

**STUDI KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN GEOKIMIA
ENDAPAN BIJIH NIKEL LATERIT SEBAGAI
IMPLIKASI DALAM PENGOLAHAN**

(STUDI KASUS: BLOK B PT SINAR JAYA SULTRA UTAMA SITE WATURAMBAHA)

SKRIPSI



RESKI FAUSI AMANDA

D621 16 003

**DEPARTEMEN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2020

HALAMAN PENGESAHAN



RESKI FAUSI AMANDA

NIM. D62116003

**KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN GEOKIMIA ENDAPAN BIJIH NIKEL
LATERIT SEBAGAI IMPLIKASI DALAM PENGOLAHAN**
(STUDI KASUS: BLOK B PT SINAR JAYA SULTRA UTAMA SITE WATURAMBAHA)

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S-1)
pada Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanudin

Disetujui di Gowa, 30 November 2020

Disetujui Oleh,

Pembimbing Tugas Akhir I

Dr. Ir. Irzal Nur, M.T.
NIP.19660409 199703 1 002

Pembimbing Tugas Akhir II

Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph. D.
NIP. 19730314 200012 1 001

Mengetahui,

Sekretaris Departemen Teknik Pertambangan

Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T.
NIP. 197010052008012026

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : RESKI FAUSI AMANDA

NIM : D621 16 003

Judul Skripsi : STUDI KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN GEOKIMIA ENDAPAN BIJIH NIKEL LATERIT SEBAGAI IMPLIKASI DALAM PENGOLAHAN(STUDI KASUS: BLOK B PT SINAR JAYA SULTRA UTAMA SITE WATURAMBAHA)

Bahwa benar adalah Karya Ilmiah saya dan bebas dari *plagiarism* (duplikasi).

Demikian Surat Pernyataan ini dibuat, jika kemudian hari ditemukan bukti ketidakaslian atas Karya Ilmiah ini, maka Saya bersedia mempertanggungjawabkan sesuai Peraturan Perundang-undangan yang berlaku.

Makassar, 30 November 2020

Yang bersangkutan,



(RESKI FAUSI AMANDA)

ABSTRAK

Berdasarkan data dari Badan Geologi Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara tahun 2013, sumberdaya laterit di Indonesia mencapai 3.565 juta ton bijih atau setara dengan 52,2 juta ton logam Ni, hal ini menunjukkan kajian terhadap eksplorasi dan pengolahan Ni laterit akan semakin populer. Ni laterit adalah endapan hasil pelapukan dari batuan ultramafik yang kemudian mengalami *leaching*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mineralogi dan geokimia endapan ini di blok B PT Sinar Jaya Sultra Utama yang merupakan lokasi penelitian. Penentuan karakteristik kimia dilakukan dengan membuat peta sebaran nilai kadar unsur Ni, Fe, SiO₂, MgO, dan rasio silika/magnesia menggunakan aplikasi ArcGIS 10.3 dengan metode *Inverse Distance Weighting* dan penentuan tipe endapan menggunakan *X-Ray Diffraction* dan analisis mikroskopik sayatan tipis. Pada daerah penelitian ditemukan mineral pembawa Ni yaitu serpentin dan talk yang menunjukkan bahwa daerah penelitian termasuk tipe endapan *Hydrous Silicate* dengan batuan dasar peridotit jenis harzburgit. Hubungan Ni terhadap unsur-unsur pada bijih Ni laterit berdasarkan metode *X-Ray fluorescence* adalah bahwa bijih Ni memiliki korelasi yang lemah dengan besi (Fe), silika (SiO₂) dan magnesita (MgO). Bijih Ni laterit di lokasi penelitian memiliki kadar rata-rata Ni sebesar 1,8%, kadar SiO₂ 23,19% dan rasio S/M 2,43 serta rasio Fe/Ni 14,48 yang berarti lebih tepat diolah dengan metode pirometalurgi. Daerah penelitian direkomendasikan sebagai umpan pada pabrik pengolahan setelah melau proses *blending*.

Kata kunci: Garnierit, bijih Ni laterit, mineralogi, geokimia, pengolahan bijih

ABSTRACT

Based on the data from the Geological Agency of the Directorate General of Mineral and coal in 2013, laterite resources in Indonesia reached until 3,565 million tons of ore or equivalent with 52.2 million tons of Ni metal. Lateritic Ni deposit is a weathered deposit from ultramafic rocks which then undergoes leaching. This study aims to research the characteristic geochemistry and mineralogy of lateritic Ni ore in the B block, PT Sinar Jaya Sultra Utama which is the research study area. Determination of chemical characteristics is indicated respectively by grade distribution map of Ni, Fe, SiO₂, MgO and silica/magnesia ratio using application ArcGIS 10.3 with method of Inverse Distancing Weighting and determination of nickel ore type by using X-Ray Diffraction and thin section microscopic analysis . In the research area, it has been found some Ni-bearing minerals like olivine, pyroxine and serpentine wich indicated that research area is Hydrous Silcate Deposit. Geochemistry of lateritic Ni ore in the study area was identified using X-Ray fluorescence have linkages with feron (Fe) silica (SiO₂) and magnesia (MgO). The substance of Ni in the ore is 2.1%, SiO₂ 25.42%, S/M ratio 3.7 and Fe/Ni ratio 15.5 which mean is more precisely if ore were process by pyrometallurgy methods. The research area location recommended as after process blending.

Keywords: Garnierite, lateritic Ni ore, minerallogy, geochemistry, ore processing

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Jalla Jalaluhu sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul "Studi Karakteristik Mineralogi Dan Geokimia Endapan Bijih Nikel Laterit Sebagai Implikasi Dalam Pengolahan (Studi Kasus: Blok B Pt Sinar Jaya Sultra Utama Site Waturambaha). Penelitian ini membahas mengenai karakteristik endapan nikel laterit untuk rekomendasi metode ekstraksi di PT Sinar Jaya Utama.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan baik secara moril maupun materi sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Terima kasih kepada PT Sinar Jaya sultra Utama yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian, terkhusus Bapak Zulfikar S.T selaku pembimbing dan seluruh staf PT Sinar Jaya sultra Utama yang telah membantu dalam pengumpulan dan pengolahan data.

Terima kasih banyak kepada Ibu Dr. Ir. Irzal Nur, MT., selaku Kepala Laboratorium Riset Perencanaan dan Valuasi Tambang dan Pembimbing I serta Bapak Asran Ilyas, S.T., M.T Ph.D. selaku Pembimbing II yang telah membimbing dalam penyelesaian Skripsi ini. Terima kasih juga kepada seluruh dosen dan pegawai Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	<i>iv</i>
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Tahapan Penelitian	3
1.6 Lokasi Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pembentukan Nikel Laterit	7
2.2 Endapan Nikel Laterit	10
2.3 Klasifikasi Endapan Nikel Laterit	13
2.4 Mineralogi dan Geokimia Nikel Laterit	17
2.4.1 Mineralogi endapan Ni laterit.....	17
2.4.2 Geokimia endapan Ni laterit	18
2.5 Pengolahan Bijih Nikel	19
2.6 Geologi Daerah Konawe Utara.....	22
2.7 Proses Pembentukan Bijih Nikel Laterit Daerah Konawe.....	23

BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Pengumpulan Data.....	25
3.1.1 Pengumpulan data lapangan.....	25
3.1.2 Pengumpulan data laboratorium.....	26
3.2. Pengolahan Data.....	30
3.2.1 Pembuatan data akhir untuk analisis.....	30
3.2.2 Pengolahan data untuk pembuatan distribusi kadar unsur	31
3.2.3 Pengelompokan mineral pembawa Ni.....	33
3.2.4 Pembuatan profil endapan nikel laterit	34
3.2.5 Pengamatan batuan dasar	35
3.2.6 Analisis <i>x-ray diffraction</i> (XRD)	36
3.3 Bagan Alir Penelitian.....	38
BAB IV MINERALOGI DAN GEOKIMIA BIJIH NIKEL.....	39
4.1 Distribusi Kadar Bijih	39
4.1.1 Unsur Ni.....	39
4.1.2 Unsur Fe	41
4.1.3 Unsur SiO ₂	42
4.1.4 Unsur MgO	45
4.1.5 Rasio S/M.....	46
4.2 Penentuan Tipe Endapan	49
4.2.1 Analisis <i>X-Ray diffraction</i> (XRD).....	49
4.2.2 Deskripsi mineral	50
4.2.3 Tipe endapan berdasarkan referensi PT Sinar Jaya Sultra Utama	54
4.3 Korelasi Ni dengan Fe, SiO ₂ dan MgO Pada Bijih Nikel	57

4.3.1 Korelasi Ni dengan Fe.....	57
4.3.2 Korelasi Ni dengan SiO ₂	58
4.3.3 Korelasi Ni dengan MgO.....	58
4.4 Karakteristik Bijih Nikel Terhadap Pengolahan.....	59
4.4.1 Pengaruh geokimia terhadap pengolahan.....	59
4.4.2 Pengaruh mineral terhadap pengolahan	62
BAB V KESIMPULAN	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta lokasi IUP PT Sinar Jaya Sultra Utama	5
1.2 Lokasi penelitian	6
2.1 Proses pembentukan endapan nikel laterit (PT Vale, 2008)	8
2.2 Profil endapan nikel laterit	11
2.3 Profil nikel tipe <i>hydrous silicate</i> (Freyssnet et al, 2005).....	14
2.4 Profil nikel tipe <i>clay silicate</i> (Freyssnet et al, 2005).....	14
2.5 Profil nikel tipe <i>oxide deposits</i> (Freyssnet et al, 2005)	15
2.6 Skema transformasi mineral akibat pelapukan batuan (Nahon, <i>et al.</i> , 1992).....	18
2.7 Ringkasan variasi metode pengolahan bijih Ni laterit (Butt, 2005)	19
2.8 Skema pengolahan <i>smelting</i> dan <i>refining</i> dalam mengekstrak Fe-Ni	20
2.9 Skema ekstraksi Ni dengan metode <i>Caron</i> (Kyle, 2010).....	21
2.10 Skema ekstraksi Ni dengan metode HPAL (Kyle, 2010)	22
2.11 Peta sebaran nikel di Indonesia (Golightly, 1981).....	24
3.1 A. batuan induk dan B. garnerit.....	25
3.2 Proses penggerusan sampel.....	26
3.3 A. sampel berukuran 200 mesh dan B. Proses analisis XRD.....	27
3.4 A. Sayatan tipis stasiun 1 dan B. Sayatan tipis stasiun 2	27
3.5 Mikroskopis tipe Nikon Eclipse LV 100N POL	28
3.6 <i>X-ray diffractometer</i> yang digunakan untuk menganalisis mineral.....	29
3.7 Proses pembuatan peta sebaran dengan aplikasi ArcGIS 10.3	32
3.8 Kenampakan mikroskopis A. stasiun 1 dan B. stasiun 2	33
3.9 Lokasi pengambilan sampel stasiun daerah penelitian	34
3.10 Sampel batuan dasar stasiun 1	34

3.11 Sampel sayatan tipis.....	35
3.12 Alat yang digunakan analisis <i>X-Ray diffraction (XRD)</i>	36
3.13 Pengolahan data	37
3.14 Bagan alir Penelitian	38
4.1 Sebaran unsur Ni	40
4.2 Sebaran unsur Fe.....	42
4.3 Sebaran unsur SiO ₂	44
4.4 Sebaran unsur MgO.....	46
4.5 Distribusi S/M	48
4.6 Hasil analisis <i>X-Ray Diffraction</i> garnerit stasiun 1	49
4.7 Hasil analisis <i>X-Ray Diffraction</i> garnerit stasiun 2	50
4.8 Kenampakan mineral olivin pada batuan dasar	51
4.9 Kenampakan mineral piroksin pada batuan dasar.....	52
4.10 Kenampakan batuan dasar stasiun 1 secara mikroskopis.....	52
4.11 Kenampakan batuan dasar stasiun 2 secara mikroskopis.....	53
4.12 Plot sampel batuan dasar blok B pada klasifikasi IUGS.....	54
4.13 Distribusi konsentrasi Fe dengan kadar Ni	57
4.14 Distribusi SiO ₂ dan MgO dengan Ni	59

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Parameter perbedaan endapan nikel laterit (Freyssnet et al, 2005).....	16
2.2 Klasifikasi <i>mobile element</i> pada endapan Ni laterit (Trescases, 1975)	19
3.1 Nilai rasio S/M.....	31
4.1 Kadar unsur Ni tiap lubang bor.....	39
4.2 Kadar unsur Fe tiap lubang bor	41
4.3 Kadar unsur SiO ₂ tiap lubang bor	43
4.4 Kadar unsur MgO tiap lubang bor	45
4.5 Distribusi S/M tiap lubang bor	47
4.6 Parameter perbedaan endapan nikel laterit (Freyssnet <i>et al</i> , 2005).....	55
4.7 Plot penentuan tipe endapan Blok B pada tabel Freyssinet <i>et. al.</i> , (2005).....	56
4.8 Pengaruh mineral dan geokimia bijih Ni laterit terhadap proses pengolahan	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara penghasil nikel terbesar kedua dunia setelah Rusia yang memberikan sumbangan sekitar 15% dari jumlah produksi nikel dunia pada tahun 2010. Salah satu daerah penghasil nikel di Indonesia berada pada daerah Konawe Utara, Sulawesi Tenggara. Endapan laterit Konawe Utara di Sulawesi Tenggara merupakan sumber logam nikel di Indonesia yang telah ditambang. Identifikasi sebaran nikel laterit sangat penting untuk diketahui agar mempermudah proses eksplorasi lanjut dari suatu endapan.

Berdasarkan data dari Badan Geologi Direktorat Jenderal Mineral Batubara tahun 2013, sumberdaya laterit di Indonesia mencapai 3.565 juta ton bijih atau setara dengan 52,2 juta ton logam Ni. Sedangkan jumlah cadangan laterit mencapai 1.168 juta ton bijih atau setara dengan 22 juta ton logam Ni. Nikel laterit adalah hasil laterisasi batuan ultramafik yang mengandung nikel seperti dunit dan piroksinit.

Endapan nikel laterit mempunyai beberapa faktor penting dalam terjadinya proses pembentukan endapan laterit seperti litologi, geomorfologi, iklim dan tektonik suatu daerah. Berdasarkan faktor tersebut dapat diketahui hubungan antara karakteristik kimia, mineralogi, dan genesis dari endapan nikel laterit (Brand *et.al.*, 1998).

Kebutuhan pabrik pengolahan dalam sebuah perusahaan tambang sangat diperlukan demi meningkatkan efisiensi dan keuntungan perusahaan, sebagaimana pada perusahaan dimana dilokasi penelitian yaitu PT Sinar Jaya Sultra Utama yang memerlukan pabrik pengolahan. PT Sinar Jaya Sultra Utama memerlukan metode

ekstraksi dalam mengolah umpan ke pabrik pengolahan yang sesuai dengan spesifikasi tertentu.

Berdasarkan beberapa latar belakang tersebut maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tentang karakteristik endapan nikel laterit dengan data kimia dan geologi untuk menentukan tipe endapan nikel laterit Blok B PT Sinar Jaya Sultra Utama sehingga diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengolahan dan spesifikasi umpan pada pabrik pengolahan.

1.2 Rumusan Masalah

Endapan nikel laterit memiliki perbedaan karakteristik pada setiap daerah, perbedaan karakteristik ini membuat setiap tipe endapan nikel dapat berbeda cara pemurniannya. Oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik endapan nikel laterit dengan membuat peta sebaran unsur kimia yang terkandung, menganalisis pengaruh unsur kimia dalam penentuan jenis endapan berdasarkan batuan dasarnya dan mineral pembawa Ni, serta merekomendasikan metode ekstraksi Ni pada pabrik pengolahan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik kimia endapan nikel laterit di daerah penelitian melalui peta distribusi unsur Ni, Fe, SiO₂, MgO, serta rasio silika/magnesianya.
2. Mengetahui tipe endapan nikel laterit di daerah penelitian berdasarkan jenis batuan dasar dan mineral pembawa Ni.
3. Menganalisis hubungan Ni terhadap unsur Fe, SiO₂ dan MgO pada bijih nikel laterit di lokasi penelitian.

4. Merekomendasikan metode ekstraksi Ni pada pabrik pengolahan di daerah penelitian, berdasarkan karakteristik kimia dan mineraloginya.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan di atas, penelitian ini dapat digunakan sebagai rekomendasi kepada pihak PT Sinar Jaya Sultra Utama Site Waturambaha, Sulawesi Tenggara dalam pabrik pengolahan khususnya pada metode pengolahan dan umpan yang akan diproses oleh pabrik yang nantinya lebih efisien dan efektif berdasarkan karakteristik mineralogi dan geokimia daerah penelitian.

