleh batuan, di mana masuknya air cukup terbatas dan aktivitas besi, magnesium dan silika dikontrol oleh komposisi batuan asalnya. Pada sistem ini urat yang terbentuk berukuran kecil (50-100 μm) yang biasanya terisi oleh serpentin kaya besi dan brusit. Di sisi lain sistem yang berkembang pada lingkungan yang didominasi oleh fluida akan memiliki kondisi yang lebih oksidasi, dan pada lingkungan ini akan terbentuk urat yang lebih tebal yang terisi oleh serpentin, brusit, dan magnetit. Magnetit yang ada pada urat terbentuk merupakan hasil ekstraksi besi dari brusit dan serpentin.

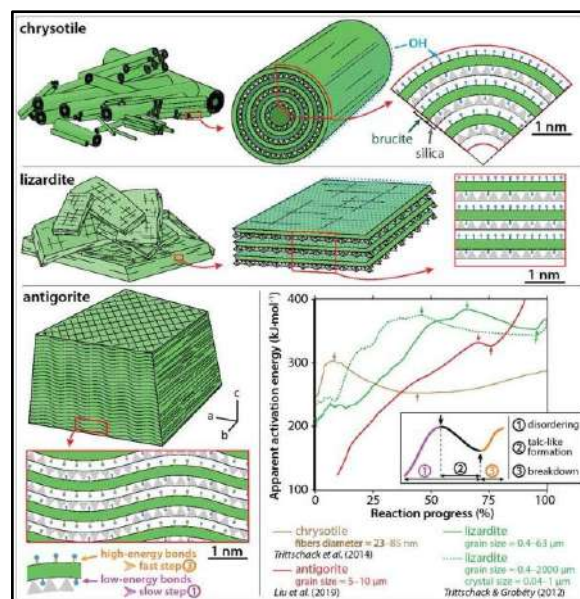
Serpentinisasi pada batuan ultramafik umumnya berasosiasi dengan pembentukan magnetit (Maffione, 2014), sehingga batuan yang telah mengalami proses serpentinisasi biasanya memiliki tingkat kemagnetan yang lebih kuat dibandingkan batuan yang tidak mengalami proses serpentinisasi (Ahmad, 2008). Sifat kemagnetan pada peridotit sendiri menurut Maffione dkk (2014) erat kaitannya dengan derajat serpentinisasi.

2.3.3. Mineralogi Serpentin

Serpentin menurut Ahmad (2008) dibentuk oleh alterasi hidrotermal dari mineral-mineral feromagnesian seperti olivin, piroksen dan amfibol. Serpentin magnesian murni mengandung sekitar 13% air pada sistem kristalnya yang akan

keluar pada suhu $> 800^{\circ}\text{C}$. Serpentin sangat umum dijumpai sebagai produk ubahan dari mineral aslinya, terbentuk sebagai pseudomorph. Selain itu serpentin juga dapat mengisi rekahan pada batuan.

Whittaker (1956) menyatakan bahwa struktur kristal dari krisotil adalah berdasarkan kisinya yang silindris dan karakteristik tabularnya yang diamati dalam mikroskop elektron. Berdasarkan polimorfismenya, serpentin terbagi menjadi tiga jenis, meliputi antigorit, lizardit, dan krisotil (klinokrisotil, parakrisotil, dan orthokrisotil). Pada Gambar 2.11, Ferrand (2019) mengilustrasikan bentuk-bentuk polimorf serpentin.



Gambar 2.6. Dehidroksilasi pada mineral-mineral serpentin yang memiliki perbedaan struktur, yang mengontrol batas stabilitas dan laju dehidrasi (Ferrand, 2019).

Tiga bentuk serpentin yang umum dijumpai pada batuan yaitu sebagai berikut:

1. Lizardit

Lizardit merupakan bentuk serpentin yang paling umum dijumpai dan biasanya berbentuk masif. Akan tetapi jika dilihat menggunakan mikroskop, lizardit

berbentuk seperti serabut-serabut halus. Struktur mineralnya tersusun atas susunan layer planar. Lizardit umumnya berwarna hijau terang sampai hijau medium tetapi dapat sangat bervariasi karena kehadiran mineral lain.

