

SKRIPSI

KARAKTERISTIK ORE PADA LIMONIT DAN SAPROLITE BERDASARKAN ANALISIS GEOKIMIA PADA BLOK X PT. VALE INDONESIA Tbk KEC.SOROAKO KAB. LUWU TIMUR PROVINSI SULAWESI SELATAN

Disusun dan diajukan oleh

**ZULFIQAR DWI HENDRAWAN
D061 18 1509**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**KARAKTERISTIK ORE PADA LIMONIT DAN SAPROLITE
BERDASARKAN ANALISIS GEOKIMIA PADA BLOK X PT.
VALE INDONESIA Tbk KEC.SOROAKO KAB. LUWU
TIMUR PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh

ZULFIQAR DWI HENDRAWAN
D061181509

Telah Diperhtahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam dalam rangka penyelesaian studi program sarjana Teknik geologi fakultas Teknik universitas hasanuddin pada tanggal 17 Oktober2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui:

Pembimbing Utama

Prof. Dr. Eng. Ir. Asri Jaya HS., S.T., M.T., IPM.
NIP. 19601202 198811 1 001

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir Haerany Sirajuddin M.T.
NIP. 196711191998022001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Zulfiqar Dwi Hendrawan
NIM : D061 18 1509
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Karakteristik ore pada limonit dan saprolite berdasarkan analisis geokimia pada blok X PT. VALE INDONESIA Tbk Kec.sorowako Kab. 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.

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

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

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

Gowa, Oktober 2023

Menyatakan

Zulfiqar Dwi Hendrawan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT. atas karunia-Nya sehingga saya dapat menyusun Tugas Akhir yang berjudul **“Karakteristik Ore pada Limonit Dan Saprolite berdasarkan Analisis Geokimia Pada x PT. Vale Indonesia Tbk Kec. Sorowako Kab. Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan”** Penulisan laporan ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Program Strata I pada Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penyusunan laporan ini tak lepas dari bantuan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, tak lupa saya ucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak, di antaranya:

1. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan sekaligus pembimbing tugas akhir yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan dalam laporan tugas akhir ini.
2. Prof. Dr. Eng. Asri Jaya H.S. ,ST.,MT. selaku pembimbing Utama dari penulis yang telah meluangkan waktu serta memberikan bimbingan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
3. Ibu Dr.Ir.Haerany Sirajuddin M.T sebagai Dosen pembimbing pendamping telah memberikan banyak sekali waktu dan ilmu pengetahuan serta segala masukan kepada penulis Dalam Menyusun Tugas Akhir
4. Bapak Dr.Ir Safri Burhanuddin, DEA Dan Ibu Dr, Ulva Ria Irvan, S.T., M.T sebagai dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam penyusunan laporan pemetaan dan tugas akhir ini
5. Prof. Dr. Eng. Ir. Adi Maulana, S.T., M.Phil sebagai Penasihat Akademik atas segala bimbingannya selama ini
6. Bapak dan Ibu Dosen pada Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bimbingan dan nasehatnya.
7. Staf Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bantuannya dalam pengurusan administrasi penelitian.

8. Kedua Orang Tua yang telah memberikan dukungan secara materil maupun moril. Yang selalu senantiasa mendoakan agar penulis menjadi lebih baik dalam segala urusan dan membanggakan bagi keluarga.
9. Pak Sudarmin S.T selaku *geologist* PT.Vale Indonesia Tbk, Sekaligus pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran serta dengan sabar dalam memberikan bimbingan.
10. Bapak Hirvan Beduni S.T selaku Asisten *geologist* yang sudah meluangkan waktu untuk menemani dan memberikan arahan ketika di lapangan.
11. Bapak Croseas tabarani, S.T , bapak Suparmanto S.T , Bapak Amien ubaydi S.T dan Ibu Ria sitompul S.T yang sudah meluangkan waktunya untuk memberi arahan dalam pengambilan data dilapangan Dan semua karyawan PT. Vale Indonesia Tbk yang telah banyak membantu saya dalam kegiatan magang berlangsung.
12. Warga Himpunan Mahasiswa Geologi FT-UH, khususnya Teman angkatan Xenolith18 - Teknik Geologi 2018. Teman seperjuangan dalam segala medan yang telah memberikan dukungan kepada penulis.
13. Seluruh Pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.

Saya menyadari bahwa laporan ini masih terdapat berbagai kelemahan dan kekurangan, sehingga kritik maupun saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk menyempurnakan laporan ini. Akhir kata saya mengucapkan terima kasih dan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi diri saya sendiri dan bagi orang lain yang menggunakannya.

Gowa, 6 Oktober 2023

Penulis

SARI

ZULFIQAR DWI HENDRAWAN. *Geologi Daerah Lasusua kecamatan Lasusua Kabupaten Kolaka Utara Provinsi Sulawesi Tenggara* (Dibimbing oleh Asri Jaya HS dan Haeranni rajuddin)

Secara administratif daerah penelitian terletak di daerah Sorowako, Kecamatan Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan Endapan laterit di daerah Sorowako berkembang diatas dua jenis batuan dasar yang berbeda dimana perbedaan paling utama berada pada tingkat kekerasan dan sistem rekahan yang menyebabkan perbedaan distribusi kadar nikelnya. Daerah penelitian berada pada area penambangan PT. VALE Indonesia Tbk, blok X. . karakteristik geokimia endapan laterit pada daerah penelitian , untuk mengetahui karakteristik profil laterit pada daerah penelitian dan untuk mengetahui karakteristik ore pada limnot dan saprolite. guna mengetahui hubungannya terhadap kadar Ni dan tipe ore yang berkembang di daerah tersebut dan dapat dijadikan sebagai info dan acuan dalam proses eksplorasi lanjut dan penambangan. Metode penelitian yang digunakan yaitu analisis geokimia XRF (X-Ray Flourscence), metode IDW (Inverse Distance Weighted). mengetahui tipe ore yang dilakukan pada 56 titik pemboran. Pengamatan secara megaskopis, jenis batuan pada daerah penelitian adalah batuan beku Peridotit dengan komposisi mineral olivin, clinopiroksen, serpentin dan mineral opak. Dari hasil analisis data pemboran Daerah "X" blok barat PT. Vale Indonesia Tbk Terbagi Menjadi dua tipe ore yaitu tipe ore dengan fraksi -1 yang berada zona limonit nilai SiO_2/MgO rata-rata yaitu <2.4 dan nilai rata-rata Fe yaitu menunjukkan >25 (ore type -1) memiliki nilai kadar Ni yang tinggi yaitu 0.2% - 2.00% dan memiliki penyebaran pada barat dan timur area dan ore type fraksi -6 yang berada di zona saprolite dengan nilai SiO_2/MgO rata-rata yaitu <2.4 dan nilai rata-rata fe yaitu menunjukkan <20 (ore type -6) memiliki nilai kadar Ni yang tinggi yaitu 0.2% - 3,32% memiliki penyebaran di Selatan dan utara pada area

Katakunci : Nikel Laterit, Geokimia, Tipe Ore, XRF

ABSTRACT

ZULFIQAR DWI HENDRAWAN. *Geology of Lasusua Region, Lasusua District, North Kolaka Regency, Southeast Sulawesi Province (Guided by Asri Jaya HS and Haeranni Rajuddin)*

Administratively, the research area is located in the Sorowako area, Sorowako District, East Luwu Regency, South Sulawesi Province. Laterite deposits in the Sorowako area develop on two different types of bedrock where the main difference is in the level of hardness and fracture system which causes differences in the distribution of nickel levels. The research area is in the mining area of PT. VALE Indonesia Tbk, block X. . Geochemical characteristics of laterite deposits in the study area, to determine the characteristics of laterite profiles in the study area and to determine the characteristics of ore in limnot and saprolite. to determine the relationship to Ni levels and ore types that develop in the area and can be used as information and reference in the process of further exploration and mining. The research methods used are XRF (X-Ray Flourscence) geochemical analysis, IDW (Inverse Distance Weighted) method. Knowing the type of ore carried out at 56 drilling points. Megascopic observations, the type of rock in the study area is peridotite igneous rock with mineral composition of olivine, clinopyroxene, serpentine and opaque minerals. From the results of drilling data analysis of Area "X" western block PT. Vale Indonesia Tbk is divided into two types of ore, namely ore type with fraction -1 which is in the limonite zone average SiO₂ / MgO value of <2.4 and average Fe value which shows >25 (ore type -1) has a high Ni content value of 0.2% - 2.00% and has a spread in the west and east of the area and ore type fraction -6 which is in the saprolite zone with the average SiO₂/MgO value is <2.4 and the mean fe value is showing < 20 (ore type -6) has a high Ni content value of 0.2% - 3.32% has a spread in the South and North in the area