1.5 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini penulis melakukan beberapa langkah untuk memperoleh data yang relevan untuk diolah pada daerah penelitian. Prosedur-prosedur yang dilakukan penulis yaitu sebagai berikut:

1. Pengamatan di lapangan meliputi kegiatan dengan ikut langsung ke lapangan dengan mengumpulkan data dan informasi yang sesuai dengan keperluan penelitian, adapun jenis kegiatannya yaitu sebagai berikut:
 - a. Observasi dan pengenalan lapangan di lokasi penambangan
 - b. Pengumpulan data terdiri atas 2 bagian yaitu:
 - a) Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari daerah penelitian, pengambilan conto batuan dan dokumentasi juga merupakan pengamatan langsung di lapangan khususnya di Blok B.
 - b) Data sekunder adalah data bor yang disediakan oleh PT Sinar Jaya Sultra Utama.
2. Melakukan preparasi dan pengamatan conto batuan. Prosedur preparasi dan pengamatan sebagai berikut:

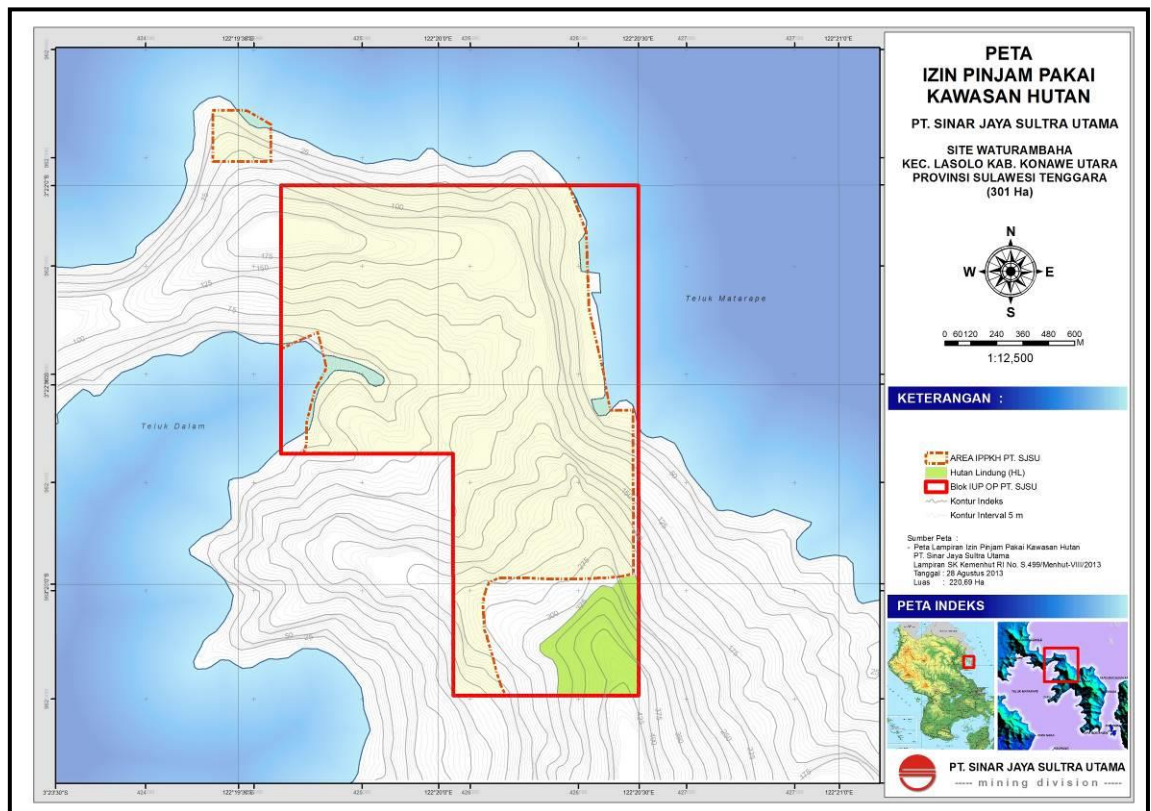
- a. Membuat sayatan tipis dari conto batuan yang diperoleh dari daerah penelitian.
 - b. Melakukan pengamatan terhadap conto batuan pada mikroskop polarisasi.
 - c. Hasil pengamatan dan deskripsi sampel batuan di lapangan yang diperoleh digunakan dalam proses penentuan tipe endapan.
3. Melakukan preparasi dan analisis XRD. Prosedur preparasi dan pengamatan sebagai berikut:
- a. Melakukan preparasi dari conto batuan yang diperoleh dari daerah penelitian menjadi sampel bubuk.
 - b. Melakukan analisis XRD terhadap conto batuan.
 - c. Hasil analisis yang berupa himpunan mineral digunakan dalam penentuan metode ekstraksi nikel laterit daerah penelitian.
4. Melakukan pengolahan data menggunakan aplikasi yang mendukung proses penyelesaian penelitian, prosedur pengolahan data meliputi:
- a. Membuat peta sebaran unsur Ni, Fe, SiO₂, MgO dan nilai rasio S/M dengan menggunakan metode *IDW (Inverse Distance Weight)*.
 - b. Hasil dari peta tersebut kemudian dapat dilihat distribusi Ni, Fe, SiO₂, MgO, serta nilai rasio S/M dan dapat digunakan dalam menentukan tipe endapan nikel laterit.

1.6 Lokasi Penelitian

PT Sinar Jaya Sultra Utama secara administrasi berada di Desa Waturambaha, Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. (Gambar 1.1). Perjalanan dari Kota Makassar menuju daerah ini dapat ditempuh melalui jalur udara menuju Kota Kendari dengan waktu tempuh ±55 menit. Dari Kota Kendari menuju kantor PT Sinar Jaya Sultra Utama sekitar 20 menit, kemudian dari

kantor pusat menuju Site Waturambaha PT Sinar Jaya Sultra Utama ditempuh dengan menggunakan jalur transportasi darat selama ± 7 jam dan memiliki medan yang cukup berat.

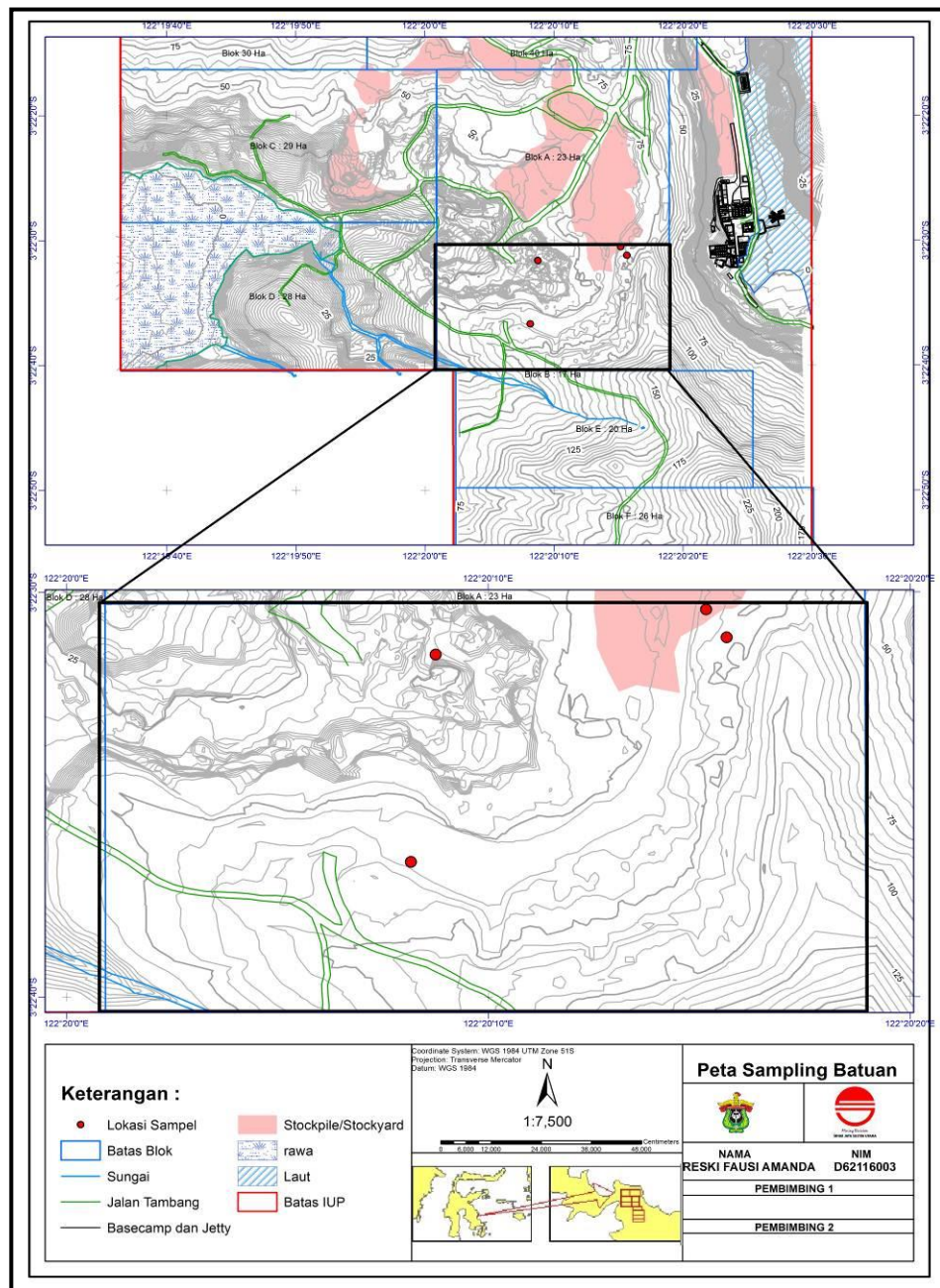
Daerah penelitian terletak di Kecamatan Lasolo Kepulauan yang memiliki luas 62,42 km² atau 1,21 % dari luas wilayah Kabupaten Konawe Utara (Gambar1.2). Wilayah administrasi Kecamatan Lasolo Kepulauan tahun 2017 dibagi menjadi 6 desa dengani ibukotanya adalah Kelurahan Boenaga. Kabupaten Konawe Utara memiliki dua musim, yaitu musim kemarau dan penghujan.



Gambar 1.1 Peta Lokasi IUP PT Sinar Jaya Sultra Utama

Musim kemarau terjadi antara bulan Mei dan Oktober, dimana angin timur yang bertiup dari Australia tidak banyak mengandung uap air, sehingga mengakibatkan musim kemarau. Sebaliknya musim hujan terjadi antara bulan November dan Maret, dimana angin barat yang bertiup dari benua Asia dan samudera Pasifik banyak mengandung uap air sehingga terjadi musim hujan. Khusus pada bulan April arah

angin tidak menentu, demikian pula curah hujan sehingga pada bulan ini dikenal sebagai musim pancaroba.



Gambar 1.2 Lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan di IUP PT Sinar Jaya Sultra Utama tepatnya berada pada blok B dengan luas 17 Ha yang pada saat ini masih aktif dalam proses penambangan dengan menggunakan metode *open pit mining*, blok ini merupakan blok dengan cadangan tertinggi yang ada di IUP PT Sinar Jaya Sultra Utama.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

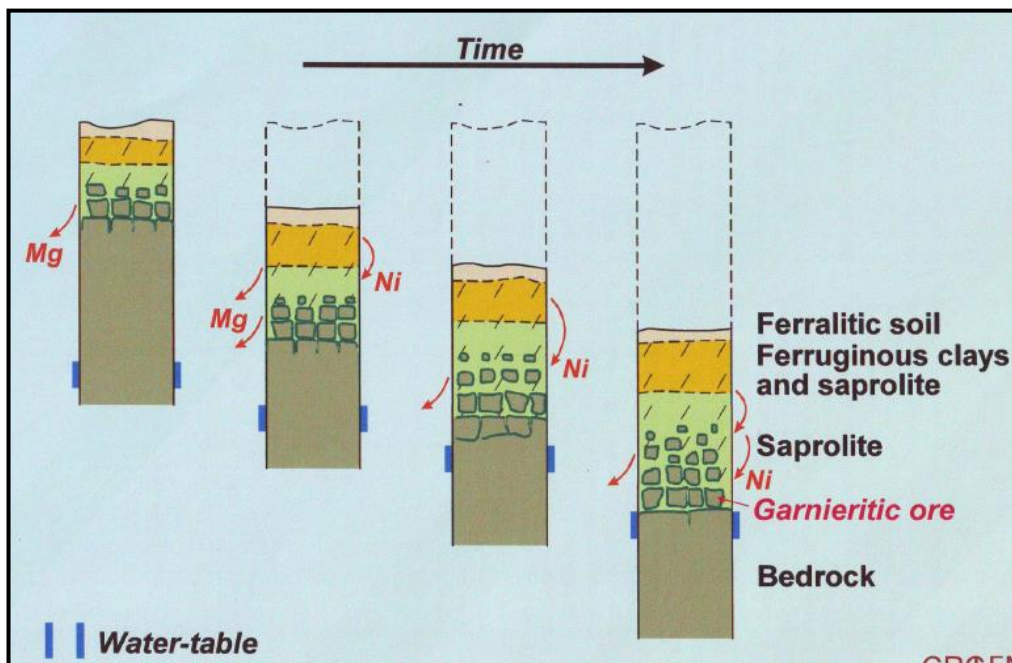
2.1 Pembentukan Nikel Laterit

Proses konsentrasi nikel pada endapan nikel laterit dimulai dari air permukaan yang mengandung CO₂ dari atmosfer dan terkayakan kembali oleh material-material organik di permukaan meresap ke bawah permukaan tanah sampai pada zona pelindihan, di mana fluktuasi air tanah berlangsung. Akibat fluktuasi ini, air tanah yang kaya akan CO₂ akan kontak dengan zona saprolit yang masih mengandung batuan asal dan melarutkan mineral-mineral yang tidak stabil seperti olivin, serpentin dan piroksin. Mg, Si dan Ni akan larut dan terbawa sesuai dengan aliran air tanah dan akan memberikan mineral-mineral baru pada proses pengendapan kembali (Hasanuddin, 1992).

Boldt (1967), menyatakan bahwa proses pelapukan dimulai pada batuan ultrabasa (peridotit, dunit, serpentin), di mana pada batuan ini banyak mengandung mineral olivin, magnesium silikat, dan besi silikat yang pada umumnya mengandung 0,30 % nikel. Batuan tersebut sangat mudah dipengaruhi oleh pelapukan lateritik. Air tanah yang kaya akan CO₂ berasal dari udara luar dan tumbuh-tumbuhan akan menghancurkan olivin. Terjadi penguraian olivin, magnesium, besi, nikel dan silika ke dalam larutan, cenderung untuk membentuk suspensi koloid dari partikel-partikel silika yang submikroskopis. Di dalam larutan besi akan bersenyawa dengan oksida dan mengendap sebagai ferri hidroksida. Akhirnya endapan ini akan menghilangkan air dengan membentuk mineral-mineral karat, yaitu hematit dan kobalt dalam jumlah kecil, jadi besi oksida mengendap dekat dengan permukaan tanah.

Proses laterisasi adalah proses pencucian pada mineral yang mudah larut dan silika pada profil laterit pada lingkungan yang bersifat asam dan lembab serta membentuk konsentrasi endapan hasil pengkayaan proses laterisasi pada unsur Fe, Cr, Al, Ni dan Co (Rose et al., 1979, dalam Nushantara, 2002).

Proses pelapukan dan pencucian yang terjadi akan menyebabkan unsur Fe, Cr, Al, Ni dan Co terkayakan di zona limonit dan terikat sebagai mineral-mineral oksida atau hidroksida, seperti limonit, hematit, dan goetit (Hasanudin, 1992). Umumnya endapan nikel terbentuk pada batuan ultrabasa dengan kandungan Fe di olivin yang tinggi dan nikel berkadar antara 0,2% - 0,4%. Berikut merupakan gambar proses pembentukan nikel laterit yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Proses pembentukan endapan nikel laterit (Freysnet et al, 2005).

Pembentukan bijih nikel laterit dipengaruhi oleh beberapa faktor. Adapun faktor-faktor yang memengaruhi pembentukan nikel laterit (Ahmad, 2005) adalah:

1. Batuan Asal

Adanya batuan asal merupakan syarat utama terbentuknya endapan nikel laterit. Batuan asal dari nikel laterit adalah batuan ultrabasa. Dalam hal ini pada

batuan ultrabasa terdapat unsur nikel (Ni) yang paling banyak di antara batuan lainnya. Batuan ultrabasa mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel serta mempunyai mineral-mineral yang paling mudah lapuk atau tidak stabil, seperti olivin dan piroksin.