2. Antigorit

Antigorit merupakan serpentin yang berbentuk seperti mika, bersisik, berlapis atau foliasi. Struktur mineralnya tersusun atas susunan layer undulating. Lapisannya umumnya saling menyatu tetapi mungkin juga terpisah pada beberapa foliasi yang sangat tipis. Antigorit umumnya berwarna hijau terang sampai hijau medium tetapi dapat sangat bervariasi (kehadiran magnetit mungkin akan memberikan warna abu-abu, coklat atau hitam, begitu juga kehadiran hematit akan memberikan warna coklat dan merah).

3. Krisotil

Krisotil berbentuk serabut yang sangat halus dengan serabut yang biasanya fleksibel dan mudah dipisahkan. Struktur mineralnya tersusun atas susunan layer yang menggulung. Krisotil umumnya terbentuk pada urat. Krisotil umumnya berwarna hijau kekuningan, putih atau abu-abu. Nama lain dari krisotil yang sangat populer di seluruh dunia yaitu asbestos. Menurut perhitungan Powell (1998, dalam Palandri dan Reed, 2004), antigorit lebih stabil dibandingkan krisotil pada suhu 25-350°C. Krisotil sendiri terbentuk secara alami pada suhu di bawah 350°C.

2.4. Besi Laterit

Laterit menurut (Evans, 2004) adalah produk sisa dari pelapukan kimia batuan di permukaan bumi, di mana berbagai mineral asli atau primer mengalami ketidakstabilan karena adanya air, kemudian larut atau pecah dan membentuk

mineral baru yang lebih stabil. Laterit penting sebagai batuan induk untuk endapan bijih ekonomi. Contoh terkenal dari endapan bijih laterit yaitu bauksit dan endapan bijih besi.

Proses untuk menghasilkan endapan laterit yang biasa disebut sebagai lateritisasi merupakan pelapukan kimia yang terjadi pada iklim yang lembab dalam jangka waktu yang lama dan dengan kondisi tektonik yang relatif stabil untuk membentuk regolith yang cukup tebal dengan karakteristik tertentu (Elias, 2005). Singkatnya, proses lateritisasi melibatkan pemecahan mineral primer dan pelepasan beberapa komponen kimia, pelarutan komponen *mobile*, pengkonsentrasian unsur *immobile*, dan pembentukan mineral baru yang stabil.

2.4.1 Faktor-Faktor Pengontrol Laterisasi

Proses dan kondisi yang mengatur dan mengontrol lateritisasi batuan ultramafik sangat banyak dan beragam, sehingga mengakibatkan bervariasinya profil laterit dari satu tempat ke tempat lain. Variasi ini meliputi ketebalan, komposisi kimia dan mineralogi, serta zona laterit yang terbentuk. Elias (2005) menyebutkan beberapa faktor utama yang mempengaruhi efisiensi pelapukan kimia, yaitu sebagai berikut:

1. Suhu dan curah hujan

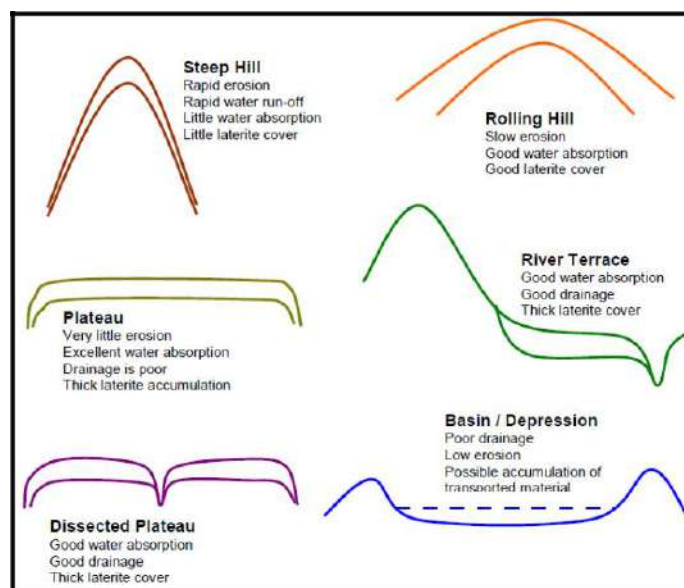
Suhu memainkan peran yang sangat penting dalam mempercepat proses pelapukan kimia. Menurut aturan Van't Hoff (dalam Ahmad, 2008), masing-masing perubahan 10°C suhu akan meningkatkan kecepatan reaksi kimia sekitar dua sampai tiga kali. Hal ini menurut Ahmad (2008) menyebabkan daerah beriklim tropis dengan suhu yang umumnya lebih tinggi dari 20°C sangat ideal untuk

pembentukan laterit.