Keywords: Nickel Laterit, Geochemistry, Ore Type , XRF

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	1
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	2
KATA PENGANTAR.....	3
DAFTAR ISI.....	8
DAFTAR GAMBAR.....	10
DAFTAR TABEL.....	11
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	12
DAFTAR LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.
BAB I PENDAHULUAN.....	13
1.1. Latar Belakang	13
1.2. Rumusan Masalah	14
1.3. Tujuan Penelitian	14
1.4. Manfaat Penelitian	14
1.5. Ruang Lingkup.....	14
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	15
2.1. Geologi Regional	15
2.1.1. Geomorfologi Regional	15
2.1.2. Stratigrafi Regional.....	15
2.1.3. Struktur Geologi Regional	18
2.2. Nikel.....	20
2.3. Genesis Pembentukan Endapan Nikel	23
2.4. Profil Endapan Nikel Laterit	28
2.5. Sumber Daya Mineral	31
2.6. Metode <i>Inverse Distance Weighting</i> (IDW)	33
BAB III METODE PENELITIAN	36
3.1. Lokasi Penelitian.....	36

3.2. Metode Penelitian.....	37
3.3. Tahapan Penelitian	37
3.3.1. Tahap Persiapan	37
3.3.1.1. Tahap Pengambilan Data Lapangan.....	38
3.3.1.2. Pengambilan Data Coring (Pengeboran).....	38
3.3.1.3. Pengambilan Data Geologi	40
3.3.1.4. Pengolahan dan Analisis Data.....	40
3.3.1.4.1. Preparasi Sampel	40
3.3.1.4.2. Analisis Laboratorium	42
3.3.1.4.3. Preparasi Sampel QAQC (<i>Quality Assurance Quality Control</i>)	43
3.3.1.4.4. Data Assay	44
3.3.1.4.5. Data Petrografi.....	44
3.3.2. Data Corring.....	45
3.3.3. Tahap Penyusunan Laporan	46
BAB IV PEMBAHASAN.....	33
4.1. Batuan Ultramafik Daerah Penelitian	33
4.2. Gekomorfologi Daerah Penelitian	35
4.2. Profil Endapan Nikel Laterit Daerah Penelitian.....	36
4.3. Pengamatan Sampel Bor	38
4.4. Sumber Data.....	40
4.4.1. Data Assay.....	41
4.5. Geokimia lapisan limonit dan saprolite	43
4.6. Kadar Ni pada lapisan limonit fraksi -1	45
4.7. Kadar Ni pada lapisan saprolite -6	46
BAB V PENUTUP.....	49
4.1. Kesimpulan	49
4.2. Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Geologi Umum dan Tektonik Sulawesi	4
Gambar 2 Tipe Laterit (brand et al, 1998).....	9
Gambar 3 Profil laterit Oxides Deposite (butt dan morris, 2005).....	10
Gambar 4 Tipe Profil Laterit proses <i>hydro silicate deposite</i>	11
Gambar 5 Penampang Laterit Hasil Pelapukan Yang Membagi Zona Saprolit (Ahmad,2002)	18
Gambar 6 Tipe Profil Laterit.....	18
Gambar 7 Profil endapan nikel laterit	19
Gambar 8 Klasifikasi Tipe Bijih pada sorowako dan petea (Aahmad,2005) ..	23
Gambar 9 Peta Tunjuk Lokasi Daerah Penelitian	24
Gambar 10 Peta lokasi sebaran titik bor daerah paenelitian	26
Gambar 11 Aktivitas pengeboran untuk memperoleh sampel hasil corring ...	27
Gambar 12 Kenampakan sampel hasil corring	28
Gambar 13 Tahapan preparasi sampel basah dan kering	29
Gambar 14 klasifikasi batuan ultramaafik menurut IUGS	30
Gambar 15 Diagram alir metode penelitian	35
Gambar 16 Kenampakan singkapan peridotit pada daerah penelitian dengan arah 210 E.....	47
Gambar 17 Kenampakan Petrografis pada sayatan batuan Peridotit FQR44 ..	35
Gambar 18 Kenampakan Geomorfologi Perbukitan Bergelombang Dengan arah foto.....	35
Gambar 19 Profil laterit Ore Type -1 pada daerah Penelitian	36
Gambar 20 Profil Laterit ore type -6 pada daerah penelitian	36
Gambar 21 Kenampakan Layer Limonit Pada Core Box	39
Gambar 22 Kenampakan Layer Saprolit pada core box	39
Gambar 23 Kenampakan Layer Bedrock Pada Core Box.....	41
Gambar 24 Sebaran Data Bor.....	41
Gambar 25 Penampang Profil Lterit pada daerah penenelitian	41

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Peran Berberapa elemen selama pelapukan laterit	13
Tabel 2 Tabel Assay Ore Tipe -1	43
Tabel 3 Data Assay Ore type -6	44
Tabel 4 Nilai rata-rata unsur pada lapisan Limonit	45
Tabel 5 Nilai rata-rata unsur pada lapisan saprolite	46

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Ni	Nikel
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i>
%	Persen
ESOB	<i>East Sulawesi Ophiolite Belt</i>
IUP	Izin Usaha Pertambangan
MT	Metrik Ton
Cm	Centimeter
±	Kurang Lebih
XRF	<i>X-ray Fluorescence</i>
m	Meter
XRD	<i>X-ray Diffraction</i>
°	Derajat
kg	Kilogram
QAQC	<i>Quality Assurance Quality Control</i>
dpw	<i>Duplicate Wet</i>
dps	<i>Duplicate Splitter</i>
dpp	<i>Duplicate Pulp</i>
COG	<i>Cut Of Grade</i>
>	Lebih Besar
LIM	Limonit
SAP	Saprolit
BRK	<i>Bedrock</i>
m ³	Meter Kubik
DTM	<i>Digital Terrain Model</i>

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Laterit merupakan hasil dari pelapukan kimia batuan yang berada di permukaan bumi yang terdiri berbagai macam mineral-mineral primer yang tidak stabil oleh pelarutan air dan mineral-mineral baru akan terbentuk yang lebih stabil terhadap lingkungan permukaan. Laterit sangat penting terhadap pembentukan suatu ore deposit sebagai proses dari interaksi kimia dengan proses lateritisasi yang menghasilkan terkonsentrasi beberapa elemen. Contoh yang terkenal dari laterit ore deposit yaitu aluminium bauxit dan pengayaan deposit bijih besi (Evans, 1993).

Endapan laterit Sorowako merupakan sumber logam nikel paling penting dari Indonesia dan telah ditambang oleh PT. Inco Tbk (sekarang PT. Vale Indonesia) sejak tahun 1975 dengan hasil akhir berupa nikel matte (rerata 78 % Ni plus 22 % S). Dua tipe bijih yang dikenal pada endapan laterit nikel Sorowako berdasarkan tingkat serpentinisasi batuan protolitnya yaitu bijih tipe barat dan bijih tipe timur. Bijih tipe barat dicirikan oleh kadar Ni, olivin dan rasio silica-magnesia lebih tinggi dibandingkan dengan bijih tipe timur. Hal ini menjadikan daerah Sorowako menarik untuk diteliti lebih lanjut, terutama untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi lateritisasi (Sufriadin, 2013)

Faktor-faktor yang mengontrol lateritisasi dapat diketahui dari karakteristik geokimia endapan nikel yang ada di daerah tersebut. Dari karakteristik geokimia kita dapat mengetahui perubahan-perubahan yang ada pada tiap-tiap zona endapan laterit. Dari karakteristik geokimianya, kita dapat mengetahui pengayaan unsur dari bedrock hingga berubah menjadi endapan laterit.

Berdasarkan atas berbagai pertimbangan yang telah dikemukakan diatas, maka penulis melakukan Penelitian yang berjudul “**Karakteristik Ore Pada limonit dan Saprolit Pada Daerah X PT. VALE Indonesia Tbk**” sehingga dapat membantu kami dalam menyelesaikan Tugas Akhir pendidikan Strata-1 Teknik Geologi ini.