2. Iklim

Pergantian musim kemarau dan musim penghujan akan menyebabkan terjadinya kenaikan dan penurunan permukaan air tanah sehingga terjadi proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur yang cukup besar akan membantu terjadinya pelapukan mekanis, di mana akan terjadi rekahan-rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.

3. Reagen-Reagen Kimia

Reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu dalam mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO_2 memegang peranan penting di dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam pada humus menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat mengubah pH larutan. Asam-asam pada humus berkaitan erat dengan vegetasi yang ada di daerah tersebut. Vegetasi akan mengakibatkan penetrasi air dapat lebih dalam dan lebih mudah mengalir.

4. Topografi

Keadaan topografi setempat akan sangat memengaruhi sirkulasi air beserta reagen-reagen lain. Untuk daerah yang landai, maka air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan. Akumulasi endapan umumnya terdapat pada daerah-daerah yang landai sampai kemiringan sedang, hal

ini menerangkan bahwa ketebalan pelapukan mengikuti bentuk topografi. Pada daerah yang curam, secara teoritis, jumlah air yang meluncur (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap sehingga dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.

5. Waktu

Waktu merupakan faktor yang sangat penting dalam proses pelapukan, transportasi, dan konsentrasi endapan pada suatu tempat. Untuk terbentuknya endapan nikel laterit membutuhkan waktu yang lama, mungkin ribuan atau jutaan tahun. Bila waktu pelapukan terlalu muda maka terbentuk endapan yang tipis. Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi. Banyak dari faktor tersebut yang saling berhubungan dan karakteristik profil di satu tempat dapat digambarkan sebagai efek gabungan dari semua faktor terpisah yang terjadi melewati waktu, ketimbang didominasi oleh satu faktor saja.

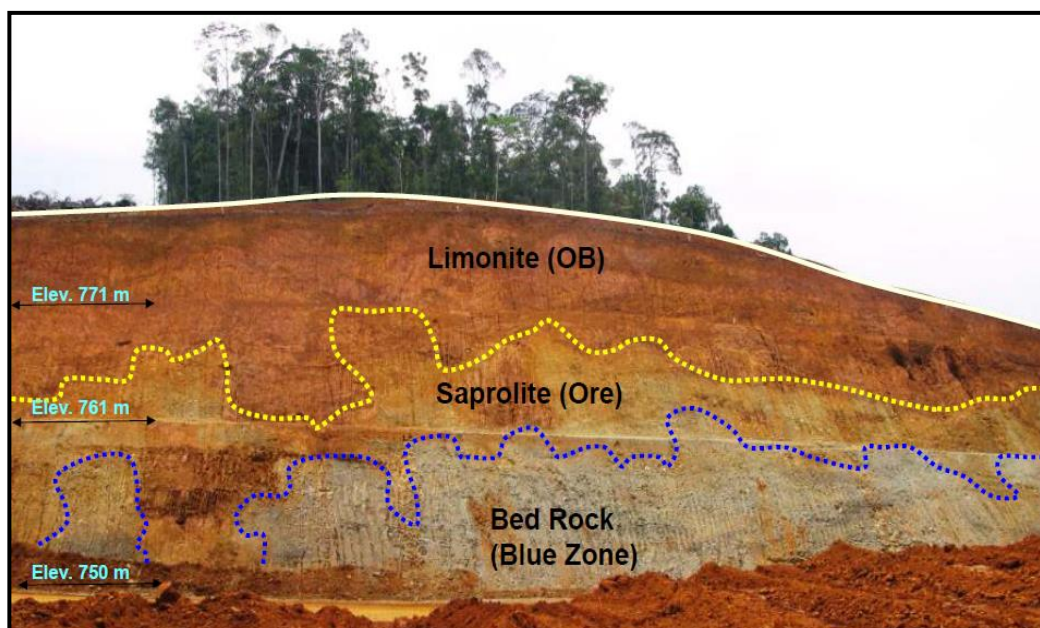
6. Struktur

Struktur geologi yang penting dalam pembentukan endapan laterit adalah rekahan (*joint*) dan patahan (*fault*). Adanya rekahan dan patahan ini akan mempermudah rembesan air ke dalam tanah dan mempercepat proses pelapukan terhadap batuan induk. Selain itu rekahan dan patahan dapat pula berfungsi sebagai tempat pengendapan larutan-larutan yang mengandung nikel (Ni) sebagai *vein-vein*. Seperti diketahui bahwa jenis batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil sekali sehingga penetrasi air sangat sulit, maka dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan memudahkan masuknya air dan proses pelapukan yang terjadi akan lebih intensif.

2.2 Endapan Nikel Laterit

Endapan Nikel Laterit merupakan hasil pelapukan lanjut dari batuan ultrabasa pembawa Ni-Silikat. Umumnya terdapat pada daerah dengan iklim tropis sampai dengan subtropis. Pengaruh iklim tropis di Indonesia mengakibatkan proses pelapukan yang intensif, sehingga beberapa daerah di Indonesia bagian timur memiliki endapan nikel laterit. Menurut Vinogradov, batuan ultrabasa rata-rata mempunyai kandungan nikel sebesar 0,2 %. Unsur nikel tersebut terdapat dalam kisi-kisi kristal mineral olivin dan piroksin, sebagai hasil substitusi terhadap atom Fe dan Mg. Proses terjadinya substitusi antara Ni, Fe dan Mg dapat diterangkan karena radius ion dan muatan ion yang hampir bersamaan di antara unsur-unsur tersebut. Proses serpentinisasi yang terjadi pada batuan peridotit akibat pengaruh larutan *hydrothermal*, akan mengubah batuan peridotit menjadi batuan serpentin atau batuan serpentin peridotit. Sedangkan proses kimia dan fisika dari udara, air serta pergantian panas dingin yang bekerja kontinu, menyebabkan disintegrasi dan dekomposisi pada batuan induk.

Berikut susunan stratigrafi yang terdapat dalam endapan nikel laterit dan dideskripsikan dari bawah ke atas yang merupakan urutan aktual pembentukannya



Gambar 2.2 Profil endapan laterit (Ahmad, 2005).

A. Bedrock

Terletak di bagian paling bawah dari profil laterit, zona batuan dasar menandai batuan ultrabasa asli yang belum terpengaruh oleh proses pelapukan tropis. Komposisi kimia dari batuan ini adalah komposisi asli atuan asal (*protolith*). Lipatan dan rekahan masih dalam kondisi baru dan belum membuka secara signifikan karena tekanan hidrostatik dari material atasnya. Serta, air tanah meresap telah kehilangan hampir semua keasamannya pada saat mencapai zona batuan dasar dan dengan demikian tidak mampu masuk ke komponen mineral ke tingkat yang signifikan.

B. Zona saprolit

Terletak di atas batuan dasar, zona saprolit terdiri dari batu-batu yang sebagian telah benar-benar terurai di bawah pengaruh pelapukan tropis. Proses pelapukan mulai sepanjang permukaan lipatan dan rekah mengakibatkan pembentukan bongkah atau *boluder* dalam zona saprolit. Dalam batuan dasar yang relatif sangat terserpentinisasi, batas zona saprolit tidak terbatas hanya untuk rekahan dan lipatan saja, tetapi secara aktif berlanjut ke seluruh massa batuan yang memungkinkan terjadinya akses air tanah.

Dalam zona saprolit, pelapukan batu-batu semakin meningkat ke arah atas. Magnesia larut, silika dan alkali terpindahkan dengan cepat meninggalkan konsentrasi sisa seskuioksida besi, alumina, krom dan mangan. Nikel di zona saprolit sebagian tersisa tapi kebanyakan dari pengayaan sekunder. Air tanah yang asam melarutkan nikel di bagian atas profil laterit dan menyimpannya di zona saprolit di mana peningkatan mendadak dalam alkalinitas air (karena kerusakan olivin dan pelepasan magnesium) membuat nikel terlarut. Zona saprolit juga

menjadi tempat untuk urat *garnierite* dan deposisi silika bebas sebagai urat atau *boxwork*. Bagian bawah dari zona saprolit secara bertahap menjadi kekurangan pengayaan nikel sekunder dan bukan bagian dari badan bijih.

C. Zona limonit

Terletak di atas profil laterit, zona limonit merupakan produk akhir dari pelapukan tropis batuan ultrabasa dan konsentrasi residu unsur *non-mobile*. Pencucian lengkap dari komponen larut telah meninggalkan materi yang lemah dan menyebabkan hilangnya mineral utamanya. Zona limonit terbagi beberapa tingkat, bagian paling atas dari zona terkena efek oksidasi dari udara dan membawa beberapa hematit, terutama di medan *flattish* dimana kondisi rawa juga menyebabkan solusi dan pengendapan kembali besi sebagai *iron cap*. *Iron cap* merupakan bahan konstruksi jalan yang sangat baik karena kadar air yang lebih rendah. Di bawah zona hematit, besi sebagian besar dalam bentuk goetit dan limonit, baik hidroksida besi dengan jumlah yang signifikan. Sementara seskuioksida besi, aluminium dan krom lebih atau kurang merata dalam zona limonit, mangan dan kobalt dilarutkan dan diendapkan ke bagian bawah zona limonit.

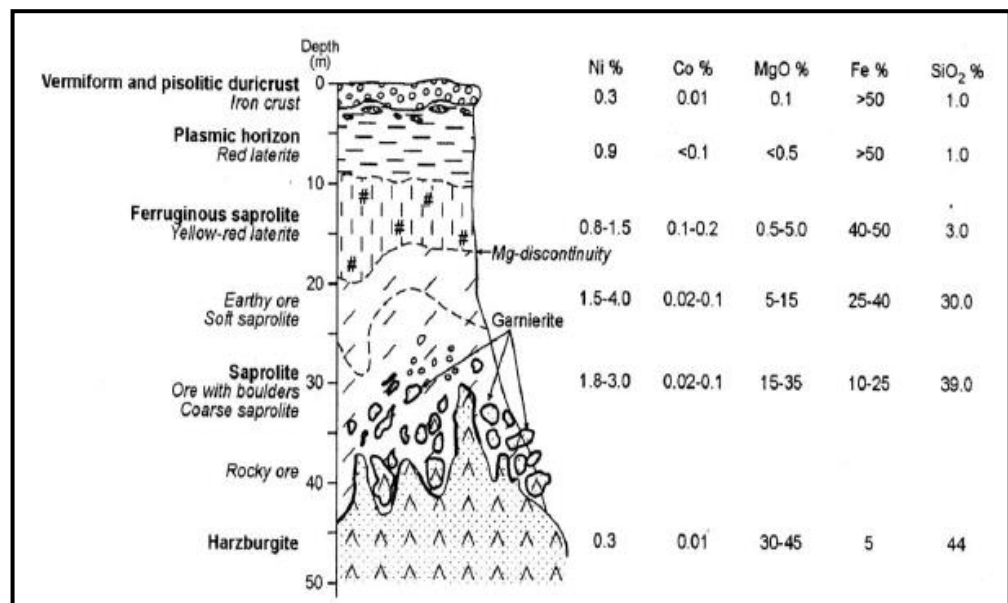
2.3 Klasifikasi Endapan Nikel Laterit

Secara mineralogi nikel laterit dapat dibagi dalam tiga kategori yaitu (Brand et al, 1998):

2.3.1 *Hydrous silicate deposits*

Pada endapan tipe *Hydrous Silicate* bagian bawah zona saprolit (horizon bijih) didominasi oleh mineral-mineral *hydrous* Mg-Ni silikat (Gambar 2.3) setempat pada zona saprolit, urat-urat halus atau *box-work* dapat terbentuk. Rekahan dan batas-batas antar butir dapat terisi oleh mineral silikat dan mineral yang kaya dengan nikel.

Sebagai contoh garnierit dapat memiliki kandungan nikel sampai dengan 40%. Nikel akan mengalami pelindian dan limonit pada fase *Fe-oxyhidroxide* akan bergerak turun ke bawah sebelum terendapkan kembali sebagai *Hydrous Silicate* mineral atau menggantikan dalam ubahan serpentinit. Pengkayaan Ni melalui proses supergen ini sangat penting untuk pembentukan endapan *Hydrous Silicate* pada kadar yang ekonomis.



Gambar 2.3. Profil nikel tipe *hydrous silicate* (Freyssnet et al, 2005).

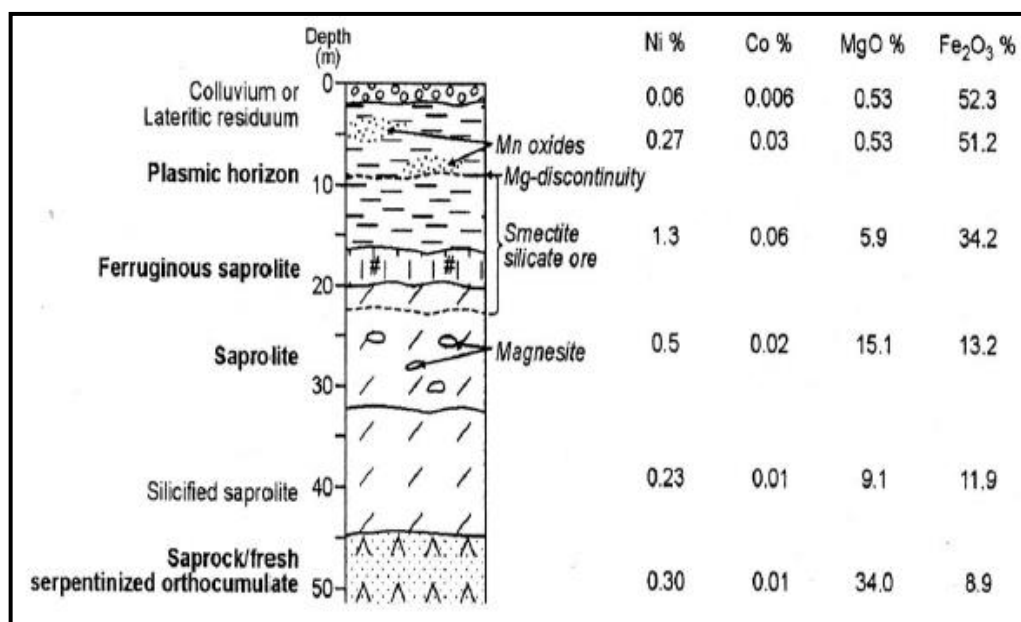
Pada endapan tipe *Hydrous Silicate*, posisi muka air tanah relatif dalam, kondisi ini menyebabkan infiltrasi air yang dalam sehingga nikel lebih banyak terakumulasi pada zona saprolit bagian bawah.

2.3.2 Clay silicate deposits

Silika (Si) dari profil laterit, hanya sebagian yang terlindungi oleh air tanah. Silika yang tersisa bersama-sama dengan Fe, Ni, dan Al membentuk meral lempung seperti *Ni-rich nontronite* pada bagian tengah sampai dengan bagian atas zona saproli. Serpentin yang kaya dengan nikel juga bisa digantikan (teraltrasi) oleh smektit pada bagian yang kontak dengan air tanah sehingga larutan-larutan yang terbentuk

menjadi jenuh dengan mineral-mineral lempung ini (gambar 2.4). Secara umum, kadar nikel rata-rata pada tipe endapan ini lebih rendah dibandingkan dengan tipe *Hydrous Silicate*.

Pada endapan tipe *clay deposit*, posisi muka air tanah awal relatif lebih dangkal dan drainase terhambat, kondisi ini menyebabkan lapisan limonit lebih sering terendam air sehingga terbentuk lapisan lempung dan akumulasi Ni pada lapisan lempung tersebut.

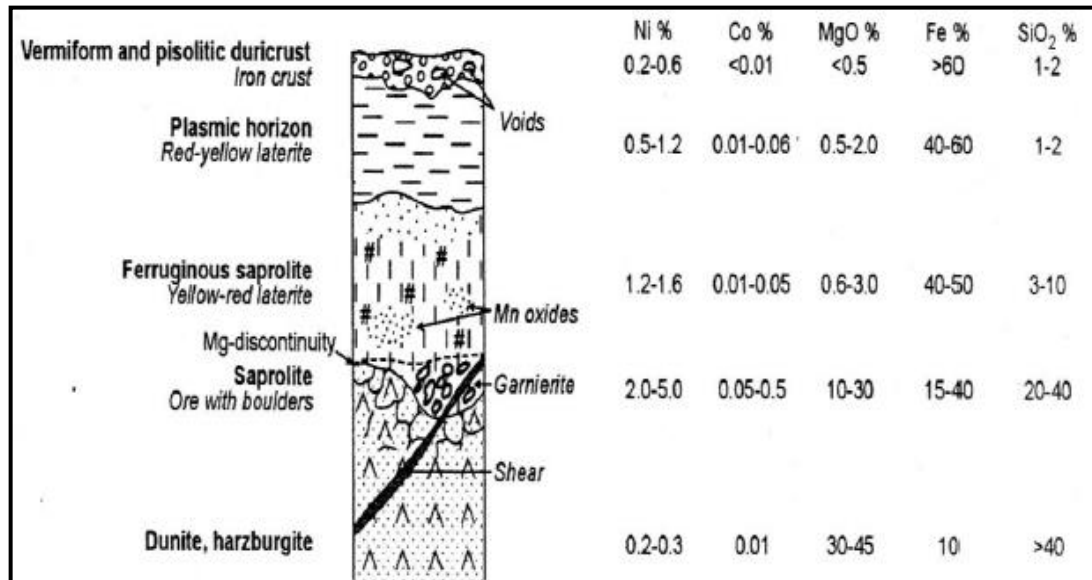


Gambar 2.4. Profil nikel tipe *clay silicate* (Freysnet et al, 2005).