Curah hujan pun berperan penting dalam pelapukan kimia. Menurut Ellias (2005) curah hujan menentukan jumlah air yang melewati tanah, sehingga mempengaruhi intensitas pencucian. Sebenarnya tingkat curah hujan dapat bervariasi yang nantinya akan membentuk tanah laterit yang berbeda-beda pula (Ahmad, 2008). Pencucian yang kurang konstan pada tanah di iklim kering-basah akan menghasilkan banyak magnesium dan silika dalam bentuk smektit / nontronit, sementara pencucian yang konstan di iklim lembab akan mencegah pembentukan lempung.

2. Topografi

Relief dan kelerengan akan banyak mempengaruhi drainase, seperti banyaknya air yang masuk ke dalam tanah dan muka air tanah (Elias, 2005). Tanah laterit sendiri menurut Ahmad (2008) membutuhkan topografi yang tidak begitu curam (Gambar 2.14.).



Gambar 2.7. Diagram komposit topografi laterit (Ahmad, 2008)

Permukaan tanah yang curam akan mempercepat erosi pada tanah laterit. Topografi yang terlalu datar dengan drainase yang buruk juga tidak begitu bagus, hal ini menyebabkan pencucian berjalan kurang maksimal sehingga tanah laterit sulit terbentuk.

3. Kondisi pH

Menurut Ahmad (2008) kelarutan mineral akan meningkat di perairan yang memiliki kadar pH yang rendah. Dengan demikian, air yang sedikit asam akan mempercepat proses pelapukan kimia. Air asam banyak terbentuk pada iklim tropis basah melalui hujan asam alami.

4. Tektonik

Pengangkatan secara tektonik dapat meningkatkan proses erosi pada tanah laterit, mengubah relief topografi dan menurunkan muka air tanah. Di sisi lain tektonik yang stabil memungkinkan untuk pembentukan tanah laterit karena akan mengurangi proses erosi dan memperlambat gerak air tanah (Ellias, 2005).

5. Jenis batuan asal

Laterit Ni – Fe menurut Ahmad (2008) dapat berkembang pada batuan yang mengandung mineral ferromagnesian yang cukup. Oleh karena itu batuan ultramafik merupakan batuan yang paling cocok untuk menghasilkan laterit Ni – Fe karena memiliki proporsi mineral ferromagnesian yang tinggi.

6. Struktur

Kehadiran sesar dan retakan membuat batuan menjadi bersifat permeable. Ditambah lagi dengan adanya kekar dan belahan yang makin memudahkan air untuk masuk ke dalam batuan. Air yang masuk ke dalam batuan akan dengan mudah

bereaksi dengan mineral pada batuan dan melapukkannya, sehingga suatu area dengan kondisi struktur yang cukup intens akan membuat batuan yang ada di area tersebut lebih mudah mengalami proses pelapukan. Maka dari itu kehadiran struktur berperan sangat penting dalam mempercepat proses pelapukan kimia dan lateritisasi (Elias, 2005).

2.4.2. Endapan Bijih Besi Laterit

Endapan bijih besi tipe laterit menurut Evans (1993) mengandung besi yang umumnya rendah sehingga tidak menarik secara ekonomi. Terkadang endapan laterit yang berasal dari batuan ultramafik bisa mengandung besi yang sangat tinggi, tetapi di beberapa kasus metal lain seperti kobalt dan nikel dapat pula mengalami pengkayaan yang menyebabkan turunnya kadar besi pada endapan laterit. Endapan laterit ini dapat mencapai ketebalan hingga 20 meter tetapi umumnya hanya sekitar 6 meter saja, yang tersusun atas hematit dan goethit dengan alumina yang dapat mencapai 20%. Endapan laterit besi umumnya diambil pada zona limonit.