Dengan hal diatas maka haruslah di ketahui estimasi dari nikel laterit yang didapat seta kualitas nikel laterit sebagai salah satu sumberdaya yang dibutuhkan. Faktor inilah yang kemudian melatarbelakangi penulis untuk melakukan penelitian dengan judul: **“Karakteristik Ore Pada Limonit Dan Saprolite menggunakan Analisis Geokimia Pada Blok X PT. Vale Indonesia Tbk Kec. Soroako Kab. Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan”**

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Karakteristik geokimia endapan nikel laterit pada daerah penelitian
2. Bagaimana karakteristik profil laterit pada daerah penelitian
3. Bagaimana karakteristik ore pada limonit dan saprolite pada daerah penelitian

1.3. Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi nikel laterit pada daerah penelitian. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui karakteristik geokimia endapan laterit pada daerah penelitian
2. Mengetahui karakteristik profil laterit pada daerah penelitian
3. Menentukan ore pada limonit dan saporilit berdasarkan analisis geokimia

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai bahan acuan atau referensi dalam perencanaan eksplorasi dan eksploitasi bahan tambang nikel laterit pada PT. VALE Indonesia Tbk

1.5. Ruang Lingkup

Pada penelitian yang dilakukan, penulis membatasi masalah yang akan diangkat yaitu karakteristik geokimia endapan laterit dan karakteristik ketebalan ore pada limonit dan saprolite Sorowako, terkhusus pada blok x PT. VALE Indonesia Tbk melalui analisa sampel 3 pemboran (core) dan analisa laboratorium yang terdiri dari analisa petrografi dan XRF

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geologi Regional

2.1.1. Geomorfologi Regional

Tinjauan mengenai geomorfologi regional yang meliputi daerah penelitian dan sekitarnya dapat dibagi dalam daerah pegunungan, daerah perbukitan, daerah karst dan daerah pedataran (Simandjuntak, dkk, 1991).

Daerah pegunungan menempati bagian barat dan tenggara. Di bagian barat terdapat dua rangkaian pegunungan yaitu pegunungan Tineba dan pegunungan Koroue (700 – 3.016 m) yang memanjang dari barat laut – tenggara dibentuk oleh batuan granit dan malihan. Sedang bagian tenggara ditempati pegunungan Verbeek dengan ketinggian 800 – 1.346 meter di atas permukaan laut disusun oleh batuan basa, ultrabasa, dan batugamping. Daerah perbukitan menempati bagian tenggara dan timurlaut dengan ketinggian 300 – 700 m dan merupakan perbukitan agak landai yang terletak diantara daerah pegunungan dan daerah pedataran. Perbukitan ini dibentuk oleh batuan vulkanik, ultramafic, dan batupasir dengan puncak tertinggi adalah Bukit Bukila (645 m).

Daerah pedataran menempati daerah selatan dan dibentuk oleh endapan aluvium seperti Pantai Utara Palopo dan Pantai Malili sebelah Timur. Pola aliran6 sungai sebagian besar berupa pola rektangular dan pola dendritik. Sungai – sungai besar yang mengalir dari timur ke barat serta Sungai Kalaena yang mengalir dari utara ke selatan. Secara umum sungai – sungai yang mengalir di daerah ini bermuara ke Teluk Bone.

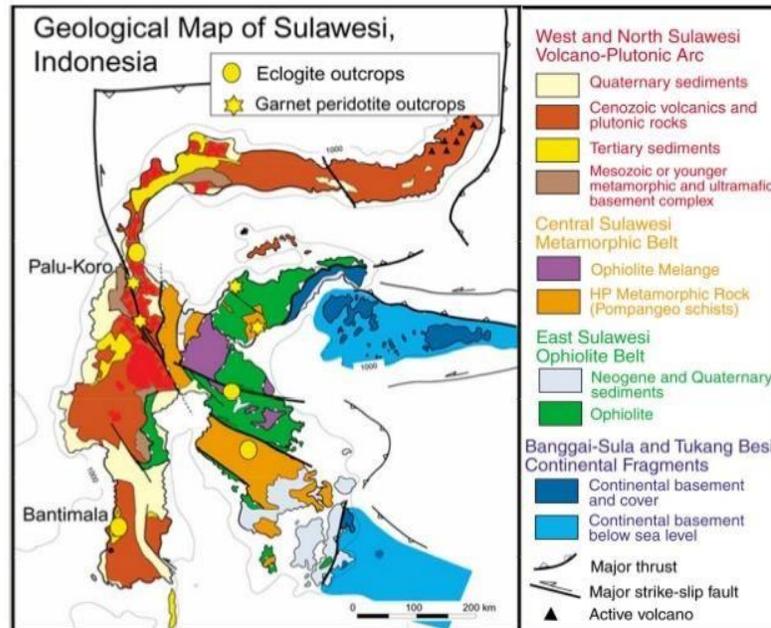
2.1.2. Stratigrafi Regional

Berdasarkan himpunan batuan, struktur dan biostratigrafi, secara regional Lembar Malili termasuk Mandala Geologi Sulawesi Timur dan Mandala Geologi Sulawesi Barat dengan batas Sesar Palu-Koro yang membujur hampir utara-selatan. Mandala Geologi Sulawesi Timur yang terdiri dari batuan ultramafik, dan batuan sedimen pelagis Mesozoikum (Simandjuntak, dkk, 1991).

Beberapa penelitian yang menjelaskan mengenai proses tektonik dan geologi daerah Sorowako menyatakan bahwa pulau Sulawesi dan sekitarnya di bagi menjadi 3 Mandala Geologi (Sukanto, 1975) yaitu : Mandala Geologi Sulawesi Barat yang dicirikan oleh adanya jalur gunung api Paleogen, Intrusi Neogen dan sedimen Mesozoikum. Mandala Geologi Sulawesi Timur yang dicirikan oleh batuan Ophiolit yang berupa batuan Ultramafik Peridotit, Hazburgit, Dunit, Piroksenit dan Serpentin yang diperkirakan berumur Kapur. Mandala Geologi Banggai Sula yang dicirikan oleh batuan dasar berupa Metamorf, batuan plutonik yang bersifat granitis berumur Trias dan Batuan Sedimen Mesozoikum. Namun menurut Kadarusman (2003) Pulau Sulawesi dapat dibagi menjadi 4 Mandala (lihat gambar 2.1) yaitu:

Mandala Geologi Sulawesi Utara dan Barat yang merupakan Lajur Vulkanik dan Plutonik, Mandala Geologi Sulawesi Tengah yang merupakan wilayah metamorfik 7 dan Ophiolit Melange, Mandala Geologi Sulawesi Timur yang terdiri dari batuan Sedimen Neogen dan Ophiolit, yang terakhir merupakan Mandala Geologi Banggai

Sula yang dicirikan oleh lajur kontinental dasar atau batuan dasar berupa Metamorf dan batuan plutonik



Gambar 1 Geologi umum dan tektonik pulau Sulawesi (Hamilton 1973 dalam Golightly 1979)

Mandala Geologi Sulawesi Barat dicirikan oleh lajur gunungapi Paleogen dan Neogen, Intrusi Neogen dan Sedimen flysch Mesozoikum yang diendapkan di pinggiran benua (Paparan Sunda).

Di Mandala Geologi Sulawesi Timur, batuan tertua adalah batuan ofiolit yang terdiri dari ultramafic termasuk dunit, harzburgite, lherzolite, piroksenit, websterit, wehrlit, dan serpentinit, setempat batuan mafik termasuk gabri dan basal. Umumnya belum dapat dipastikan, tetapi dapat diperkirakan sama dengan ofiolit di lengan Timur Sulawesi yang berumur Kapur Awal – Tersier (Simandjuntak,dkk, 1991).

Pada Mandala ini dijumpai kompleks batuan bancuh (Melange Wasuponda) terdiri atas bongkahan asing batuan mafik, Serpentinit, Pikrit, Rijang, Batugamping, Ampibolit dan Eklogit yang tertanam dalam massa dasar lempung merah bersisik. Batuan tektonika ini tersingkap baik didaerah Wasuponda serta daerah Ensa, Koro, Mueli, dan Patumbea, diduga terbentuk sebelum Tersier (Simandjuntak,dkk, 1991). Daerah Sorowako dan sekitarnya merupakan bagian Mandala Sulawesi Timur yang tersusun oleh kompleks Ofiolit, Batuan Metamorf, Kompleks Melange dan Batuan Sedimen Pelagis.