2.3.3 Oxide deposits

Oxide deposit dikenal juga dengan nama endapan limonit, dimana nikel berasosiasi dengan *Fe-oxihydroxide*, dengan mineral utama geotit. Kadang-kadang juga kaya dengan oksida Mn yang kaya dengan Co. Kadar Ni rata-rata pada tipe endapan ini lebih rendah 1.0-1.6%, sehingga memiliki nilai ekonomis yang kurang baik. Pada endapan tipe *oxide deposit* posisi muka air tanah awal relatif dangkal dan drainasenya tidak terhambat (infiltrasi air lancar) sehingga Ni lebih banyak

terakumulasi pada zona limonit sampai saprolit bagian atas. Profil endapan tipe *oxide deposit* dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Profil nikel tipe *oxide deposits* (Freyssnet et al, 2005).

Tabel 2.1 Parameter perbedaan endapan nikel laterit (Freyssnet et al, 2005).

Parameter	<i>Hydrous Silicate</i> Deposit	<i>Clay Silicate</i> Deposit	Oxide Deposit
Kadar Ni	Kandungan Ni 1.8- 2.5 %	Kandungan Ni 1.0- 1.5%	Kandungan Ni 1.0- 1.6%
Mineral	Terdapat Silika <i>box-</i> <i>work</i>	Si bersama dengan Fe, Ni, dan Al membentuk mineral lempung	Mineral utamanya <i>Geothite</i>
Posisi	Posis muka air tanah	Posisi muka air tanah	Posisi muka air tanah
Muka air tanah	relatif dalam	awal relatif lebih rendah dan drainase	relatif dangkla Drainasinya tidak

		terhambat.	terhambat
	Nikel lebih banyak	Lapisan limonit lebih	Ni lebih banyak
Akumulasi	terakumulasi pada	sering terendam ai	terakumulasi pada
Ni	zona saprolit bagian	sehingga terbentuk	zona limonit sampai
	bawah	lapisan lempung	saprolit bagian atas.

Endapan Ni silika, didominasi oleh *hydrated Mg-Ni silicates* (seperti *garnierite*), biasanya terdapat di lapisan saprolit (Golightly, 1981; Gleeson, *et al.*, 2003). Endapan *silicate Ni*, didominasi oleh lempung smektit (seperti nontronit), biasanya terdapat di bagian atas saprolit atau pedolit (Golightly, 1981; Gleeson, *et al.*, 2003). Endapan Murrin (Australia Barat) memiliki sumberdaya Ni sebesar 334 Mt dan cadangan 145 Mt, kadar Ni rata-rata 1,07% pada zona lempung (Elias, 2006; Marsh & Anderson, 2011). Endapan Ni laterit tipe *clay* yang berada di Murrin Murrin terdiri atas lima zona yaitu: *unweathered country rock* pada bagian dasar, saprolit, smektit, limonit (lebih dikenal dengan istilah *ferruginous zone*), dan *colluvium* pada bagian atas (Wells & Butt, 2006; Marsh & Anderson, 2011).

Endapan oksida, didominasi oleh *Fe oxyhydroxides* (seperti goetit), membentuk lapisan di antara pedolit dan saprolit (Golightly, 1981; Gleeson, *et al.*, 2003). Endapan Ni laterit di Moa Bay, Cuba adalah contoh dari tipe endapan oksida (Gleeson, *et al.*, 2003). Endapan ini memiliki kadar Ni sebesar 1,27% (Freyssinet, *et al.*, 2005). Endapan tipe oksida ini terbentuk dari proses pelapukan dari batuan peridotit (harzburgit) yang terserpentinisasi dan dunit pada sabuk Mayari-Baracoa ofiolit (Roqué-Rosell, *et al.*, 2010). Profil endapan Ni laterit di Moa Bay terdiri dari *ferricrete cap* berada di atas lapisan *limonite* yang mengandung goetit, maghemit, hematit, dan gibsit, serta *Mn-Ni-Co oxyhydroxides*. Lapisan limonit berada di atas lapisan saprolite yang terdiri dari lizardit, goethit, magnetit, maghemit, kromit, dan *hydrous Mg-*

silicates. Lapisan paling bawah adalah protolit yang merupakan peridotit terserpentinisasi dan harzburgit (Roqué-Rosell, *et al.*, 2010; Marsh & Anderson, 2011).

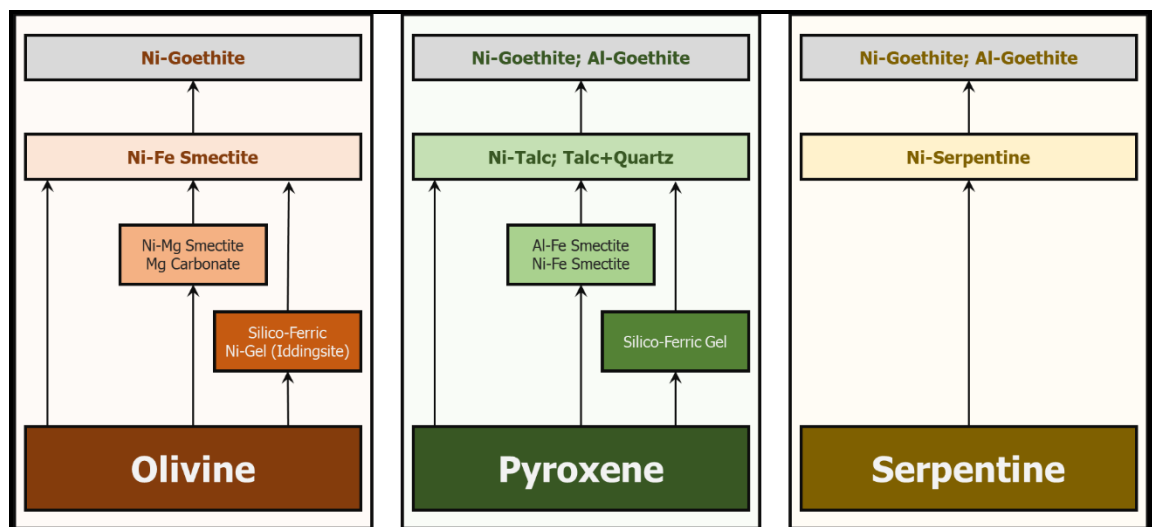
2.4 Mineralogi dan Geokimia Nikel Laterit

2.4.1 Mineralogi endapan ni laterit

Mineral-mineral primer pada batuan ultramafik (*bedrock*) dapat menghasilkan mineral sekunder, sebagai berikut (Nahon, *et al.*, 1992):

1. olivin menjadi krisotil, magnetit, saponit, nontronit, silika, amorf dan goetit.
2. piroksin menjadi talk, smektit dan goetit.
3. serpentin menjadi smektit dan goetit.

Mineral primer pada batuan ultramafik yang menghasilkan mineral sekunder dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Skema transformasi mineral akibat pelapukan batuan dasar (batuan ultramafik) (Nahon, *et al.*, 1992)

Rangkaian pembentukan mineral sekunder selama proses pembentukan laterit berbeda dengan mineral primer. Pelapukan kimia yang terjadi pada olivin dan *pyroxene* lebih kompleks dari pada serpentin. Hal ini disebabkan tekstur serpentin yang

lebih halus dan komposisi kimia yang lebih homogen dari pada olivin dan *pyroxene* (Nahon, *et al.*, 1992).

2.4.2 Geokimia endapan ni laterit

Selama proses pelapukan berlangsung, beberapa elemen akan tercuci dan elemen lainnya akan terkonsentrasi melalui pengayaan sekunder atau residual (Brand, *et al.*, 1998). Sebuah pengukuran *mobile element* pada endapan Ni laterit melalui tingkat perpindahan elemen terhadap aliran air (Trescases, 1975; Golightly, 1981).

Tabel 2.2 Klasifikasi *mobile element* pada endapan Ni laterit (Trescases, 1975)

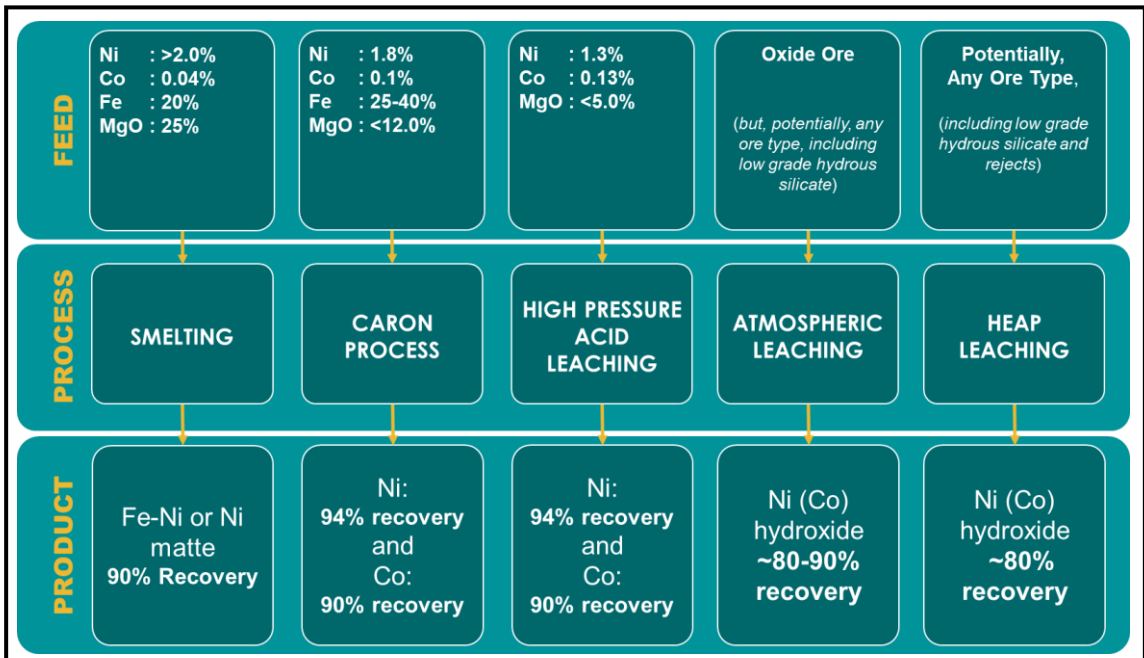
Elemen	Mobility	Kategori
Fe ⁺³	-18,1	<i>Residual Enrichment</i>
Cr ⁺³	-16,4	
Al ⁺²	-15,3	
Cu ⁺²	-5,7	
Ni ⁺²	-3,2	<i>Supergenic Enrichment</i>
Co ⁺²	-1,7	
Zn ⁺²	-1,5	
Mn ⁺²	1,3	<i>Leached</i>
Mg ⁺²	3,1	

2.5 Pengolahan Bijih Nikel

Secara historis, ekstraksi logam Ni dari bijih Ni laterit mulai dilakukan pada tahun 1897 di Pointe Caleix – Noumea, New Caledonia. Dua pabrik pengolahan lainnya menyusul masing-masing di Doniambo tahun 1910 dan Thio pada tahun 1913 (Dalvi, *et al.*, 2004).

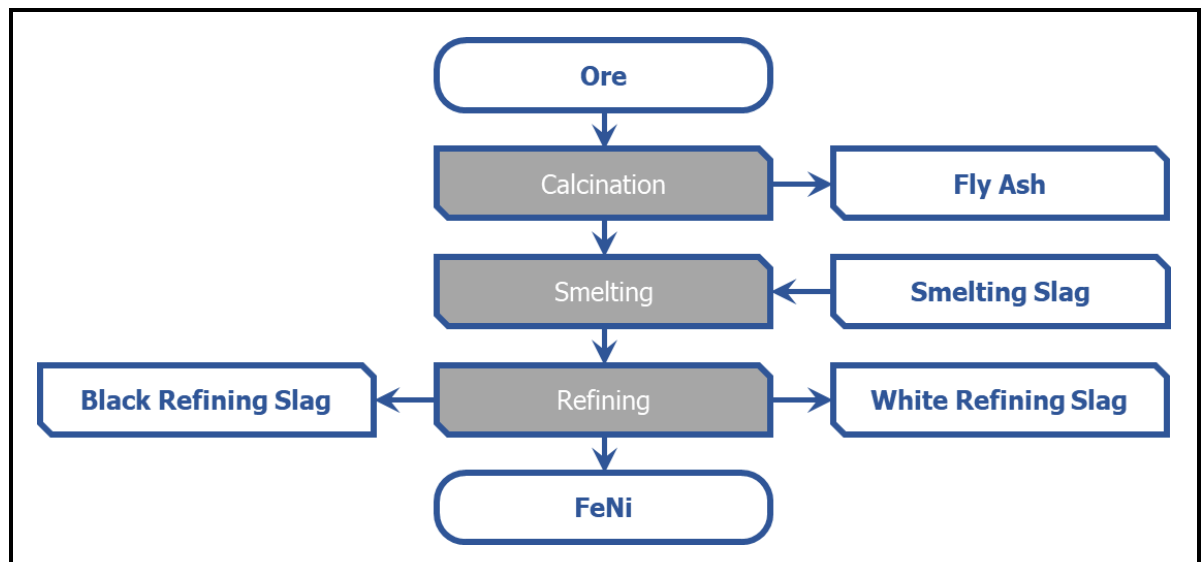
Berbagai metode pengolahan dapat diterapkan untuk mengekstrak Ni dari endapan laterit, seperti Pirometalurgi (*smelting*), menghasilkan *nickel matte* dan *ferronickel*; *caron process* dan *high-pressure acid leaching*, menghasilkan Ni dan Co; *atmospheric leaching* dan *heap leaching*, menghasilkan *Ni-hydroxide* (Butt, 2005). Metode-metode tersebut dipilih berdasarkan karakteristik mineralogi dan kimia dari bijih. Karakterisasi mineralogi dan kimia endapan Ni laterit adalah titik awal

fundamental yang harus diidentifikasi sebelum menentukan tipe pengolahan endapan Ni laterit yang tepat (Butt, 2005; Freyssinet, *et al.*, 2005; Ahmad, 2008). Dapat dilihat metode pengolahan bijih Nkel laterit pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Ringkasan variasi metode pengolahan bijih Ni laterit (Butt, 2005)

1. Smelting

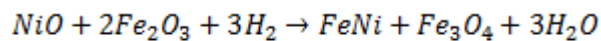


Gambar 2.8 Skema proses pengolahan *smelting* dan *refining* dalam mengekstrak Fe-Ni (Crundwell, *et al.*, 2011)

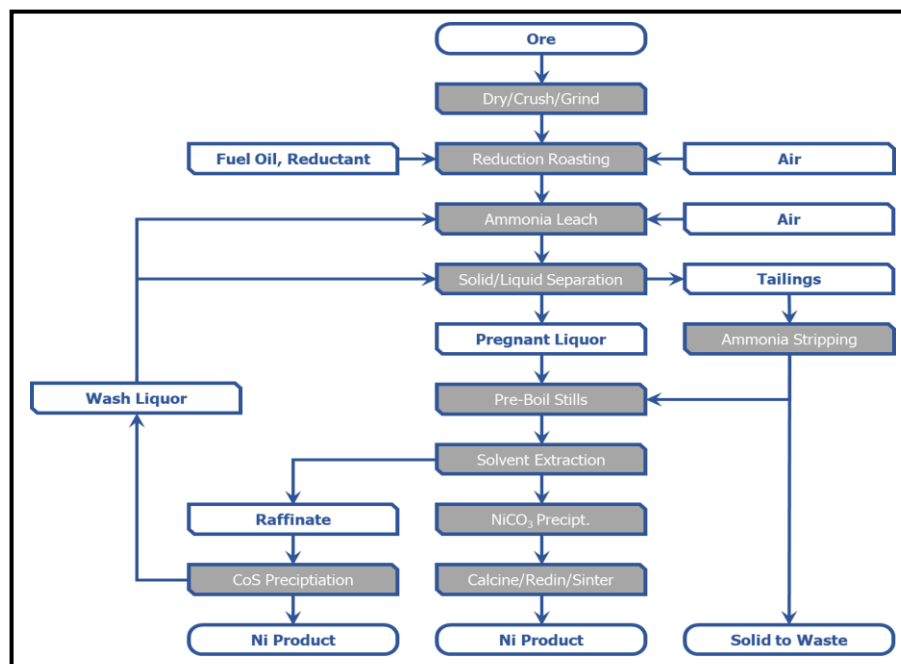
2. Caron

Proses ini pertama kali dikembangkan oleh Professor Caron di Belanda pada tahun 1920an dan dapat digunakan untuk bijih limonit dengan beberapa ketentuan juga dapat digunakan untuk bijih saprolit. Proses *caron* Beberapa tahapan proses ini yaitu pemanggangan yang dilakukan untuk mengurangi pengotor, diikuti dengan pelarutan dalam larutan amonia atau amonium karbonat (Kyle, 2010).