Di Indonesia jenis endapan bijih besi laterit terdapat dalam jumlah besar hingga ratusan juta ton, terutama di Kalimantan Selatan, Maluku, Papua dan Sulawesi Tenggara. Sementara sifat-sifat dari endapan bijih besi laterit menurut Sutisna (2006), yaitu:

1. Tekstur atau struktur perlapisan laminasi dapat terlihat jelas karena berasosiasi dengan batuan sedimen.
2. Dapat berupa lapisan yang kompak atau masif dan dapat berupa breksi atau konglomerat, sering mengandung bongkah-bongkah atau kerikil peridotit.

3. Komposisi mineral besi beragam, ada yang berupa karbonat, silikat besi, magnetit dan hematit.
4. Kadar Fe berkisar antara 40%- 60%.
5. Mengandung kadar Ni dan Cr yang lebih rendah dari jenis nikel lateritik yaitu rata-rata 0,41% Ni dan 2,1% Cr₂O₃, khususnya yang berasal dari bijih besi laterit.
6. Dapat mengandung bijih besi bog iron, dengan kandungan belerang dan mangan yang tinggi, sedangkan yang berasal sumber air panas dapat mengandung belerang yang relatif lebih tinggi.
7. Kadar akustik impedansi lebih rendah dari tipe nikel lateritik yaitu sekitar 7%.
8. Karena sering adanya perlapisan pemisah bijih besi, kadar Fe dan unsur-unsur lainnya yang terkandung dapat beragam secara lateral maupun vertikal.

2.4.3 Genesa Endapan Bijih Besi Laterit

Jenis endapan bijih besi laterit dihasilkan oleh proses pelapukan yang terjadi pada batuan peridotit / piroksenit dengan melibatkan dekomposisi, pengendapan kembali dan pengumpulan secara kimiawi. Singkatnya, proses lateritisasi menurut Elias (2005) melibatkan pemecahan mineral primer dan pelepasan beberapa komponen kimia, pelarutan komponen *mobile*, pengkonsentrasian mineral *immobile* dan pembentukan mineral baru yang stabil.

Bijih besi tipe laterit menurut Pardiarto dan Widodo (2006) umumnya terbentuk pada daerah dengan topografi yang relatif landai, sehingga membuat proses pelapukan kimia berperan lebih besar dibandingkan pelapukan mekanik.

Pelapukan kimia akan bekerja lebih intens pada iklim yang lembab dengan kondisi tektonik yang relatif stabil dalam jangka waktu yang cukup lama (Elias, 2005). Sementara struktur dan karakteristik tanah lateritik dipengaruhi oleh daya larut mineral dan kondisi aliran air tanah (Pardiarto dan Widodo, 2006). Derajat serpentinisasi batuan asal peridotit / piroksenit sangat berpengaruh terhadap pembentukan zona saprolit, ditunjukkan oleh pembentukan zona saprolit dengan inti batuan sisa yang keras sebagai bentukan dari peridotit / piroksenit yang sedikit terserpentinisasikan, sementara batuan dengan gejala serpentin yang kuat dapat menghasilkan zona saprolit yang relatif homogen.

Fluktuasi air tanah yang kaya CO₂ akan mengakibatkan kontak dengan saprolit batuan asal dan melarutkan mineral-mineral yang tidak stabil seperti serpentin dan piroksen (Pardiarto dan Widodo, 2006). Setelah mencapai muka air tanah (zona saturasi), pergerakan air berubah dari pergerakan vertikal menjadi pergerakan lateral. Air tanah ini kemudian bereaksi dengan mineral-mineral yang tak stabil pada kondisi permukaan (Darijanto, 1986). Unsur Mg, Si, dan Ni dari batuan akan larut dan terbawa aliran air tanah dan akan membentuk mineral-mineral baru pada saat terjadi proses pengendapan kembali. Unsur-unsur yang tertinggal seperti Fe, Al, Mn, CO, dan Ni dalam zona limonit akan terikat sebagai mineral-mineral oksida / hidroksida seperti limonit, hematit, goethit, manganit dan lain-lain.

Akibat pengurangan yang sangat besar dari unsur-unsur Mg dan Si tersebut, maka terjadi penyusutan zona saprolit yang masih banyak mengandung bongkah-bongkah batuan asal. Sehingga kadar relatif unsur-unsur residu di zona laterit

bawah akan naik sampai 10 kali untuk membentuk pengayaan Fe_2O_3 hingga mencapai lebih dari 72%. Pada bagian atas profil menurut Gleeson (2003) dapat berkembang ferricrete yang mengandung besi padat dan berfungsi melindungi profil laterit dari erosi.