Kompleks Ofiolit tersebut memanjang dari utara Pegunungan Balantak ke arah tenggara Pegunungan Verbeek, tersusun oleh Dunit, Harzburgit, Lherzolite, Serpentinit, Werlit, Gabro, Diabas, Basal dan Diorit (Simandjuntak,dkk, 1991). Sekuen ini tersingkap dengan baik di bagian utara, sedangkan di bagian tengah dan slata, kompleks ofiolit ini umumnya tidak lengkap lagi dan telah terombakkan atau terdeformasi.

Batuan yang merupakan anggota lajur ofiolit Sulawesi Timur berupa batuan ultrabasa (MTosu) yang terdapat di sekitar danau Matano terdiri dari Dunit, Harzburgit, Lherzolite, Wehrlite, Websterite, Serpentinit. Dunit berwarna hijau pekat kehitaman, bertekstur faneritik, mineral penyusun adalah olivine, piroksin, plagioklas, sedikit serpentin dan magnetit, berbutir halus sampai sedang. Di beberapa tempat Dunit terserpentinasi kuat yang ditunjukkan oleh struktur seperti jarring mineral olivine dan piroksin, serpentin dan talk sebagai mineral pengganti. Harzburgit

memperlihatkan kenampakan fisik berwarna hijau sampai kehitaman, bertekstur kristanilitas holokristalin, mineralnya halus sampai kasar terdiri atas olivin dan piroksin.

Lherzolit berwarna hijau kehitaman, holokristalin, padu dan pejal. Mineral penyusunnya ialah Olivin, Piroksin. Serpentin berwarna biru tua, tekstur lepidoblastik, struktur “Schistosity”, bentuk mineral hypidioblastik. Mineral utama yang menyusun batuan ini adalah mineral serpentin, sedikit olivine dan piroksin. Batuan serpentin merupakan hasil ubahan batuan ultramafik. Ketebalan sulit diperkirakan.

Diatas Ofiolit diendapkan tidak selaras Formasi Matano yang terbagi bagian atas berupa batugamping kalsilit, rijang, argilit dan batulempung napalan, sedangkan bagian bawah dicirikan oleh rijang radiolaria dengan sisipan kalsilit yang semakin banyak ke bagian atas. Berdasarkan kandungan fosil Formasi ini menunjukkan umur Kapur. Endapan termuda di daerah Lengan Timur Sulawesi adalah endapan danau yang terdiri atas lempung, pasir, kerikil, dan sebagian berupa konglomerat yang terdapat di daerah sekitar Danau Matano, Danau Towuti, dan Danau Mahalona. Sedang

2.1.3. Struktur Geologi Regional

Struktur geologi Lembar Malili memperlihatkan ciri kompleks tumbukan dari pinggir benua yang aktif. Berdasarkan struktur, himpunan batuan, biostratigrafi dan umur, daerah ini dapat dibagi menjadi dua kelompok yang sangat berbeda, yaitu Alohton yang terdiri dari Ofiolit dan Malihan, sedangkan Autohton 10 terdiri dari batuan gunungapi dan pluton Tersier dari pinggir Sunda land, serta kelompok Molasa Sulawesi (Simandjuntak dkk, 1991).

Struktur-struktur geologi yang penting di daerah ini adalah sesar, lipatan, dan kekar. Secara umum sesar yang terdapat di daerah ini berupa sesar naik, sesar sungkup, sesar geser, dan sesar turun, yang diperkirakan sudah mulai terbentuk sejak Mesozoikum. Beberapa sesar utama tampaknya aktif kembali. Sesar Matano dan Sesar Palu Koro merupakan sesar utama berarah barat-laut – tenggara dan menunjukkan gerak mengiri. Diduga kedua sesar itu masih aktif sampai sekarang, keduanya Bersatu di

bagian barat laut. Di duga pula kedua sesar itu masih aktif sampai sekarang, keduanya Bersatu di bagian barat laut. Diduga pula kedua sesar tersebut terbentuk sejak Oligosen dan bersambungan dengan Sesar Sorong sehingga merupakan suatu sistem Sesar Transform. Sesar lain yang lebih kecil berupa tingkat pertama dan atau kedua yang terbentuk bersamaan atau setelah sesar utama tersebut.

Pada Kala Oligosen, Sesar Sorong yang menerus ke Sesar Matano dan Palu Koro mulai aktif dalam bentuk sesar transcurrent. Akibatnya mikro kontinen Banggai Sula bergerak ke arah barat dan terpisah dari benua Australia. Lipatan yang terdapat di daerah ini dapat digolongkan ke dalam lipatan lemah, lipatan tertutup, dan lipatan tumpang-tindih, sedangkan kekar terapat dalam hampir semua jenis batuan dan tampaknya terjadi dalam beberapa periode.

Pada Kala Miosen Tengah, bagian timur kerak samudera di Mandala Sulawesi Timur yakni Lempeng Banggai Sula yang bergerak ke arah barat tersorong naik (terobduksi). Di bagian barat lajur penunjaman dan busur luar 11 tersesar sungkupkan di atas busur gunungapi, mengakibatkan ketiga Mandala tersebut saling berhimpit.

Kelurusan Matano sepanjang 170 km dinamakan berdasarkan nama danau yang dilaluinya yakni danau Matano. Analog dengan sesar Palu Koro sesar Matano ini merupakan sesar mendatar sinistral, membentang membelah timur Sulawesi dan bertemu kira-kira disebelah utara Bone, pada kelurusan Palu-Koro. Sesar-sesar sistem Riedel berkembang dan membentuk sistem rekahan umum. Sepanjang sesar mendatar ini terdapat juga cekungan tipe pull apart. Yang paling nyata adalah Danau Matano dengan batimetri sekitar 600 m dan dikontrol oleh sesar-sesar normal yang menyudut terhadap kelurusan Matano. Medan gaya yang diamati di lapangan memperlihatkan bahwa tekanan umumnya horizontal dan berarah tenggara – barat laut didampingi tarikan timurlaut – barat daya. Sesar Matano bermuara di Laut Banda pada cekungan dan teluk Losoni sebagai pull apart basin dan menerus ke laut sampai ke utara anjakan bawah laut Tolo.

Struktur utama di lembar Bungku berupa patahan (sesar) dan lipatan. Sesar meliputi sesar turun, sesar geser, sesar naik maupun sesar sungkup. Penyesaran diduga berlangsung sejak Mesozoikum. Lipatan yang terdapat di Lembar ini tergolong lipatan

terbuka, tertutup, maupun pergentengan. Kekar terdapat dalam hampir semua satuan batuan, tetapi terutama dalam batuan beku maupun batuan sedimen Mesozoikum. Sejarah pengendapan batuan sedimen serta perkembangan tektonik di Lembar Bungku diduga sangat erat hubungannya dengan perkembangan Mendala Banggai-Sula yang sudah terkratonkan pada akhir Paleozoikum.

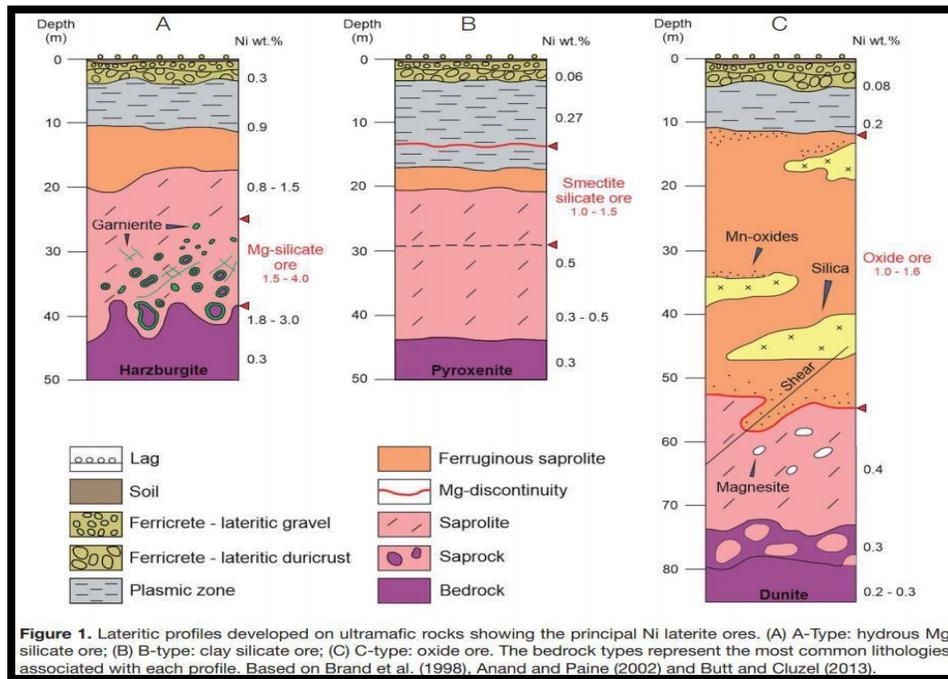
2.2. Nikel

Endapan nikel laterit terbentuk dari hasil proses pelapukan yang sangat intensif di daerah tropis pada batuan yang mengandung nikel seperti, dunit (olivin), peridotit (olivin+piroksin), dan serpentinit. Proses pelapukan pada batuan asal tersebut (laterisasi) menyebabkan nikel berubah menjadi larutan dan diserap oleh mineral-mineral oksida besi yang membentuk garnierite pada lapisan saprolite (Golightly, 1981 dalam Maulana, 2017).