Kandungan besi yang terkandung akan membentuk paduan Ni dan Co dan sisanya membentuk *magnetite*. Reaksi pemanggangan pada suhu $\pm 850^{\circ}\text{C}$ yaitu (Kyle, 2010):



Bijih kemudian didinginkan sampai $150\text{--}200^{\circ}\text{C}$ dan dilarutkan dalam larutan amonia atau karbonat amonia. Ni dan Co dilarutkan sebagai kompleks amonia dan menghasilkan besi dioksidasi dan diendapkan sebagai besi hidroksida yang meninggalkan larutan pelarut bebas besi (Kyle, 2010).

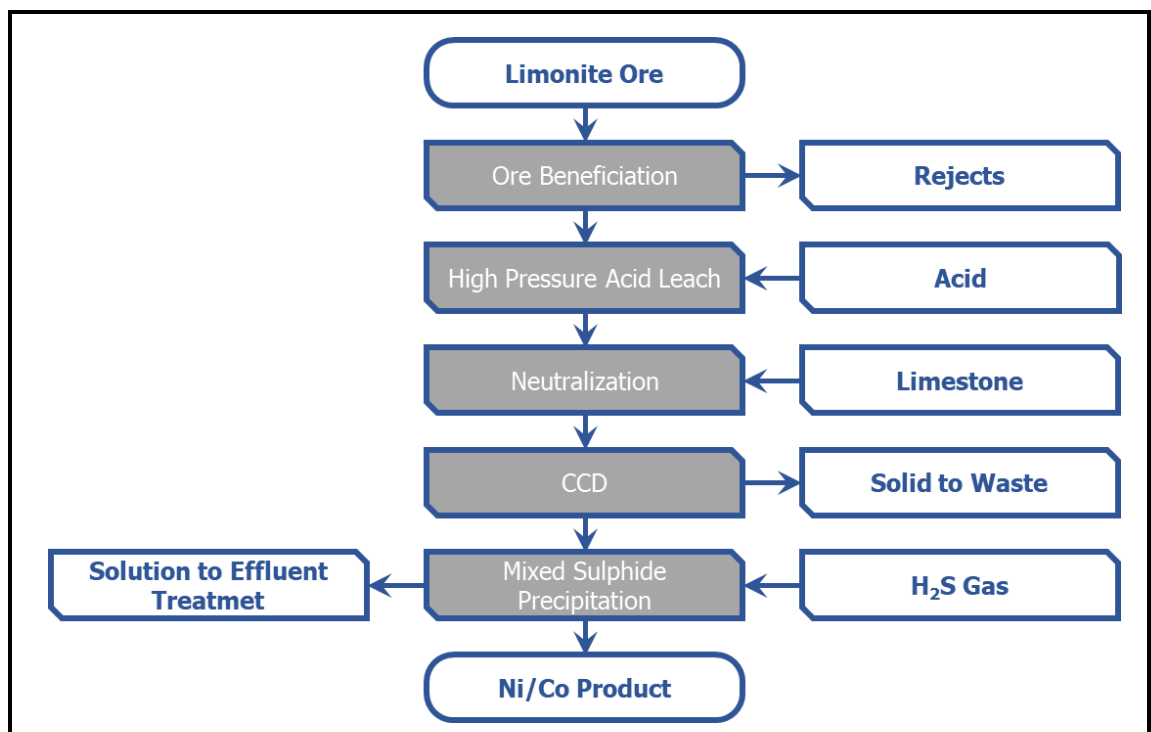


Gambar 2.9 Skema ekstraksi Ni dengan metode *Caron* (Kyle, 2010)

Keuntungan dari proses ini adalah proses pelarutan lebih sederhana menggunakan amonia pada suhu rendah, tekanan atmosfer, dan sudah terbukti dapat mengolah bijih dengan kadar rendah (Kyle, 2010).

3. *High pressure acid leaching*

Pabrik pengolahan Ni Freeport USA di Moa Bay Cuba merupakan pabrik pertama yang menggunakan proses HPAL pada tahun 1959. Proses HPAL dapat dikatakan lebih tepat sebagai proses pelarutan dan hidrolisa dari pada sebagai proses pelindian. Proses ini dilakukan dalam kondisi pelindian dengan menggunakan konsentrasi larutan asam yang tinggi serta temperatur dan tekanan yang juga tinggi. Hasil dari proses pelindian selain Ni dan Co terdapat juga besi, aluminum, silika, dan kromium yang terbentuk dalam bentuk padatan, walaupun dalam jumlah kecil dalam larutan namun menambah kompleksitas pengolahan. Reaksi pelindian menggunakan asam sulfat:



Gambar 2.10 Skema ekstraksi Ni dengan metode HPAL (Kyle, 2010)

2.6 Geologi Daerah Konawe Utara

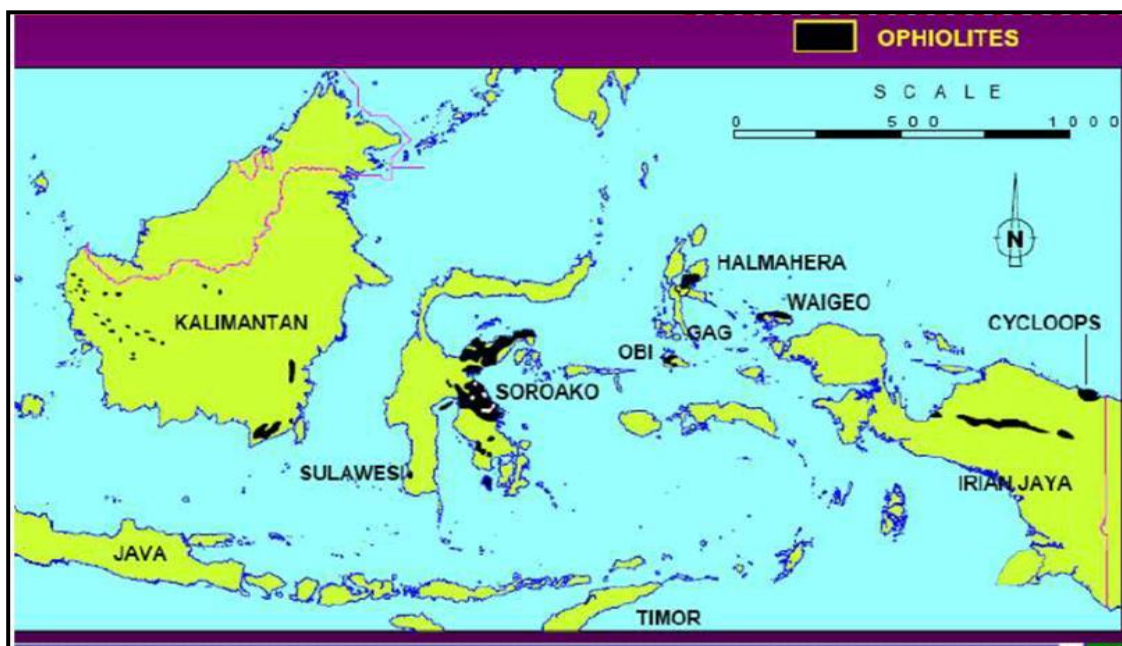
Endapan bijih nikel yang ditemukan di daerah Kecamatan Lasolo termasuk bijih nikel laterit yang terbentuk oleh hasil pelapukan batuan ultra basa. Jalur batuan ultra basa tersebut dijumpai dari Lasusua sampai Lasolo. Singkapan batuan ultrabasa umumnya telah mengalami pelapukan, berwarna kuning coklat berbintik hitam atau abu-abu putih dengan warna kehijauan pada bagian tepi luar atau pinggirnya. Pada pengamatan di lapangan terlihat adanya rekahan-rekahan kecil yang umumnya terisi oleh mineral-mineral sekunder (silika dan magnesit). Hal ini menunjukkan bahwa daerah ini dipengaruhi oleh gaya-gaya tektonik, sehingga proses pelapukan batuan terjadi dengan mudah. Terdapat dua kelompok rekahan yaitu kelompok yang berarah timurlaut sampai baratdaya dan kelompok yang berarah tenggara. Kelompok pertama umumnya diisi oleh mineral-mineral krisopras, *garnierite*, dan asbes, sedangkan kelompok yang kedua umumnya diisi oleh mineral kalsedon. Sebagian besar daerah penambangan nikel lasolo terdiri dari tanah laterit dengan warna merah.

2.7 Proses Pembentukan Endapan Bijih Nikel Daerah Konawe

Endapan bijih yang terdapat di daerah Konawe termasuk dalam jenis nikel laterit yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan asalnya yaitu batuan ultrabasa seperti batuan peridotit. Batuan induk peridotit terdiri dari mineral utama olivin dan piroksin, serta beberapa jenis mineral tambahan seperti kromit, magnetit, dan kobal. Proses serpentinasi yang terjadi pada batuan peridotit akibat pengaruh larutan *hydrothermal*, akan merubah batuan peridotit menjadi serpentininit atau batuan serpentininit peridotit. Proses ini dianggap sebagai awal terbentuknya suatu endapan residu bijih nikel. Akibat dari proses pelapukan yang terjadi pada kondisi curah hujan yang cukup tinggi sehingga membentuk air tanah dan perubahan suhu yang cepat,

maka batuan tersebut mengalami dekomposisi dan menghasilkan tanah laterit yang kaya dengan unsur-unsur Fe serta silika yang mengandung unsur-unsur Ni, Co, Mn dan Ca. Proses ini disebut sebagai proses laterisasi dimana proses mekanis memegang peranan penting, bersama sirkulasi air yang berasal dari hujan atau air yang mengandung unsur-unsur Mg, Fe, Ca akan terbawa dan larut. (Sukandarrumidi, 1999).

Proses pembentukan endapan nikel laterit ini diawali dari proses pelapukan batuan ultramafik yaitu seperti peridotit, serpentinit dan dunit dengan kandungan mineral olivin, piroksin, magnesium silikat dan besi sehingga sangat mudah mengalami proses pelapukan karena mineral-mineral tersebut tidak stabil. Sebelum terbentuk profil nikel laterit yang terdiri dari bedrock, saprolit, dan limonit, pada awalnya semua merupakan satu kesatuan bedrock yang tersingkap dipermukaan. Bedrock tersebut merupakan bagian dari kelompok batuan ofiolit yang ada di Sulawesi dan merupakan cikal bakal terbentuknya endapan nikel laterit pada area konsesi dan sekitarnya, berikut merupakan gambar peta sebaran nikel di Indonesia yang dapat dilihat pada (Gambar 2.11).



Gambar 2.11 Peta sebaran nikel di Indonesia (warna hitam pada peta) (Golightly, 1981).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

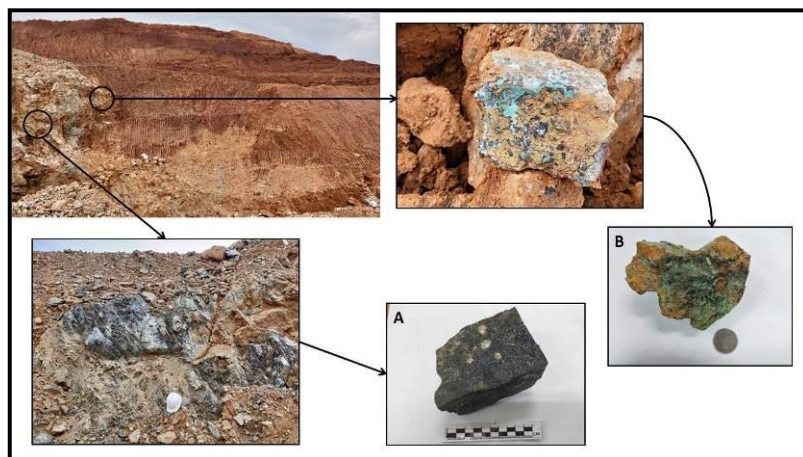
Dalam penelitian ini penulis melakukan beberapa langkah untuk memperoleh data yang relevan untuk diolah yang diambil pada daerah penelitian. Data-data penelitian diperoleh dari dua jenis sumber pengambilan data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer meliputi pengumpulan data lapangan dan data laboratorium, sedangkan data sekunder berasal dari perusahaan. Penjelasan lengkapnya dijelaskan secara rinci pada sub sub-bab di bawah ini.

3.1.1 Pengumpulan data lapangan (data primer)

Pengumpulan data lapangan pada dasarnya didapatkan sampel sebagai output yang akan ditindak lanjuti ke tahap pengumpulan data laboratorium.

3.1.1.1 *Sampling*

Sampling dilakukan untuk memperoleh sampel dari batuan induk dan garnerit di lokasi penelitian. Pengambilan sampel dilapangan di lakukan seperti Gambar 3.1.



Gambar 3.1 A. batuan dasar dan B. garnerit

Sampel batuan dasar kemudian dipreparasi menjadi sayatan tipis (*thin section*) dan untuk garnierit dipreparasi menjadi sampel dengan ukuran 75 mikron.

3.1.2 Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang didapatkan dari hasil pengeboran yang berupa data *Collar*, data *Survey*, data *Assay*, dan data Geologi dan data presentasi kadar didapat melalui hasil analisis laboratorium PT Sinar Jaya Sultra Utama yang dilakukan pada kegiatan eksplorasi tahap lanjut yang nantinya diolah menggunakan aplikasi Arc.GiS 10.3.

3.1.3 Aktivitas laboratorium

Aktivitas yang dilakukan di laboratorium pada dasarnya adalah tahap yang dilakukan untuk memperoleh data dari aktivitas pengumpulan data lapangan. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap Aktivitas di laboratorium.

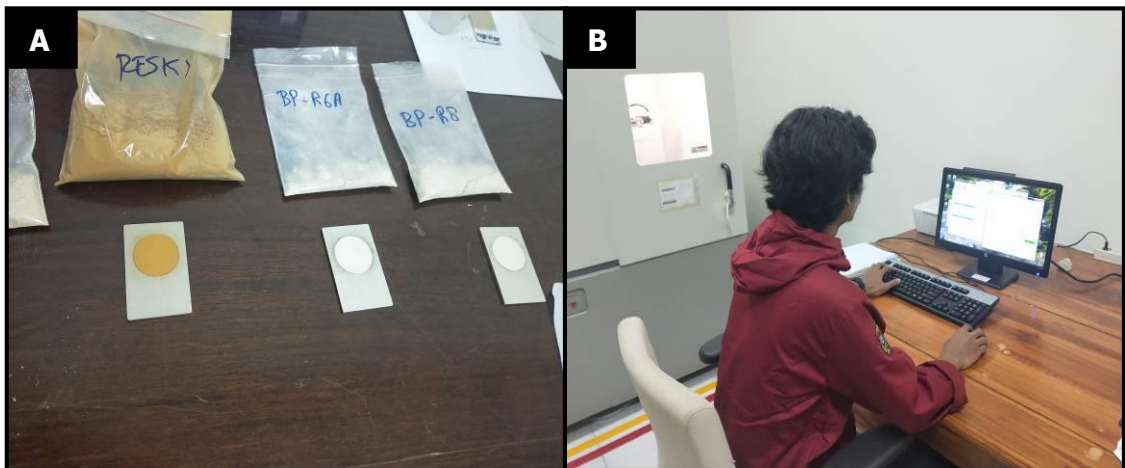
3.1.3.1 Preparasi sampel XRD

Rangkaian kegiatan preparasi sampel dilakukan dengan penghancuran (*crushing*) menggunakan *Crusher* hingga penggerusan (*grinding*) menggunakan *Mortar dengan tujuan* memperkecil ukuran butir sampel tanpa menyebabkan perubahan apapun terhadap massa sampel. Proses Penggerusan Sampe dapat dilihat pada (gambar 3.2)



Gambar 3.2 Proses penggerusan sampel

Proses preparasi dilakukan di Laboratorium Pengolahan Bahan Galian Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin menggunakan alat *Crusher* dan *mortar* yang dapat menggerus sampel *garnierite* mencapai 200 mesh. Sampel digerus secara manual dengan menggunakan mortar dan membutuhkan tisu dan alkohol untuk membersihkan mortar. Dapat dilihat pada (Gambar 3.3 A) merupakan sampel yang siap untuk dianalisis dan (Gambar 3.3 B) merupakan kegiatan analisis XRD.