2.4.4. Zonasi Profil Endapan Besi Laterit

Gleeson. dkk (2003), membagi profil nikel laterit setidaknya menjadi tiga bagian, yakni batuan dasar, zona saprolit dan zona limonit. Pada Gambar 2.8, Elias (2005) mengilustrasikan profil laterit berserta nilai kadar unsur pada umumnya. Bagian-bagian dari profil laterit umumnya dapat ditemukan seluruhnya atau salah satu bagian dari profil laterit tersebut tidak ditemukan.

1. Batuan dasar

Bedrock atau batuan dasar meliputi batuan ultramafik pada susunan endapan laterit. Batuan ultramafik yang dimaksud biasanya adalah batuan peridotit seperti harzburgit, dunit, wherlite, piroksenit, atau bahkan dapat ditemukan gabbro sebagai batuan dasar.

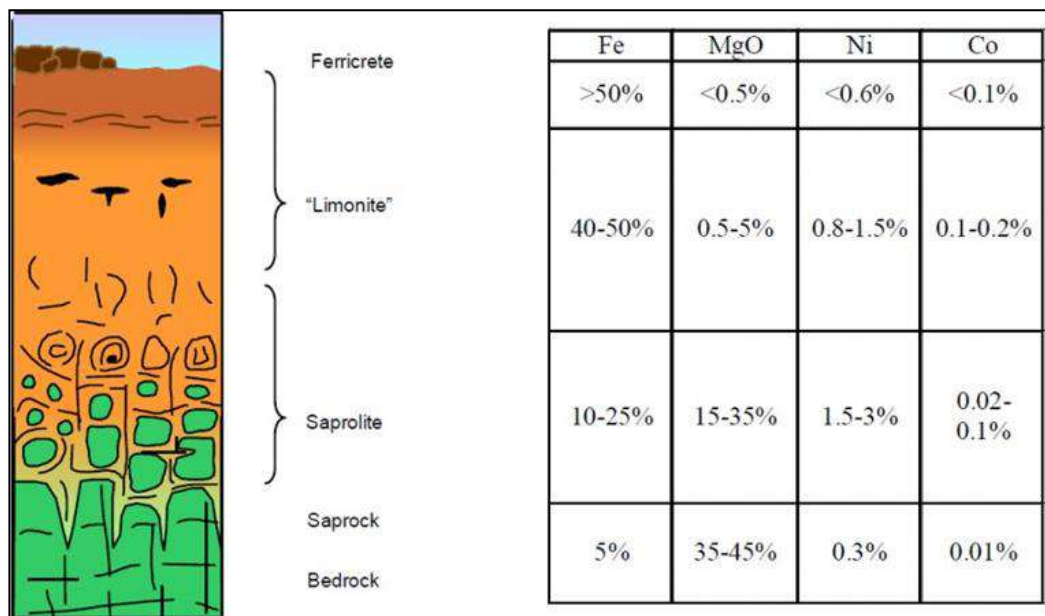
2. Zona Saprolit

Zona saprolit merupakan hasil awal dari pelapukan batuan dasar dan biasanya masih memiliki sisa-sisa tekstur batuan dasarnya. Menurut arahan kerja PT Sebuku Iron Lateritic Ores, zona saprolit terbagi menjadi beberapa layer, yaitu *earthy saprolite*, *saprolite*, *rocky saprolite* dan *hard saprolite*. Batas antara batuan dasar dengan zona saprolit sangat tidak beraturan (bukan batas tegas yang horizontal). Pada kebanyakan profil laterit tampak hadirnya pelapukan mengulit bawang (*spheroidal weathering*) sepanjang kekar dan rekah, menghasilkan blok-blok batuan

dasar yang segar, dikelilingi oleh material alterasi (diketahui sebagai bongkah saprolit atau core stone). Selama proses pelapukan, Mg di batuan dasar sudah hampir seluruhnya tercuci (leached), dan Si sebagian juga telah dilepaskan dari horizon ini melalui aliran air tanah.