Mineral piroksin dan olivin pada batuan asalnya mengalami proses serpentinisasi oleh akibat adanya interaksi dengan air laut (seawater) atau selama proses low-grade metamorphism atau alterasi. Pada beberapa kasus proses serpentinisasi ini terjadi sebelum adanya proses laterisasi. Alterasi olivin akibat proses hidrasi akan menyebabkan perubahan menjadi silika amorphous, serpentin dan limonit.

Brand, Dkk (1998) membedakan tiga jenis deposit pokok, berdasarkan mineralisasi bijih yaitu hydrous silicate deposit, clay deposit dan oxides deposit

Terdapat hubungan antara tipe deposit dimana hydrous silicate melimpah pada iklim tropis yang sekarang mirip dengan iklim local. oxide and clay silicate deposit terbentuk dari semua pergantian iklim (Butt dan Morris, 2005)



Gambar 2 tipe laterit (brand et al, 1998.)

a) Clay silicate deposit

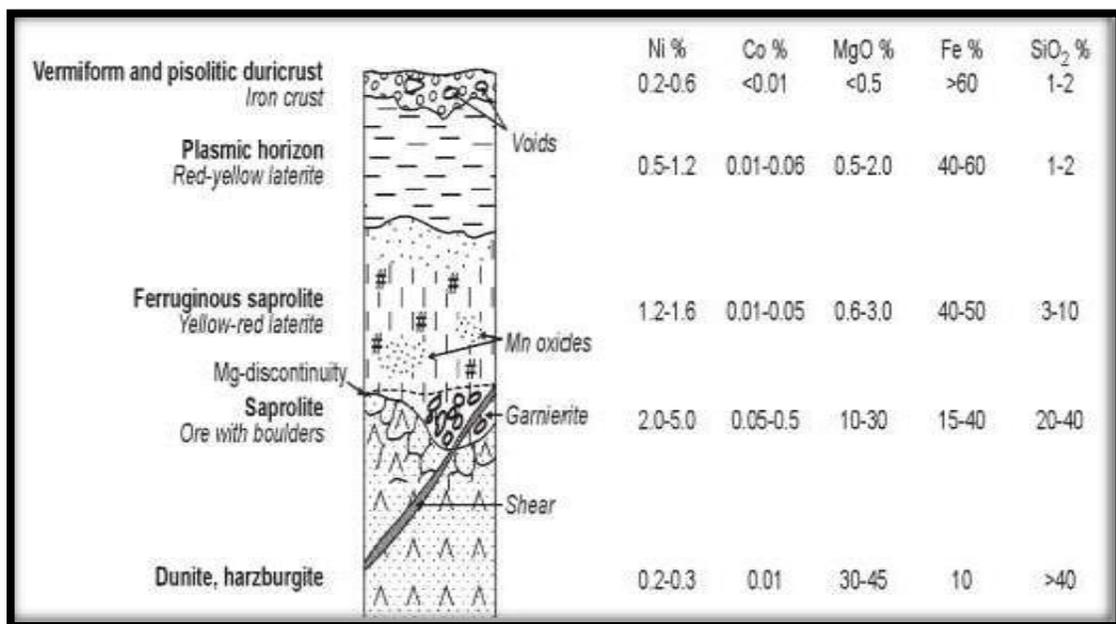
Kondisi pelapukan yang tidak berjala dengan baik seperti pada iklim dingin dan iklim panas, silika tidak tercuci sebagaimana di lingkungan tropis lembab. Silika tersebut kemudian bergabung bersama Fe dan Al membentuk zona dimana lempung smektit (nontronite) mendominasi. Silika sisa dari pembentukan nontronite kemudian terendapkan sebagai nodul opal atau kalsedon dalam lempung. Profil laterit seperti ini biasanya ditindih oleh lapisan tipis kaya akan Fe oksida dibagian atasnya dan didasari oleh lapukan saprolite yang mengandung serpentin dan nontronite (elias,2005)

Clay silicate deposit didominasi oleh nontronite dan montmorillonite tampak lebih mudah terbentuk dari batuan ultramafic yang mengandung mikroskopis seperti ortokumosis komalitik dari pada orthopyroxene karena konsentrasi Ca, Na, dan Al lebih tinggi

b) Oxides deposit

Oxides Deposit adalah produk akhir yang paling umum dari laterisasi batuan ultramafic. Dengan adanya air, mineral pembentuk batuan primer (terima olivine dan

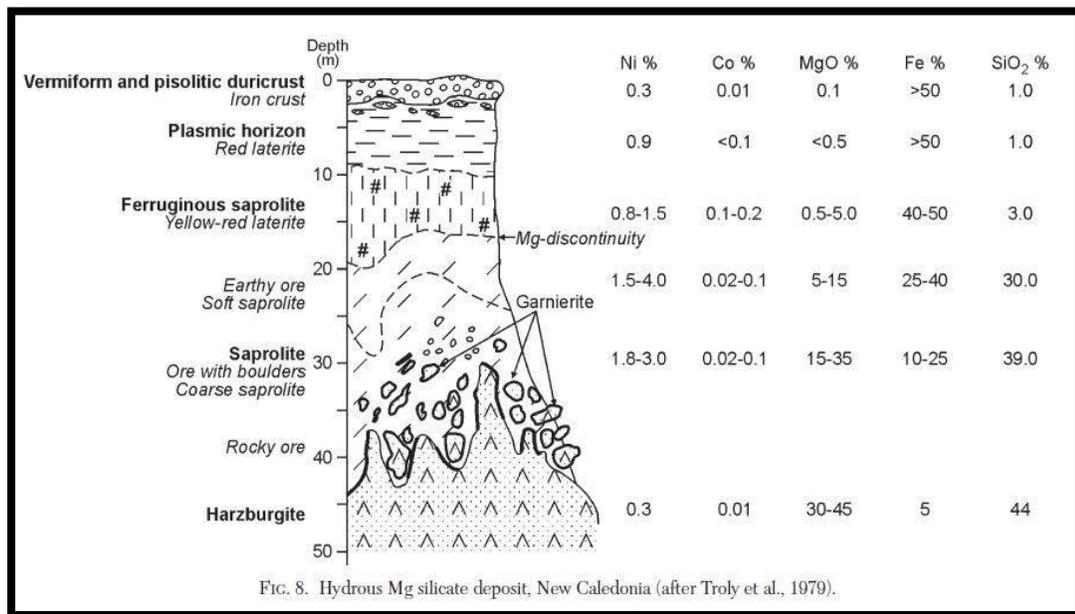
/serpenti, orthopyroxene dan yang kurang umum adalah clinopyroxene) dipecah oleh hidrolisis yang melepaskan unsur penyusunnya sebagai ion dalam larutan berair . olivine adalah mineral yang paling tidak stabil dan merupakan yang pertama mengalami pelapukan. Di lingkungan tropis yang lembab , Mg^{2+} benar-benar tercuci dan hilang karena air tanah , dan Si Sebagian besar tercuci dan dibuang Fe^{2+} juga dilepaskan namun dioksidasi dan diendapkan sebagai hidroksida besi, awalnya bersifat amorf atau kurang kristalin tapi secara progresif mengkristal ulang dengan tanaman goethite yang membentuk pseudomorph setelah olivine . orthopyroxene dan serpentine hidrolisis setelah olivine , juga melepaskan Mg, Si, dan digantikan oleh pseudomorph goethitik. Awalnya, sementara mineral ferromagnesian yang ada tetap tidak mendukung lapisan batu, transformasi tekstur isovolumetric dan batuan primer , bergantung pada tekstur primer yang hilang karena pemadatan yang menghasilkan goethite dengan struktur massif. Transformasi mineralogi yang melibatkan hilangnya Mg dan konsentrasi residu Fe menghasilkan tren kimia yang jelas dan familiar terhadap laterit Mg yang menurun ke atas dan Fe meningkat ke atas melalui profil laterit (butt dan morris, 2005)