Gambar 3.3 A. sampel berukuran 200 mesh dan B. Proses analisis XRD

3.1.3.2 Preparasi sampel (sayatan tipis)

Sampel dipreparasi menjadi sayatan tipis dengan menambahkan resin sebagai perekat sampel. Preparasi sampel untuk pengamatan dengan metode mikroskopis

diawali dengan pemotongan pada sampel. Permukaan sampel dihaluskan menggunakan *lapidary* yang dilakukan di Ruang Preparasi Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Hasil preparasi sayatan tipis untuk stasiun 1 dan stasiun 2 dapat dilihat pada (Gambar 3.4)



Gambar 3.4 A. Sayatan Tipis Sampel Stasiun 1 dan B. Sayatan Tipis Sampel Stasiun 2

3.1.3.3 Mikroskop polarisasi

Analisis mikroskopis secara umum diawali dengan membuat serpihan atau sayatan tipis (*thin section*) dengan ketebalan hingga 30 μm kemudian diamati menggunakan *microscope polarized* (Rice, 2015; Cohen, *et al.*, 2018).

Analisis mikroskopis dilakukan dengan mengamati sayatan tipis kemudian diamati menggunakan mikroskop polarisasi tipe Nikon Eclipse LV 100N POL dengan pembesaran 10x. Analisis mikroskopis dilakukan untuk mengetahui kenampakan mineral-mineral yang ada dalam sampel garnierit. Analisis mikroskopis dilakukan di Ruang Preparasi Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dapat dilihat pada (Gambar 3.5) merupakan mikroskop polarisasi yang digunakan untuk menganalisis sampel sayatan tipis



Gambar 3.5 Mikroskopis tipe Nikon Eclipse LV 100N POL

3.1.3.4 *X-Ray diffraction* (XRD)

Metode *X-Ray diffraction* (XRD) adalah metode yang digunakan menganalisis berbagai material padat. Secara umum XRD mengidentifikasi fase kristalin dari objek yang akan diamati. Prinsip utama yang diterapkan metode XRD adalah persamaan Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

Dimana n = integer (urutan bias), λ = panjang gelombang *X-Ray*, d = jarak antar lapisan atom, dan θ = sudut antara λ dan lapisan atom. Cara kerja penggunaan XRD dapat dilakukan dengan meletakkan sampel awal maupun sampel hasil residu pelindian. Sampel diletakkan pada suatu preparat kaca kemudian masukkan preparat kaca ke dalam XRD. Sumber sinar bergerak menyinari sampel dan detektor akan menangkap pantulan sinar dari sampel yang sedang diuji. Alat perekam akan merekam intensitas pantulan sinar untuk tiap sudut tertentu. Hasil analisis dalam bentuk grafik sudut penyinaran dengan intensitas pantulan. Pengujian XRD sampel

awal sebelum pelindian maupun sampel hasil pelindian dilakukan di laboratorium Analisis XRD dan XRF Fakultas Teknik, di gedung Jurusan Geologi, Universitas Hasanuddin. Dapat dilihat pada (Gambar 3.6) merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis sampel granit yang berukuran 200 mesh



Gambar 3.6 *X-Ray Diffractometer* yang digunakan untuk menganalisis mineral

3.2 Pengolahan Data

3.2.1 Pembuatan data akhir untuk analisis

Tahapan pembuatan data akhir lubang bor dengan menggunakan software MS.Excel adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan adalah data sekunder yang diolah menjadi data rata-rata unsur tiap lubang bor sehingga perhitungan nilai rasio S/M dapat dihitung dari hasil bagi nilai unsur SiO_2 dengan MgO.

2. Perhitungan nilai rasio S/M didapatkan hasil tabulasi yang dapat dilihat pada tabel 3.1 yang merupakan beberapa contoh data dari 252 titik bor.

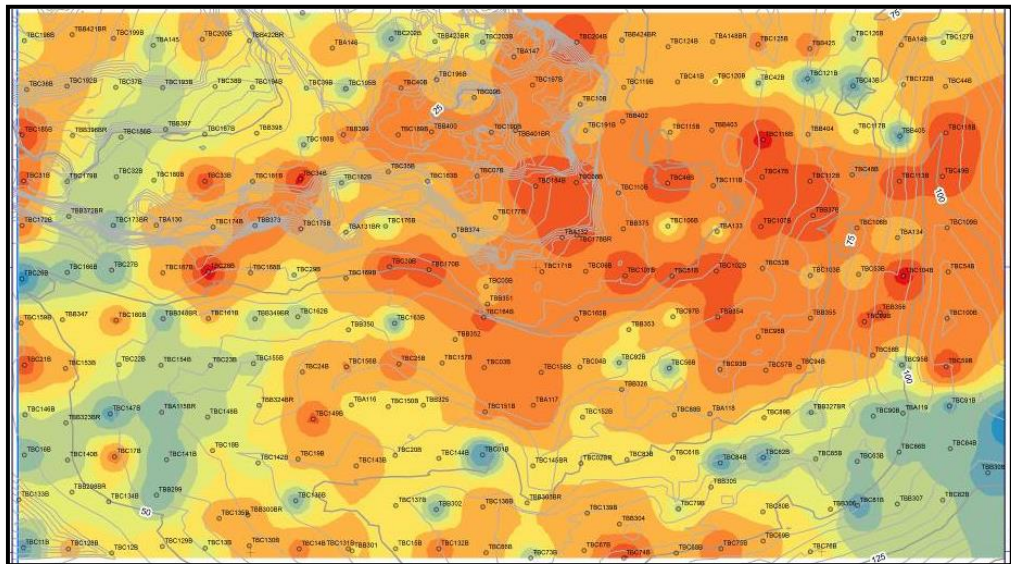
Tabel 3.1 Hasil data tabulasi lubang bor

No	Titik Bor	Ni (%)	Fe (%)	SiO ₂ (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	S/M	Ketebalan (M)
1	TBC198B	1,65	37,11	8,7	3,51	9,31	0,1	2,482	0,49	13
2	TBB421BR	1,96	32,6	15,8	11	9,62	0,44	2,032	0,64	19
3	TBC199B	1,88	30,09	14,8	10,9	7,1	0,11	1,806	0,45	18
4	TBA145	1,54	40,7	5,64	2,32	10,4	0,22	2,389	0,62	7
5	TBC200B	2,03	33,49	13	7,35	8,03	0,39	1,948	0,67	11
6	TBB422BR	1,69	25,5	26,1	15,6	7,37	0,3	1,564	0,53	8
7	TBC201B	1,58	23,86	27,6	17,8	5,88	0,52	1,452	0,44	7
8	TBA146	1,9	21,81	26	11,8	5,83	0,75	1,247	0,45	4
9	TBC202B	1,43	20,32	33,4	18,8	6,11	0,93	1,06	0,45	6
10	TBB423BR	1,62	14,53	38,6	24,2	3,39	0,64	0,85	0,28	3
11	TBC203B	1,5	40,69	7,91	4,4	7,6	0,1	2,21	0,8	1
12	TBA147	2,17	18,06	30	16,6	3,66	0,29	0,798	0,4	4
13	TBC204B	2,46	23,96	24,7	13,5	4,62	0,38	1,322	0,47	14
14	TBB424BR	1,75	36,1	12,7	8,63	9,63	0,13	2,198	0,84	6
15	TBC124B	1,86	22,37	28,5	16,8	7,25	0,54	1,333	0,57	7
16	TBA148BR	1,84	25,8	24,9	17,5	6,14	0,15	1,533	0,67	16
17	TBC125B	1,91	34,08	18,1	7,8	9,21	0,25	1,661	0,74	21
18	TBB425	2,01	17,18	31,4	21,8	3,35	0,39	0,831	0,34	13
19	TBC126B	1,54	44,3	4,92	2,86	10,2	0,07	2,65	1,19	7

3.2.2 Pengolahan data untuk pembuatan distribusi kadar unsur Ni, Fe, SiO₂, MgO, Al₂O₃, CaO, Cr₂O₃, MnO zona bijih dan rasio S/M.

Tahapan-tahapan dalam pembuatan peta sebaran adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan hasil tabulasi data dari MS. Excel dalam bentuk format .csv
2. Mengolah data hasil tabulasi pada aplikasi ArcGIS 10.3.
3. Data hasil tabulasi diinput ke dalam aplikasi ArcGIS 10.3 untuk kemudian dibuatkan distribusi kadar unsur Unsur Ni, Fe, SiO₂, MgO, serta nilai rasio S/M dengan menggunakan metode *inverse distance weighting (IDW)* yang dapat dilihat pada gambar 3.7.



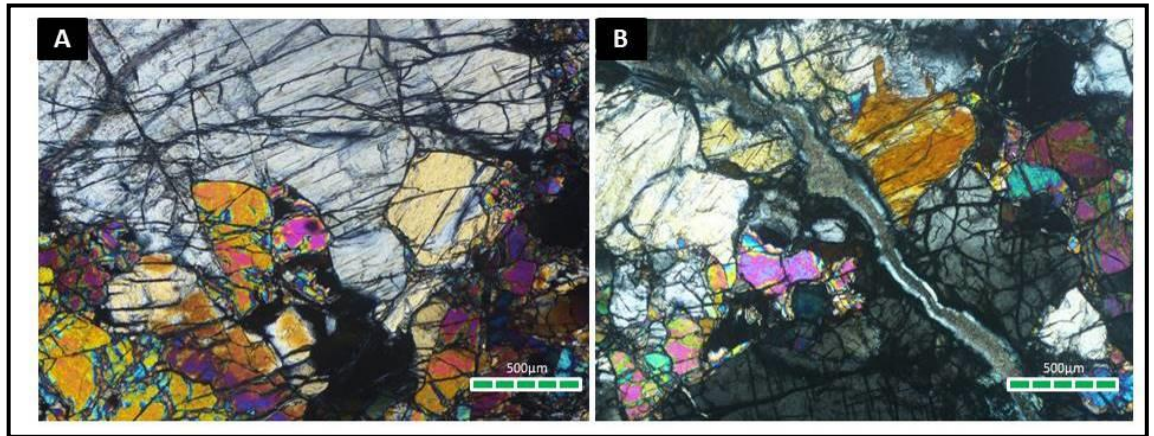
Gambar 3.7 Pembuatan peta sebaran unsur Ni dengan aplikasi ArcGIS 10.3

4. Hasil dari pengolahan data tabulasi menggunakan ArcGIS 10.3 merupakan distribusi kadar unsur Unsur Ni, Fe, SiO₂, MgO, serta nilai rasio S/M.

3.2.3 Pengelompokan mineral pembawa ni

Tahapan-tahapan dalam pengelompokan mineral pembawa Ni adalah sebagai berikut:

1. Data dari analisis mikroskopis sampel batuan induk yang terdiri dari dua stasiun yaitu stasiun 1 dan stasiun 2 yang dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Kenampakan mikroskopis A. stasiun 1 dan B. stasiun 2

2. Data dari analisis XRD sampel garnierit yang terdiri dari dua stasiun yaitu stasiun 1 dan stasiun 2.
3. Data dari hasil pelaporan eksplorasi PT Sinar Jaya Sultra Utama sebagai referensi dalam penentuan mineral yang ada pada batuan dasar.
4. Hasil pengamatan mineral pembawa Nikel lalu dicocokkan dengan pengelompokan mineral menurut Freyssinet *et, al.* (2005) untuk menentukan tipe endapan dan pengolahannya.

3.2.4 Pengamatan batuan dasar

Tahapan-tahapan pengamatan batuan dasar adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh sampel conto batuan dasar daerah penelitian yang dapat dilihat pada gambar 3.10 dan sampel batuan dasar yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.11



Gambar 3.9 Lokasi pengambilan sampel penelitian



Gambar 3.10 Sampel batuan dasar stasiun 1

2. Membuat sayatan tipis dari sampel stasiun 1 dan stasiun 2 yang dapat dilihat pada gambar 3.11



Gambar 3.11 Sampel sayatan tipis

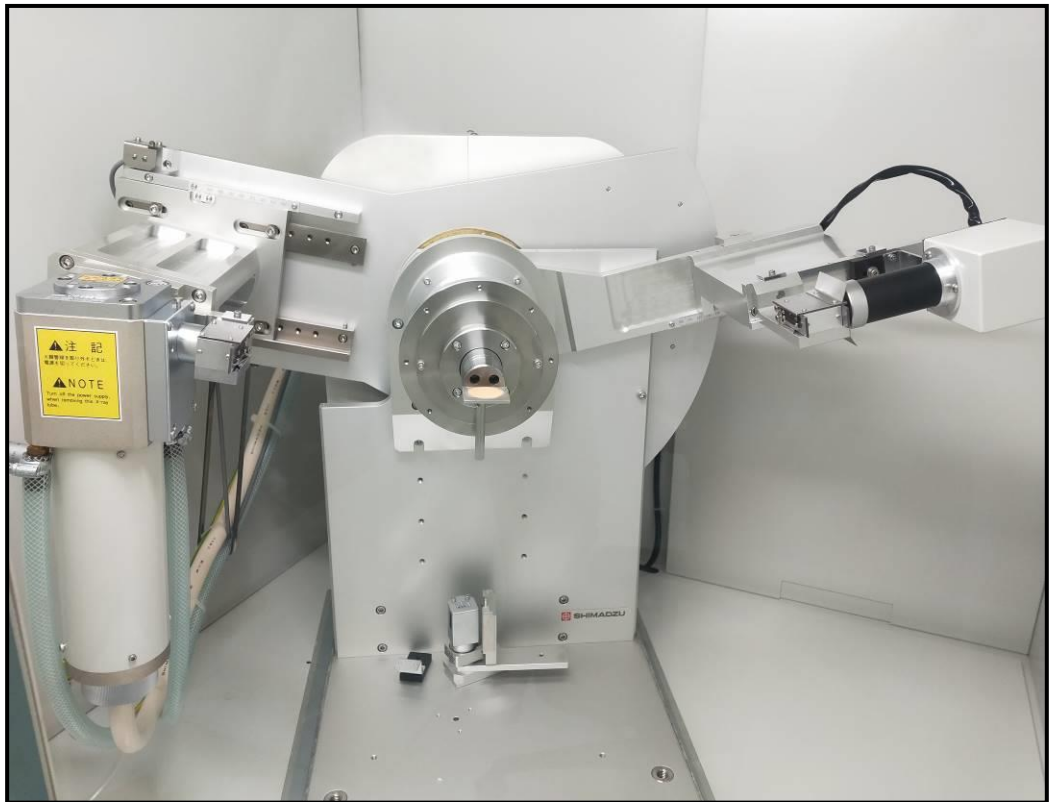
3. Sampel yang telah dipreparasi menjadi sayatan tipis selanjutnya diamati melalui mikroskop polarisasi.
4. Hasil pengamatan sayatan tipis pada mikroskop polarisasi dapat diperoleh informasi kandungan mineral olivin dan tingkat serpentinisasi untuk menentukan tipe bijih, jenis endapan dan pengolahannya.