3. Zona Limonit

Setelah unsur Si dan Mg tercuci oleh proses pelapukan dan mekanisme air tanah, Fe-oksida mendominasi bagian atas saprolit dan zona limonit yang berada di atasnya. Bagian kaya oksida ini disebut dengan zona limonit. Menurut arahan kerja PT Sebuku Iron Lateritic Ores, zona limonit terbagi menjadi dua layer, yaitu *red limonite* dan *yellow limonite*. Zona ini mengandung hanya sekitar 15% total volume dari batuan dasarnya (Golightly, 1981).



Gambar 2.8. Ilustrasi profil zona laterit pada batuan ultramafik beserta kadar unsurnya (Elias, 2005).

2.5 Pemodelan dan Perhitungan Sumberdaya

Pemodelan adalah kegiatan merepresentasikan kondisi lapangan berdasarkan data hasil pengukuran dan pengujian, dengan menggunakan prosedur dan metode tertentu agar mendekati kondisi yang sebenarnya. Dalam studi ini akan dimodelkan bentuk bijih besi laterit serta mengestimasi kadar antartitik pemercontohan (titik bor, sumur uji dan sebagainya) dan di zona pengaruh, sehingga dapat dihitung jumlah sumber daya terukur besi laterit.

Sumberdaya adalah endapan mineral yang diharapkan dapat dimanfaatkan secara nyata. Sumber daya mineral dengan keyakinan geologi tertentu dapat berubah menjadi cadangan setelah dilakukan pengkajian kelayakan tambang dan memenuhi kriteria layak tambang. Sumber daya mineral adalah suatu konsentrasi atau keterjadian dari mineral yang memiliki nilai ekonomi pada kerak bumi, dengan dimensi, kualitas, dan kuantitas tertentu yang memiliki keprospekan yang beralasan untuk pada akhirnya dapat diekstraksi secara ekonomis. Lokasi, kuantitas, kadar, karakteristik geologi, dan kemenerusan dari sumber daya mineral harus diketahui, diestimasi atau diinterpretasikan berdasarkan bukti dan pengetahuan geologi yang spesifik, termasuk pengambilan sampelnya. Sumber daya mineral dikelompokkan berdasarkan tingkat keyakinan geologi dalam kategori tereka, tertunjuk, dan terukur (BSN, 2011).

1) Sumber Daya Tereka

Sumber daya mineral tereka merupakan bagian dari sumber daya mineral yang kuantitas dan kualitas kadarnya diestimasi berdasarkan bukti geologi dan pengambilan sampel yang terbatas. Bukti geologi tersebut memadai untuk

menunjukkan keterjadiannya tetapi tidak memverifikasi kemenerusan kualitas atau kadar dan kemenerusan geologinya. Adapun informasi didapatkan dari singkapan, paritan uji, sumuran uji, dan lubang bor tetapi kualitas dan tingkat keyakinannya terbatas atau tidak jelas. Jarak antara titik pengamatan maksimum dua ratus meter. Spasi ini bisa diperlebar dengan justifikasi teknis yang bisa dipertanggungjawabkan seperti analisa geostatistika.