Gambar 3 Profil laterit oxides deposit

c) Hydrous silicate deposit

Laterit silika terbentuk pada kondisi dimana terjadinya pengangkatan secara perlahan namun konsisten dan muka air tanah rendah yang stabil pada profil laterit. Pelapukan yang terjadi dalam waktu lama menghasilkan zona saprolite yang tebal yang mungkin ditutupi oleh lapisan limonit yang tipis tergantung dari intensitas erosi pada bagian atas profil laterit. laterit silikat memiliki karakteristik dengan pengayaan Ni pada zona saprolite, smektit, dan garnierite (elias,2005)



Gambar 4 proses *hydro silicate deposit*

Indonesia memiliki cadangan bijih nikel laterit yang cukup besar terutama di Sulawesi, Halmahera, Papua dan Kalimantan. Cadangan bijih nikel tersebut sekitar 1576 Mt atau 15% dari cadangan nikel di dunia; dengan jumlah sebesar itu baru dua perusahaan yang mengolah bijih nikel terutama saprolit (nikel berkadar tinggi), yaitu PT. Vale menjadi nikel matte dan PT. Antam menjadi ferronikel. Sebagian besar bijih nikel, terutama limonit berkadar nikel rendah masih diekspor dalam bentuk mentah dan sisanya masih merupakan material yang belum diolah (Astuti, 2011).

2.3. Genesis Pembentukan Endapan Nikel

Laterit deposit atau endapan laterit diartikan sebagai hasil dari proses pelapukan yang intensif di daerah humid, warm maupun tropic dan kaya akan mineral lempung

yang bersifat kaolinitic serta Fe- dan Al- oxide/hydroxide. Endapan laterit pada umumnya menampakkan bidang perlapisan yang baik sebagai hasil reaksi antara air hujan yang masuk ke dalam formasi dan kelembaban tanah yang naik ke atas permukaan (Maulana, 2017)

Laterit menurut Evans (1993) adalah produk sisa dari pelapukan kimia batuan di permukaan bumi, dimana berbagai mineral asli atau primer mengalami ketidakstabilan karena adanya air kemudian larut atau pecah dan membentuk mineral baru yang lebih stabil. Laterit penting sebagai induk untuk endapan bijih ekonomis. Contoh terkenal dari endapan bijih laterit yaitu bauksit dan endapan bijih besi.

Laterit merupakan sumber dari beberapa mineral ekonomis diantaranya bauxite dan nikel (Ni), mangan (Mn), tembaga (Cu), emas (Au) dan platinum group element (PGE). Bagian paling bawah dari profil laterit disebut dengan zona saprolite yang merupakan zona pelapukan tinggi dimana tekstur primer dan fabric dari batuan asalnya masih dapat dilihat. Akibat fluida yang bersifat oxidized dan asam, maka bagian paling bawah dari zona ini dicirikan dengan tidak stabilnya sulfide dan karbonat dengan hasil pencucian atau leaching dari logam-logam chalcopile dan unsur-unsur alkalin. Bagian bawah dari zona saprolit ini dicirikan dengan terurainya mineral-mineral feldspar dan ferromagnesian, sementara Si dan Al akan tetap tinggal pada mineral lempung (kaolinite dan halloysite). (Maulana, 2017)

Perilaku berbagai unsur selama proses lateralisasi pada dasarnya dikendalikan oleh dua faktor, yaitu: (Ahmad, 2009) :

- a. Sifat kimia tertentu dari unsur itu sendiri (geokimia)
- b. Kondisi lingkungan yang berlaku (suhu, curah hujan, kondisi batuan, kondisipH, dll.)

Table 1 Peran Berberapa elemen selama pelapukan laterit (Ahmad,2009)

Element	Exists in the ultramafics as	Role during lateritic weathering
Ca	Cpx > Opx > Oliv	Highly mobile. Leached away
Na	Very little	Highly mobile. Leached away
Mg	Oliv > Opx > Cpx	Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals
K	Very little	Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals
Si	Opx > Cpx > Oliv	Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals and silica boxwork.
Mn	Oliv > Opx > Cpx	Semi-mobile. Forms oxide (pyrolusite) and hydroxides (manganite, pyrochroite & psilomelane)
Co	Oliv > Opx > Cpx	Semi-mobile. Follows manganese
Ni	Oliv > Opx > Cpx	Semi-mobile. Forms nickel serpentine, nickel talc, nickel chlorite and nickel clays
Al	Cpx > Opx > Oliv	Non-mobile. Stays behind as boehmite, bauxite & gibbsite
Cr	Cpx > Opx > Oliv	Non-mobile. Stays behind as chromite
Fe	Oliv > Opx > Cpx	Non-mobile. Stays behind as oxides (hematite & maghemite) and hydroxides (turgite, goethite, hydrogoethite, limonite, ferrihydrite, xanthosiderite & esmeraldaite)

- a) Ca. Kalsium memiliki sifat yang sangat larut dalam air tanah di daerah tropis
- b) Mg. Magnesium sangat laurt dalam air tanah. Dalam kondisi tropis basah , magnesia dapat dengan cepat keluar dari profil laterit, namun di bawah kondisi iklim basah-kering beberapa magnesia dalam bentuk lempung dalam profil laterit mungkin terhambat
- c) Si. Silika memiliki kelarutannya lebih rendah dari magnesia, silika sering kali diendapkan dalam zona saprolitik dan profil laterit di mana magnesia secara aktif masuk kedalam larutan .

- d) Fe. Kelarutan zat besi sangat bervariasi tergantung pada keadaan valensinya, dimana zat besi (Fe^{++}) cukup larut dalam air tanah sedangkan zat besi (Fe^{+++}) sangat tidak larut
- e) Al. Alumina adalah salah satu unsur yang tidak bergerak yang ada dalam profil laterit selama air tanah berada pada kisaran pH 4,5 hingga 9,5 (Sebagian besar air tanah memang termasuk dalam kisaran ini)
- f) Cr. Kromium dalam kromit tidak larut dalam air tanah dan sangat stabil bertahan sebagai kromit di zona limonit laterit
- g) Mn dan Co memiliki mobilitas agak rendah di perairan asam dan cenderung bergerak ke bawah profil laterit. Namun, mereka mencapai tingkat ketidaksuburan mereka lebih cepat (dan lebih awal dari nikel) dan diendapkan baik di bagian bawah zona limonit atau di bagian atas zona saprolite, konsentrasi kobalt umumnya mengikuti mangan dalam profil laterit.

Pembentukan nikel laterit dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah (Ahmad, 2006):

a. Batuan asal

Menurut Ahmad (2006) Laterit Ni – Fe 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

b. Iklim

Iklim memiliki peran penting dalam terbentuknya endapan laterit. Temperatur yang hangat dan curah hujan yang tinggi dan ditambah dengan aktivitas biogenik yang tinggi akan mempercepat proses pelapukan kimia. Daerah beriklim tropis dengan temperatur lebih dari 20°C yang cenderung tetap sepanjang tahun merupakan daerah yang sangat ideal untuk pembentukan endapan laterit (Ahmad, 2006). 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

c. Senyawa kimia dan vegetasi

Senyawa kimia merupakan faktor yang mempercepat proses pelapukan, seperti air tanah mengandung CO₂ yang bersifat asam berperan penting dalam proses pelapukan kimia. Terkait dengan faktor vegetasi terdapat asam humus yang menyebabkan dekomposisi batuan serta mengubah pH larutan. Jenis vegetasi suatu daerah erat hubungannya dengan terbentuknya asam humus di daerah tersebut. Dalam hal ini, vegetasi yang rapat dan bervariasi mempengaruhi penetrasi air lebih dalam sehingga air tanah yang terkumpul akan lebih banyak dan untuk terbentuknya lebih tebal. Kondisi ini merupakan lingkungan yang baik untuk terbentuknya endapan nikel berkadar tinggi.