3.2.6 Analisis *X-Ray diffraction* (XRD)

Tahapan-tahapan pada proses analisis *X-Ray diffraction* (XRD) yaitu sebagai berikut:

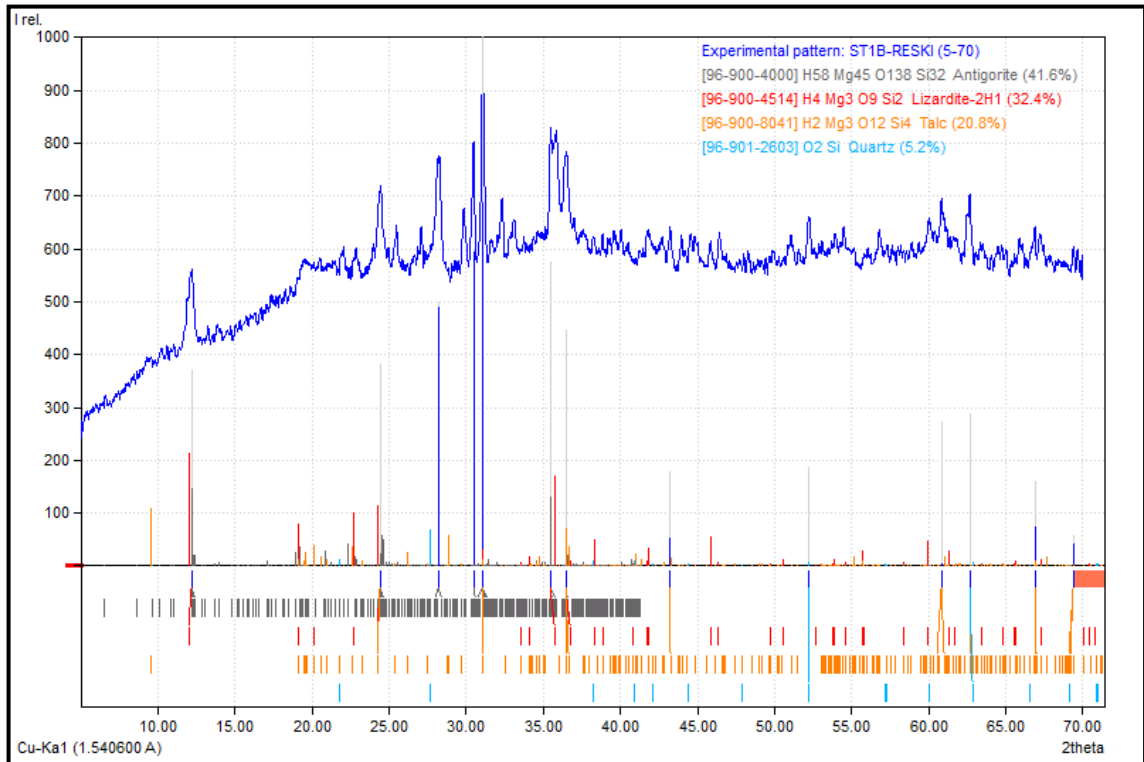
1. Sampel garnerit yang telah dipreparasi dengan ukuran 200 *Mesh* dipersiapkan untuk proses analisis.

2. Analisis dilakukan pada sampel garnerit stasiun 1 dan stasiun 2 yang dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Alat XRD yang digunakan untuk menganalisis mineral penyusun bijih Ni laterit.

3. Hasil analisis *X-Ray diffraction* (XRD) diolah dengan metode *semi quantitative mineralogical analysis* dengan menggunakan *software Impact Match! Ver. 3.0*. Pengolahan data menggunakan standar *figure of merit* (FoM) 0,5. *Software Impact Match! Ver. 3.0* akan menghasilkan jumlah (*amount*) mineral dalam satuan persentase relatif yang dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Pengolahan data hasil analisis XRD menggunakan Match! ver.3.0

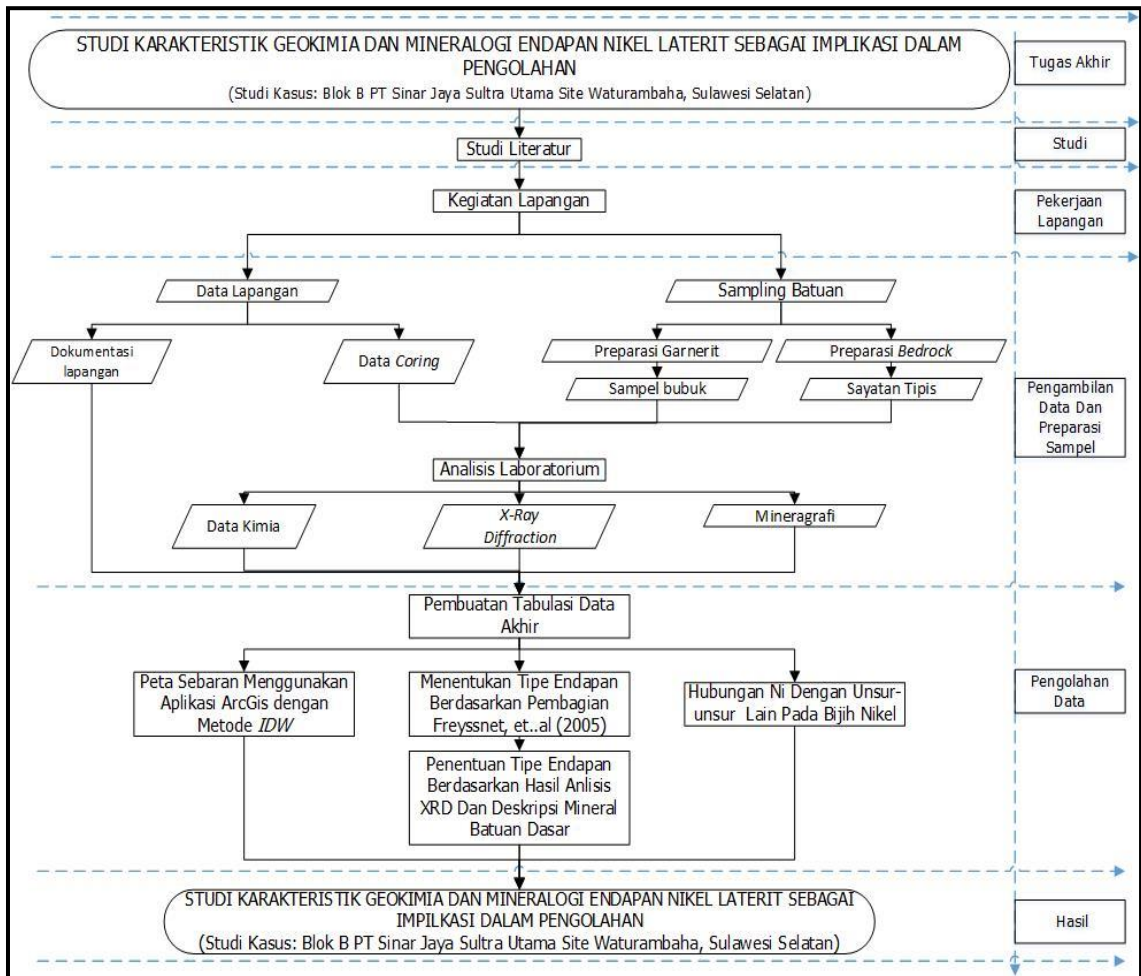
- Pengolahan data dari *software Impact Match!* Ver. 3.0. digunakan sebagai acuan dalam menentukan karakteristik nikel, jenis endapan dan pengolahannya.

3.3. Bagan Alir Penelitian

Alur penelitian karakteristik mineralogi dan geokimia endapan bijih nikel laterit sebagai implikasi dalam pengolahan yang terdiri dari beberapa langkah. Langkah yang dilakukan dalam proses penyusunan penelitian ini dimulai dari studi literatur yang sumbernya secara umum diperoleh dari buku dan jurnal internasional maupun jurnal nasional yang terdapat di website-website penyedia buku dan jurnal terkait. setelah melakukan studi literatur maka akan diperoleh bagaimana langkah pengambilan data yang dibutuhkan dan metode pengolahan data yang akan dilakukan.

Pada penelitian ini terdapat dua data yang digunakan yaitu data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan yaitu data sampel batuan dasar yang

diperoleh dari lokasi penelitian, sedangkan data sekunder yang digunakan yaitu data titik bor yang terdiri dari data *assay*, koordinat, *survey* dan *geology*. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.14



Gambar 3.14 Bagan alir Peneletian

BAB IV

MINERALOGI DAN GEOKIMIA BIJIH NIKEL LATERIT

4.1. Distribusi Kadar Bijih

4.1.1 Unsur Ni

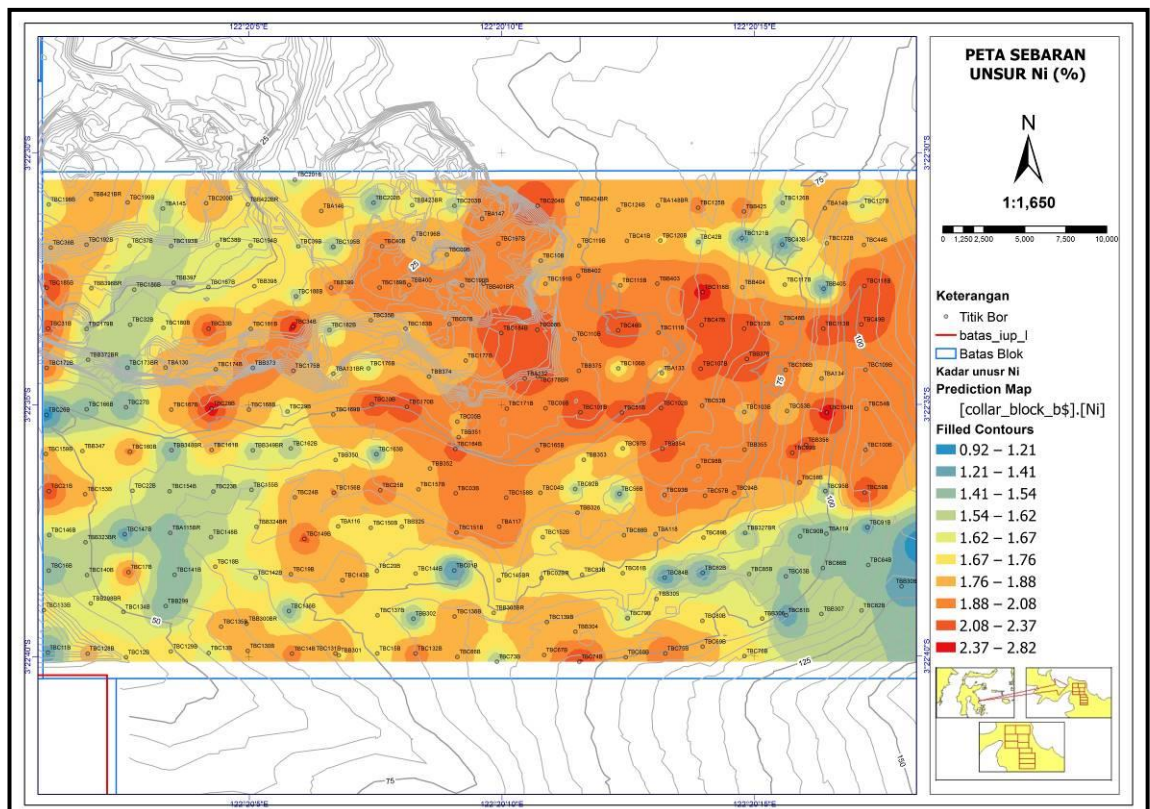
Berdasarkan data titik bor dapat digunakan untuk membuat distribusi unsur Ni pada daerah penelitian. Tabulasi data yang berjumlah 252 lubang bor masing-masing lubang bor dirata-ratakan kemudian ditampilkan dalam tabel sebanyak 28 titik bor dan sisanya dapat dilihat pada lampiran lampiran B. Beberapa tabulasi lubang bor dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Kadar unsur Ni tiap lubang bor.

No	Titik Bor	Ni (%)	No	Titik Bor	Ni (%)
1	TBC198B	1,65	15	TBC124B	1,86
2	TBB421BR	1,96	16	TBA148BR	1,84
3	TBC199B	1,88	17	TBC125B	1,91
4	TBA145	1,54	18	TBB425	2,01
5	TBC200B	2,03	19	TBC126B	1,54
6	TBB422BR	1,68	20	TBA149	1,98
7	TBC201B	1,58	21	TBC127B	1,61
8	TBA146	1,90	22	TBC36B	1,76
9	TBC202B	1,43	23	TBC192B	1,91
10	TBB423BR	1,62	24	TBC37B	1,63

11	TBC203B	1,50	25	TBC193B	1,47
12	TBA147	2,17	26	TBC38B	1,59
13	TBC204B	2.46	27	TBC194B	1,54
14	TBB424BR	1,75	28	TBC39B	1,65

Tabulasi data yang dihasilkan memiliki kadar Ni yang bervariasi pada daerah penelitian yang berkisar dari kadar Ni rendah (0,92%-1,4%) sampai kadar Ni tinggi (1,91%-2,82%) yang terdistribusi dominan pada daerah tengah daerah penelitian, menuju ke arah timur hingga timur laut dan sedikit di daerah barat pada daerah penelitian. Kadar Ni sedang (1,4%-1,91%) tersebar hampir di semua daerah penelitian yang dominan pada daerah selatan, utara dan barat laut pada daerah penelitian. Kadar Ni rendah (0,92%-1,4%) terdistribusi didaerah tenggara, barat daya dan sedikit didaerah barat laut daerah penelitian yang dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Sebaran unsur Ni

Unsur Ni terdapat pada batuan ultramafik sebagai pengganti ion Mg dan Fe dalam olivin dan piroksin (dan juga dalam serpentin). Konsentrasi nikel tertinggi di mineral olivin, diikuti oleh orthopiroksin dan klinopiroksin. Kadar Ni berpengaruh terhadap proses pengolahan dipabrik. Jika unsur Ni yang terdapat pada mineral olivin terlalu tinggi menyebabkan naiknya penggunaan energi untuk melebur mineral olivin dimana titik lebur mineral olivin 1800°C (Ahmad,2005).

4.1.2 Unsur Fe

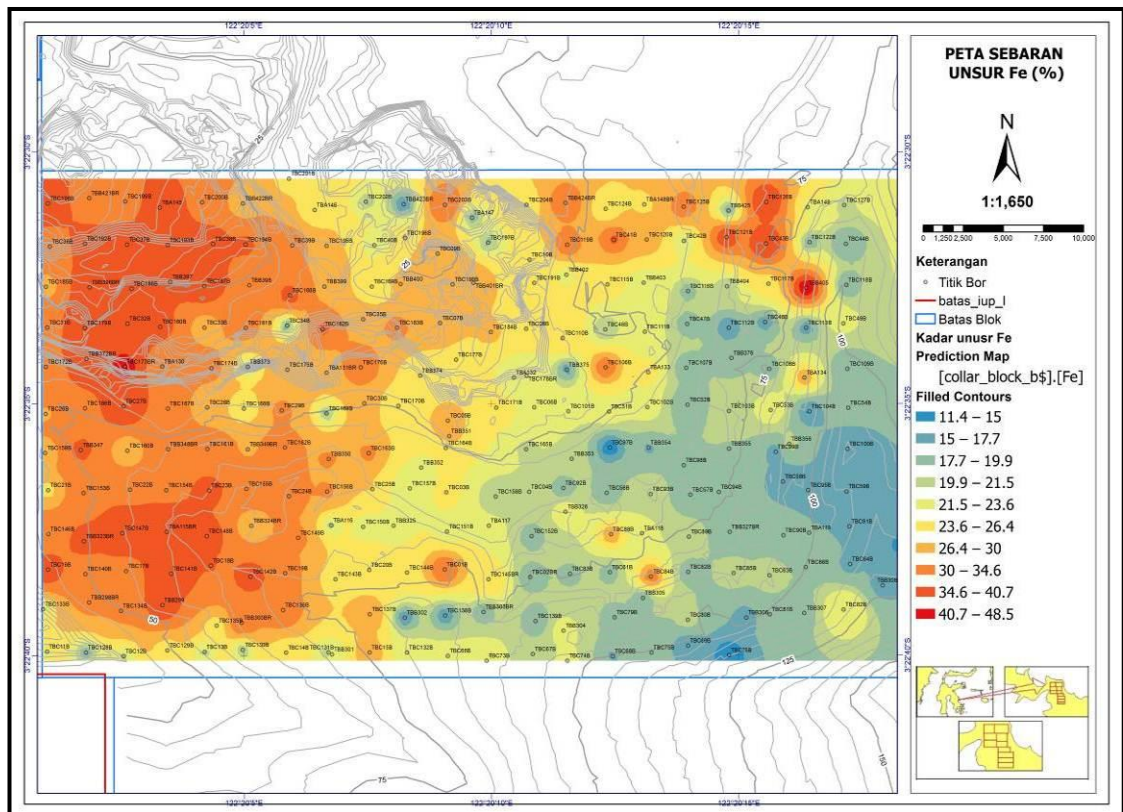
Berdasarkan data titik bor dapat digunakan untuk membuat distribusi unsur Fe pada daerah penelitian. Tabulasi data yang berjumlah 252 lubang bor masing-masing lubang bor dirata-ratakan kemudian ditampilkan dalam tabel sebanyak 28 titik bor dan sisanya dapat dilihat pada lampiran lampiran B. Beberapa tabulasi lubang bor dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Kadar unsur Fe tiap lubang bor.