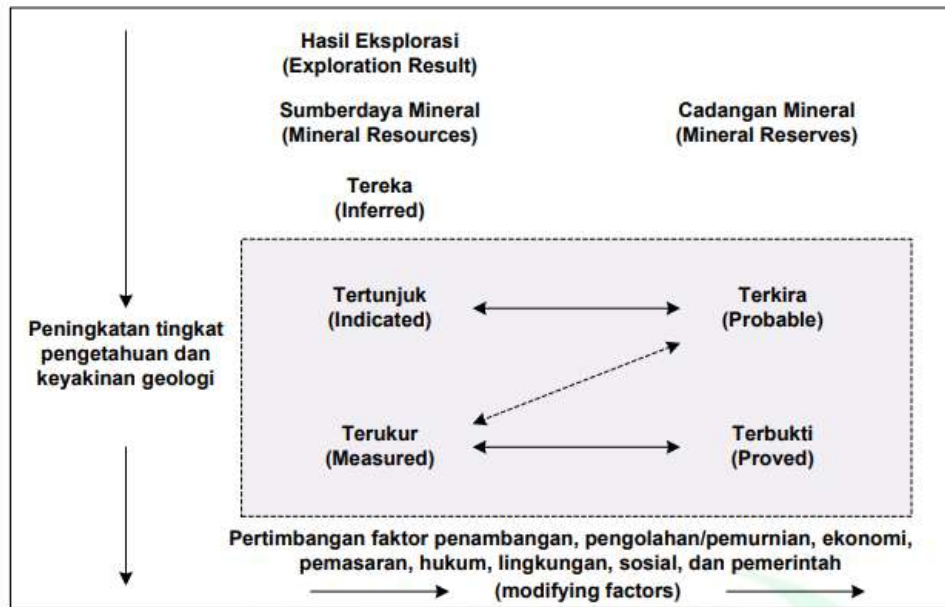
2) Sumber Daya Tertunjuk

Sumber daya mineral tertunjuk merupakan bagian dari sumber daya mineral dengan kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan titik pengamatan, dimensi, dan karakteristik fisiknya dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang cukup untuk memungkinkan penerapan faktor pengubah secara memadai untuk mendukung perencanaan tambang dan evaluasi kelayakan ekonomi cebakan tersebut. Adapun informasi didapatkan dari singkapan, paritan uji, sumuran uji, dan lubang bor. Lokasi pengambilan data masih terlalu jarang atau spasinya belum tepat untuk memastikan kemenerusan kadar, tetapi spasial cukup untuk mengasumsikan kemenerusannya. Jarak antara titik pengamatan maksimum seratus meter. Spasi ini bisa diperlebar dengan justifikasi teknis yang bisa dipertanggungjawabkan seperti analisa geostatistika.

3) Sumber Daya Terukur

Sumber daya mineral terukur merupakan bagian dari sumber daya mineral dengan kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan titik pengamatan, bentuk, dan karakteristik fisik yang dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang memadai untuk memungkinkan penerapan faktor pengubah untuk mendukung perencanaan

tambang terperinci dan evaluasi akhir dari kelayakan ekonomi cebakan tersebut. Bukti geologi didapatkan dari eksplorasi, pengambilan sampel dan pengujian yang terperinci dan andal, dan memadai untuk memastikan kemenerusan geologi dan kadar atau kualitasnya di antara titik pengamatan.



Gambar 2.9. Hubungan antara Hasil Eksplorasi, Sumberdaya Mineral dan Cadangan Mineral (BSN, 2011)

2.5.1 Klasifikasi Sumber Daya Mineral dan Cadangan (Mineral Resources and Reserves) Oleh United Nations International Framework Classification for Reserves/Resources: Solid Fuel and Mineral Commodities, 1996

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 kriteria: keyakinan geologi dan kelayakan tambang. Kriteria keyakinan geologi didasarkan pada tahap eksplorasi yang meliputi survai tinjau, prospeksi, eksplorasi umum dan eksplorasi rinci.

- a. Sumber Daya Mineral Hipotetik (Hypothetical Mineral Resource) adalah sumber daya mineral yang kuantitas dan kualitasnya diperoleh berdasarkan perkiraan pada tahap Survai 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 Recerve) adalah sumber daya mineral terukur yang berdasarkan studi kelayakan tambang semua faktor yang terkait telah terpenuhi, sehingga penambangan dapat dilakukan secara ekonomik.

Tahap Eksplorasi Kelayakan	EKSPLORASI RINCI (DETAILED EXPLORATION)	EKSPLORASI UMUM (GENERAL EXPLORATION)	PROSPEKSI (PROSPECTING)	SURVAI TINJAU (RECONNAISSANCE)
STUDI KELAYAKAN DAN ATAU LAPORAN PENAMBANGAN	1. Cadangan Mineral Terbukti (Proved Mineral Reserve) (111)			
	2. Sumber Daya Mineral Kelayakan (Feasibility Mineral Resource) (211)			
STUDI PRA KELAYAKAN	1. Cadangan Mineral Terkira (Probable Mineral Reserve) (121) + (122)			
	2. Sumber Daya Mineral Pra Kelayakan (Prefeasibility Mineral Resource) (221) + (222)			
STUDI GEOLOGI	1-2. Sumber Daya Mineral Terukur (Measured Mineral Resource) (331)	1-2. Sumber Daya Mineral Terunjuk (Indicated Mineral Resource) (332)	1-2. Sumber Daya Mineral Tereka (Inferred Mineral Resource) (333)	? Sumber Daya Mineral Hipotetik (Reconnaissance Mineral Resource) (334)
	Tinggi	Tingkat Keyakinan Geologi		Rendah