d. Struktur geologi

Tektonisme dapat menghasilkan pengangkatan yang menyebabkan tanah atau batuan tersingkap dan mempercepat proses erosi, menurunkan muka air tanah, dan merubah relief. Untuk menghasilkan pembentukan endapan laterit yang stabil diperlukan kondisi tektonik yang stabil karena dapat mengurangi proses erosi dan memperlambat gerak air tanah (Elias, 2005)

Struktur geologi memiliki peran penting dalam pembentukan endapan laterit. Adanya struktur geologi seperti sesar dan kekar akan membuat batuan menjadi permeabel sehingga memudahkan air untuk dapat masuk ke dalam batuan. Masuknya air ke dalam batuan akan memudahkan proses pelapukan kimia sehingga laterisasi dapat berjalan dengan baik (Elias, 2005).

e. Topografi

Topografi akan mempengaruhi pola aliran air. Kelerengan dan relief mempengaruhi intensitas air yang masuk ke dalam tanah atau batuan dan muka air tanah (Elias, 2005). Topografi / morfologi yang tidak curam tingkat kelerengannya, maka endapan laterit masih mampu untuk ditopang oleh permukaan topografi sehingga tidak terangkut semua oleh proses erosi ataupun ketidakstabilan lereng. (Maulana, 2017). Membutuhkan topografi yang tidak begitu curam, permukaan tanah yang curam akan mempercepat erosi pada tanah laterit (Ahmad, 2008). Topografi yang terlalu datar dengan drainase yang buruk

juga tidak begitu bagus, hal ini menyebabkan pencucian berjalan kurang maksimal sehingga tanah laterit sulit terbentuk.

f. Waktu

Semakin lama waktu pelapukan semakin besar endapan nikel yang terbentuk.

2.4. Profil Endapan Nikel Laterit

Profil (penampang) laterit dapat dibagi menjadi beberapa zona. Profil nikel laterit tersebut dideskripsikan dan diterangkan oleh daya larut mineral dan kondisi aliran air tanah. Menurut Golightly (1979), profil laterit dibagi menjadi 4 zonasi yaitu Iron cap, limonit, saprolit dan bedrock, namun penulis telah menggabungkan beberapa teori dari beberapa penelitian sehingga profil laterit terbagi atas 5 zona yaitu:

1. *Iron Cap*

Iron cap atau tudung besi yaitu lapisan berukuran lempung, berwarna coklat kemerahan, dan biasanya terdapat juga sisa-sisa tumbuhan. lapisan dengan konsentrasi besi yang cukup tinggi (*ferruginous duricrust*) dan kandungan nikel yang rendah atau merupakan laterit residu yang dapat terbentuk pada bagian atas dari profil dan melindungi lapisan endapan nikel laterit dibawahnya (Golightly, 1979).

2. Zona Limonit

Zona ini berada paling atas pada profil dan masih dipengaruhi aktivitas permukaan dengan kuat. Zona ini tersusun oleh humus dan limonit. Mineral-mineral penyusunnya adalah goethit, hematit, tremolit dan mineral-mineral lain yang terbentuk pada kondisi asam dekat permukaan dengan relief relatif datar. Secara umum material-material penyusun zona ini berukuran halus (lempung-lanau), sering dijumpai mineral stabil seperti spinel, magnetit dan kromit (Golightly, 1979)

3. *Zona Medium Grade Limonite (MGL)*

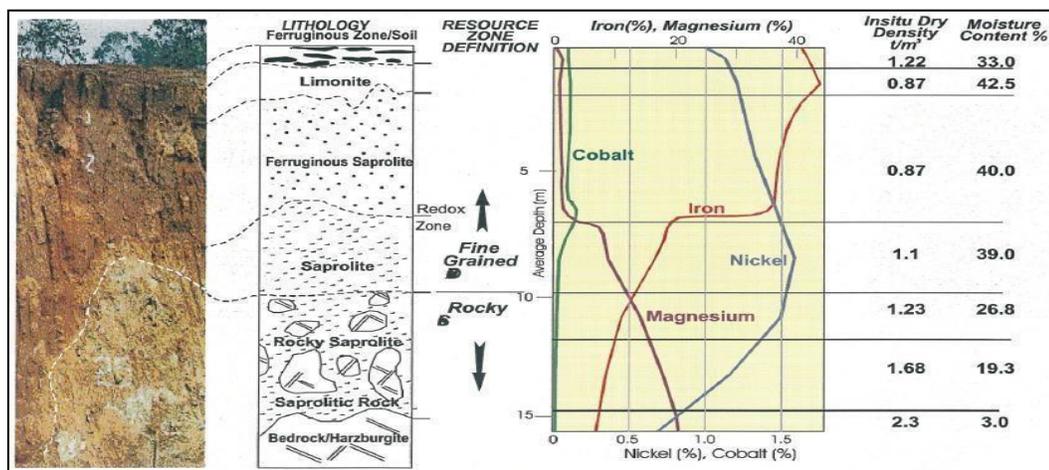
Sifat fisik zona *Medium Grade Limonite (MGL)* tidak jauh berbeda dengan zona overburden. Tekstur sisa bedrock mulai dapat dikenali dengan hadirnya fragmen bedrock, yaitu peridotit atau serpentinit. Rata-rata berukuran antara 1-2 cm dalam jumlah sedikit. Ukuran material penyusun berkisar antara lempung-pasir halus. Ketebalan zona ini berkisar antara 0-6 meter. Umumnya singkapan zona ini terdapat pada lereng bukit yang relatif datar. Mineralisasi sama dengan zona limonit dan zona

saprolit, yang membedakan adalah hadirnya kuarsa, lihopirit, dan opal (Golightly, 1979)

4. Zona Saprolit

Zona saprolit merupakan zona bijih, tersusun atas fragmen-fragmen bedrock yang teralterasi, sehingga mineral penyusun, tekstur dan struktur batuan dapat dikenali. Zona saprolit merupakan lapisan setelah zona limonit pada profil laterit, dimana pada lapisan ini terjadi proses pengayaan unsur Ni yang lebih besar dibandingkan zona lapisan lainnya. Hal ini terjadi karena pada saat pada saat proses lateritisasi yang terjadi dimana air yang berfungsi sebagai penyuplai mineral-mineral pembawa unsur Ni akan mengalir masuk melalui kekar atau celah batuan dan akan membawa nikel turun ke bawah dan lambat laun akan terkumpul di zona permeabel yang tidak dapat menembus bedrock, apabila proses ini berlangsung terus maka pada zona saprolit ini akan terjadi pengayaan supergen. Lapisan saprolit juga dicirikan oleh adanya tekstur sisa dari bedrock berupa boulder yang kayak akan kadar nikel (Ahmad, 2002).

Menurut (Ahmad, 2002) zona saprolit terbagi atas 2 lapisan berdasarkan tingkat pelapukannya yang disebut soft saproLYR yang tinggi akan tingkat pelapukan hingga menghasilkan ciri-ciri yang hampir menyerupai limonit dan rocky saproLYR yang tingkat pelapukannya lebih rendah dibandingkan yang terjadi pada lapisan soft saprolith. Pada gambar 2 memperlihatkan penampang laterit hasil pelapukan

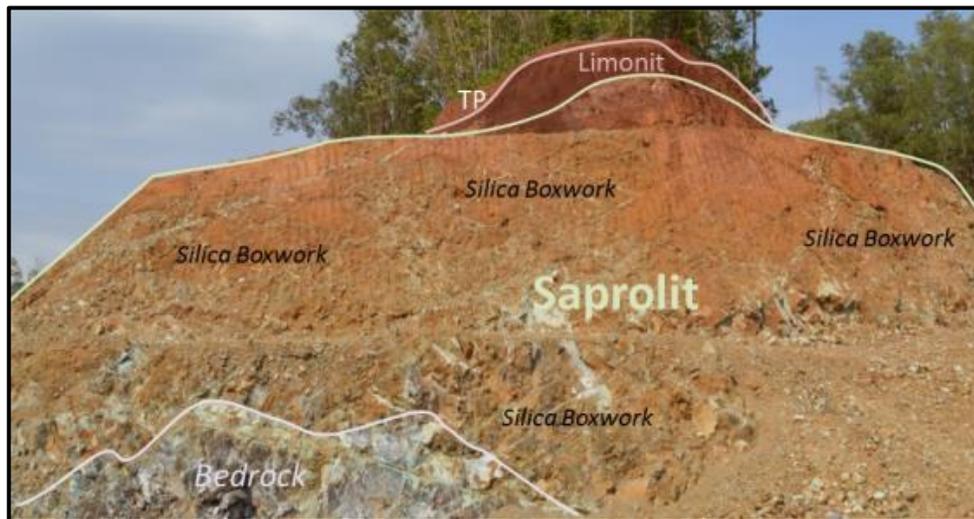


Gambar 5 Penampang Laterit Hasil Pelapukan Yang Membagi Zona Saprolit (Ahmad, 2002)