Gambar 2.10. Klasifikasi Sumber Daya Mineral dan Cadangan (Mineral Resources and Reserves) Oleh United Nations International Framework Classification for Reserves/Resources : Solid Fuel and Mineral Commodities, 1996

Sumbu Ekonomis (Economic Axis)	Sumbu Kelayakan (Feasibility Axis)	Sumbu Geologi (Geological Axis)	Klasifikasi	Kode
Ekonomis	Studi Kelayakan dan atau Laporan Penambangan	Eksplorasi Rinci	Cadangan Mineral Terbukti	111
Ekonomis	Studi Pra Kelayakan	Eksplorasi Rinci	Cadangan Mineral Terkira	121
Ekonomis	Studi Pra Kelayakan	Eksplorasi Umum	Cadangan Mineral Terkira	122
Berpotensi Ekonomis	Studi Kelayakan dan atau Laporan Penambangan	Eksplorasi Rinci	Sumber Daya Mineral Kelayakan	211
Berpotensi Ekonomis	Studi Pra Kelayakan	Eksplorasi Rinci	Sumber Daya Mineral Pra Kelayakan	221
Berpotensi Ekonomis	Studi Pra Kelayakan	Eksplorasi Umum	Sumber Daya Mineral Pra Kelayakan	222
Berintrinsik Ekonomis ¹	Studi Geologi	Eksplorasi Rinci	Sumber Daya Mineral Terukur	331
Berintrinsik Ekonomis ¹	Studi Geologi	Eksplorasi Umum	Sumber Daya Mineral Tertunjuk	332
Berintrinsik Ekonomis ¹	Studi Geologi	Prospeksi	Sumber Daya Mineral Tereka	333

Gambar 2.11. Modifikasi Klasifikasi Sumber Daya Mineral dan Cadangan

2.6. Metode *Inverse Distance Weighted*

Salah satu metode dalam penentuan distribusi dan potensi sumber daya besi laterit adalah metode *Inverse Distance Weighted* (IDW). Metode ini merupakan suatu cara penaksiran yang telah memperhitungkan adanya hubungan letak ruang, (jarak), merupakan kombinasi linier atau harga rata-rata tertimbang (weighting average) dari 19 titik-titik data yang ada di sekitarnya. Metode ini menggunakan cara penaksiran di mana harga rata-rata suatu blok merupakan kombinasi linier atau harga rata-rata berbobot (wieghted average) dari data lubang bor di sekitar blok tersebut. Data di dekat blok memperoleh bobot lebih besar, sedangkan data yang jauh dari blok bobotnya lebih kecil. Bobot ini berbanding terbalik dengan jarak data dari blok yang ditaksir. Untuk mendapatkan efek penghalusan (pemerataan) data dilakukan faktor pangkat. Pilihan dari pangkat yang digunakan (ID1, ID2, ID3, ...) berpengaruh terhadap hasil taksiran. Semakin tinggi pangkat yang digunakan, hasilnya akan semakin mendekati metode poligon conto terdekat. Dengan metode ini, sifat atau perilaku anisotropik dari cebakan mineral dapat diperhitungkan (space warping) (Haris, 2005).

Metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) juga dapat didefinisikan sebagai metode penaksiran dengan pendekatan blok model yang sederhana dengan mempertimbangkan titik disekitarnya. Asumsi dari metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih mirip pada data sampel yang dekat daripada yang lebih jauh. Bobot (weight) akan berubah secara linier sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Bobot ini tidak akan dipengaruhi oleh letak dari data sampel. Metode ini biasanya digunakan dalam industri pertambangan karena mudah untuk digunakan.

Pemilihan nilai pada power sangat mempengaruhi hasil interpolasi. Nilai power yang tinggi akan memberikan hasil seperti menggunakan interpolasi nearest neighbor dimana nilai yang didapatkan merupakan nilai dari data point terdekat (NCGIA, 2007).

Dalam perhitungan Total Tonase Fe diperoleh dari hasil perhitungan volume Fe dikalikan dengan densitas dari tiap lapisan yaitu limonit dan saprolit maupun bedrock yang sebelumnya telah diukur dan disepakati oleh perusahaan.