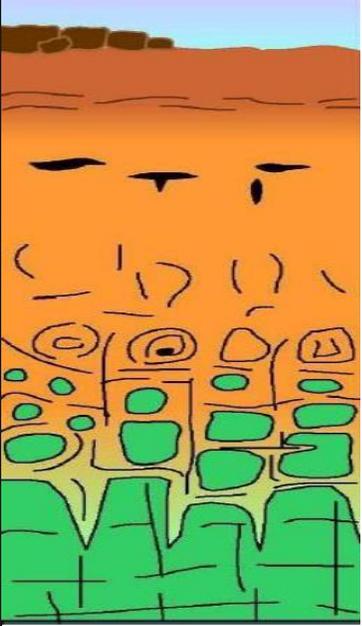
Berdasarkan kandungan fragmen batuan, zona saprolit dibagi menjadi dua yaitu:

- a. *Soft Saprolith*. Mengandung fragmen-fragmen berukuran boulder kurang dari 25%
 - b. *Rocky Saprolith*. Mengandung fragmen-fragmen berukuran boulder lebih dari 50%
5. *Bedrock*

Bedrock berada pada bagian paling bawah dari profil laterit. *Bedrock* ini merupakan batuan yang masih segar dengan pengaruh proses- proses pelapukan sangat kecil. Tersusun atas bongkah lebih besar dari 75 cm dan blok batuan dasar dan secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis lagi. Zona ini terfrakturisasi kuat, kadang - kadang membuka, terisi oleh mineral garnierit dan silika. Frakturisasi ini diperkirakan menjadi penyebab muncul atau adanya *root zone of weathering* (zona akar-akar pelapukan), yaitu *high grade Ni*, akan tetapi posisinya tersembunyi. *Bedrock* umumnya berupa peridotit, dunit, serpentinit (Ahmad, 2002).



Gambar 6 Tipe Profil Laterit

SKEMA PROFIL LATERITE	NAMA YANG UMUM	PERKIRAAN ANALISIS (%)			
		NI	Co	Fe	MgO
	LIMONIT MERAH	<0.8	<0.1	>50	<0.5
	LIMONIT KUNING	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	0.5 to 5
	TRANSISI	1.5 to 4	0.02 to 0.1	25 to 40	5 to 15
	SAPROLIT	1.8 to 3		10 to 25	15 to 35
	BATUAN DASAR	0.3	0.01	5	35 TO 45

Gambar 7 Profil endapan nikel laterit (Elias, 2002)

2.5. Sumber Daya Mineral

Eksplorasi awal di daerah Sorowako menunjukkan adanya dua batuan yang berbeda yang mendasari endapan laterit. Di bagian barat dari daerah Sorowako (Sorowako West Block), endapan laterit terbentuk melalui proses yang dimana peridotit pada dasarnya tidak terserpentinisasi yang ditandai dengan adanya batu-batu besar dan keras. Nikel dalam endapan ini hadir dalam fraksi yang halus. Di bagian timur dari wilayah Sorowako (Sorowako East Block) Endapan laterit terbentuk dari batuan dasar peridotitik yang menunjukkan berbagai tingkat serpentinisasi. Ketika tingkat serpentinisasi rendah, batuan dasar

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, 2019).

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 dan/atau 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. Adapun informasi didapatkan dari singkapan, paritan uji, sumuran uji, dan lubang bor. Lokasi informasi pada kategori ini secara spasial adalah cukup rapat dengan spasi maksimum lima puluh meter untuk memastikan kemenerusan geologi dan kadar. Spasi ini bisa diperlebar dengan justifikasi teknis yang bisa dipertanggungjawabkan seperti analisa geostatistika.

2.6. Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW)

Eksplorasi awal di daerah Sorowako menunjukkan adanya dua batuan yang berbeda yang mendasari endapan laterit. Di bagian barat dari daerah Sorowako (Sorowako West Block), endapan laterit terbentuk melalui proses yang dimana peridotit pada dasarnya tidak terserpentinisasi yang ditandai dengan adanya batu-batu besar dan keras. Nikel dalam endapan ini hadir dalam fraksi yang halus. Di bagian timur dari wilayah Sorowako (Sorowako East Block) Endapan laterit terbentuk dari batuan dasar peridotitik yang menunjukkan berbagai tingkat serpentinisasi. Ketika tingkat serpentinisasi rendah, batuan dasar blok timur yang muncul agak mirip dengan yang Blok Barat. Namun, ketika tingkat serpentinisasi tinggi, batuan dasar Block East dapat menampilkan tingkat kandungan nikel yang tinggi dalam lapisan bijih (Ahmad, 2005).

Jenis endapan laterit Timur dan Barat menunjukkan tanda stratifikasi dengan lapisan limonit-besi yang tinggi bawahnya zona saprolit dan yang paling bawah batuan dasar yang belum teralterasi. Dalam profil laterit umum ini, zona bijih didefinisikan secara ketat atas dasar nilai nikel. Sementara banyak dari bijih (di atas cut of grade) hanya terbatas pada zona saprolit, beberapa nilai bijih berada dalam zona limonit, khususnya di endapan Sorowako Blok Barat. Sementara bijih limonit dan bijih saprolit sangat berbeda satu sama lain, mereka ditambang bersama-sama dan tidak ada pemisahan dilakukan atas dasar ini. Namun, tipe bijih Timur dan Barat dipisahkan sampai ke penempatan tumpukan terpisah dari bijih kering di Dry Ore Storage di pabrik pengolahan (Ahmad, 2005)

Tipe bijih diklasifikasikan di daerah Sorowako-Petea secara sangat praktis yang mengarah ke benefisi bijih efektif, menentukan kemudahan pertambangan, dan meningkatkan efisiensi peleburan. Secara umum, parameter utama berikut digunakan untuk klasifikasi bijih (Ahmad, 2005):

1. Jenis batuan ultramafik
2. Tingkat serpentinisation.
3. Unsur Kimia: silika untuk magnesia rasio & konten besi.
4. Optimum ukuran fraksi untuk upgrade.
5. Tingkat kesulitan pertambangan (tanpa peledakan).
6. Kandungan mineral Olivin

Class. Parameters	WEST BLOCK ORE TYPES			EAST BLOCK & PETEA ORE TYPES			
	-1" Type-1	-1" Type-2	-1" Type-3	-1" Hi Olivine	-1" Lo Olivine	-6"	-18"
Main ore types	Generally harzburgite with some dunite			Generally lherzolite at Sorowako East Block; generally harzburgite at Petea.			
Level of serpentinisation	Nil <5%	Low 5-10%	Low 10-15%	Low 10-15%	Medium 15-25%	High 30-60%	V. High 60-100%
Magnetic susceptibility	Very low			Generally low		Very high	
SiO ₂ /MgO ratio	2.2 – 2.6			1.8 – 2.0	1.6 – 1.8	1.4 – 1.6	
Iron content	High: 20-24%			High: 20-24%		Low: 15-18%	
Optimum screen size (upgrading)	-1"			-1"	-1"	-6"	-18"
Screen recovery ROM to DKP	25-30%			35%	35%	50%	60%
Alternate screen size to improve screen recovery	No alternate size available			No alternate size	-6"	-18"	Entire ROM
Screen recovery using alternate size	No alternate size available			No alternate size	50%	60%	67%
Hardness of boulders	Extremely hard	Very hard		Medium hard	Medium hard	Soft	Soft
Fracture density	Very low	Medium	Medium	Medium	High	Very high	Very high
Difficulty of mining	High	Medium (+)	Medium (-)	Low	Low	Low	Low
Saprolite thickness drilled by auger	<1.5m	1.5 – 4.5 m	>4.5m	Note used for classifying East Block ore types			
Olivine content in the beneficiated ore	Medium	Medium	Medium	Low	Low	Low	Low
Olivine content in the rocky fraction	High			High	Low	Low	Low
OB thickness	Medium			Generally high except at Petea			
Ore thickness	High			Medium			

Gambar 8 Klasifikasi Tipe Bijih pada sorowako dan petea (Ahmad, 2005)