No	Titik Bor	Fe (%)	No	Titik Bor	Fe (%)
1	TBC198B	37,11	15	TBC124B	22,37
2	TBB421BR	32,6	16	TBA148BR	25,8
3	TBC199B	30,09	17	TBC125B	34,08
4	TBA145	40,7	18	TBB425	17,18
5	TBC200B	33,5	19	TBC126B	44,3
6	TBB422BR	25,5	20	TBA149	22,93
7	TBC201B	23,86	21	TBC127B	20,96
8	TBA146	21,81	22	TBC36B	32,97
9	TBC202B	20,32	23	TBC192B	35,35
10	TBB423BR	14,53	24	TBC37B	36,99

11	TBC203B	40,69	25	TBC193B	38,89
12	TBA147	18,05	26	TBC38B	38,53
13	TBC204B	11,1	27	TBC194B	36,1
14	TBB424BR	36,1	28	TBC39B	34,2

Tabulasi data yang dihasilkan memiliki kadar Fe yang bervariasi pada daerah penelitian yang berkisar dari kadar Fe rendah (11,45%-21,5%) sampai Ni kadar tinggi (30%-48,5%) yang terdistribusi dominan pada daerah barat daya, hingga di daerah barat laut dan sedikit di daerah timur laut daerah penelitian. Kadar Fe sedang (21,5%-30%) tersebar dari tengah, menuju utara sampai kearah timur laut pada daerah penelitian. Kadar Fe rendah (10,01%-20,74%) terdistribusi didaerah tenggara hingga timur laut pada daerah penelitian yang dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Sebaran unsur Fe

Unsur Fe berpengaruh terhadap proses pelapukan yang terjadi pada batuan ultramafik. Dimana unsur Fe yang tinggi menandakan tingkat pelapukan yang tinggi dan jika unsur Fe yang rendah menandakan tingkat pelapukan yang rendah (Ahmad,2006).

4.1.3 Unsur SiO₂

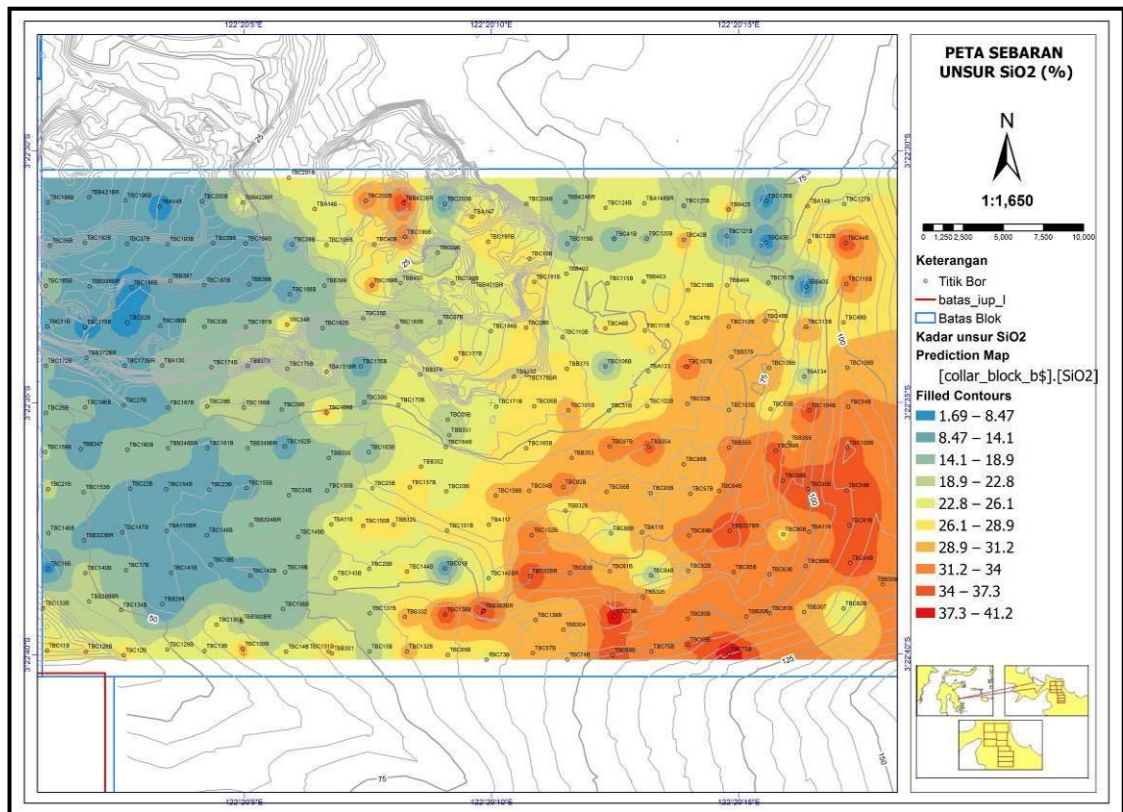
Berdasarkan data titik bor dapat digunakan untuk membuat distribusi unsur SiO₂ pada daerah penelitian. Tabulasi data yang berjumlah 252 lubang bor masing-masing lubang bor dirata-ratakan kemudian ditampilkan dalam tabel sebanyak 28 titik bor dan sisanya dapat dilihat pada lampiran lampiran B. Beberapa tabulasi lubang bor dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Kadar unsur SiO₂ tiap lubang bor.

No	Titik Bor	SiO ₂ (%)	No	Titik Bor	SiO ₂ (%)
1	TBC198B	8,70	15	TBC124B	28,5
2	TBB421BR	15,82	16	TBA148BR	24,9
3	TBC199B	14,84	17	TBC125B	18,1
4	TBA145	5,64	18	TBB425	31,4
5	TBC200B	12,98	19	TBC126B	4,92
6	TBB422BR	26,10	20	TBA149	27,3
7	TBC201B	27,59	21	TBC127B	25,5
8	TBA146	26,03	22	TBC36B	12
9	TBC202B	33,44	23	TBC192B	9,07
10	TBB423BR	38,64	24	TBC37B	7,11
11	TBC203B	7,91	25	TBC193B	6,53
12	TBA147	29,98	26	TBC38B	6,66

13	TBC204B	24,73	27	TBC194B	9,41
14	TBB424BR	12,74	28	TBC39B	12

Tabulasi data yang dihasilkan memiliki kadar SiO_2 yang bervariasi pada daerah penelitian yang berkisar dari kadar SiO_2 rendah (1,69%-22,8%) sampai SiO_2 kadar tinggi (31,2%-41,2%) yang terdistribusi dominan pada daerah selatan, sampai timur laut dan sedikit di daerah utara pada daerah penelitian. Kadar SiO_2 sedang (22,8%-31,2%) tersebar dari tengah, barat laut, hingga timur laut pada daerah penelitian. Kadar SiO_2 rendah (2,75%-14,38%) terdistribusi didaerah barat daya hingga barat laut pada daerah penelitian yang dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.1.3 sebaran unsur SiO_2

Unsur SiO_2 akan berpengaruh terhadap rasio S/M untuk spesifikasi umpan ke pabrik pengolahan (Ahmad,2006).

4.1.4 Unsur MgO

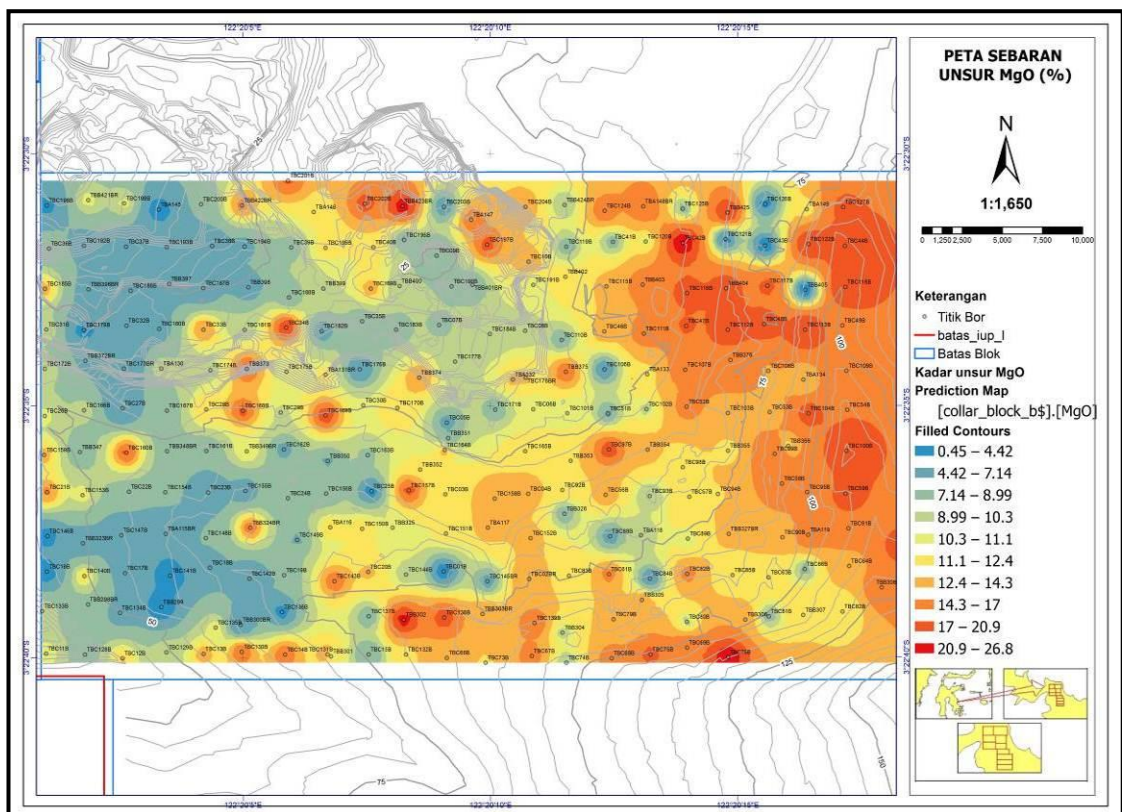
Berdasarkan data titik bor dapat digunakan untuk membuat distribusi unsur MgO pada daerah penelitian. Tabulasi data yang berjumlah 252 lubang bor masing-masing lubang bor dirata-ratakan kemudian ditampilkan dalam tabel sebanyak 28 titik bor dan sisanya dapat dilihat pada lampiran lampiran B. Beberapa tabulasi lubang bor dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Kadar unsur MgO tiap lubang bor.

No	Titik Bor	MgO (%)	No	Titik Bor	MgO (%)
1	TBC198B	3,51	15	TBC124B	16,8
2	TBB421BR	11	16	TBA148BR	17,5
3	TBC199B	10,9	17	TBC125B	7,8
4	TBA145	2,32	18	TBB425	21,8
5	TBC200B	7,35	19	TBC126B	2,86
6	TBB422BR	15,6	20	TBA149	11,4
7	TBC201B	17,8	21	TBC127B	17,9
8	TBA146	11,8	22	TBC36B	8,39
9	TBC202B	18,8	23	TBC192B	6,07
10	TBB423BR	24,2	24	TBC37B	5,23
11	TBC203B	4,4	25	TBC193B	4,24
12	TBA147	16,6	26	TBC38B	3,84
13	TBC204B	13,5	27	TBC194B	5,9
14	TBB424BR	8,63	28	TBC39B	7,86

Tabulasi data yang dihasilkan memiliki kadar MgO yang bervariasi pada daerah penelitian yang berkisar dari kadar MgO rendah (0,45%-10,3%) sampai MgO kadar

tinggi (14,3%-26,8%) yang terdistribusi dominan pada daerah selatan, sedikit ditengah dan kearah timur laut daerah penelitian. Kadar MgO sedang (10,3%-14,3%) tersebar ditengah dan tenggara pada daerah penelitian. Kadar MgO rendah (0,45%-14,21%) terdistribusi didaerah barat laut hingga barat daya pada daerah penelitian yang dapat dilihat pada gambar 4.4. Unsur MgO akan berpengaruh terhadap rasio S/M untuk spesifikasi umpan ke pabrik pengolahan.



Gambar 4.4 Sebaran unsur MgO

4.1.5 Rasio S/M

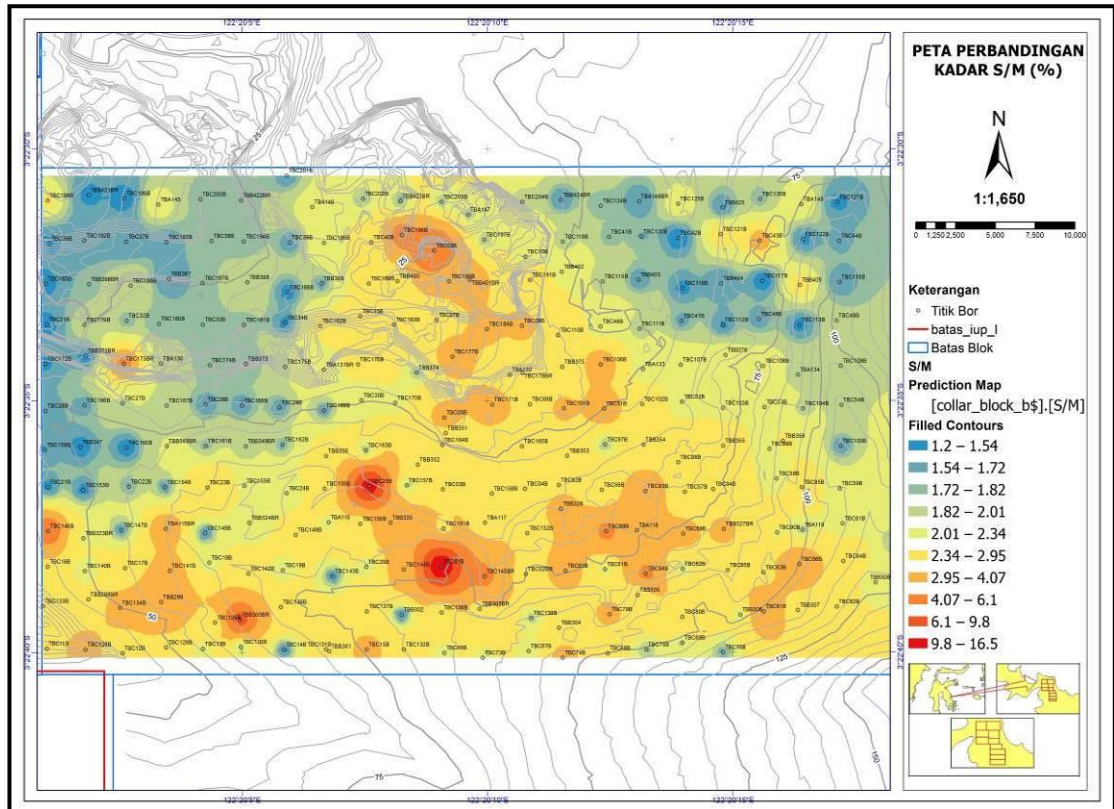
Berdasarkan data titik bor dapat digunakan untuk membuat distribusi S/M. Tabulasi data yang berjumlah 252 lubang bor masing-masing lubang bor dirata-ratakan kemudian ditampilkan dalam tabel sebanyak 28 titik bor dan sisanya dapat dilihat pada lampiran lampiran B. Beberapa tabulasi lubang bor dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Distribusi S/M tiap lubang bor.

No	Titik Bor	Rasio S/M (%)	No	Titik Bor	Rasio S/M (%)
1	TBC198B	2,48	15	TBC124B	1,69
2	TBB421BR	1,44	16	TBA148BR	1,43
3	TBC199B	1,36	17	TBC125B	2,32
4	TBA145	2,44	18	TBB425	1,44
5	TBC200B	1,77	19	TBC126B	1,72
6	TBB422BR	1,67	20	TBA149	2,39
7	TBC201B	1,55	21	TBC127B	1,42
8	TBA146	2,21	22	TBC36B	1,44
9	TBC202B	1,78	23	TBC192B	1,49
10	TBB423BR	1,59	24	TBC37B	1,36
11	TBC203B	1,8	25	TBC193B	1,54
12	TBA147	1,8	26	TBC38B	1,73
13	TBC204B	1,83	27	TBC194B	1,59
14	TBB424BR	1,48	28	TBC39B	1,52

Penyebaran rasio S/M yang bervariasi di daerah penelitian berkisar mulai dari rasio S/M rendah (1,2-2,01) sampai kadar rasio S/M tinggi (4,07-16,5).

Rasio S/M tinggi tersebar dari tengah dan sedikit ke barat daya, rasio S/M sedang (2,01-4,07) tersebar dari tengah lokasi penelitian sampai ke arah barat daya hingga tenggara, dan rasio S/M rendah tersebar di arah timur laut dan barat laut pada daerah penelitian yang dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Distribusi S/M

Pada rasio S/M <1,8 akan menyebabkan naiknya temperatur peleburan yang akan membutuhkan banyak energi panas. Pada rasio S/M >2,1 akan menyebabkan produk nikel akan membeku yang menyebabkan produk dan slag akan mencair, hal ini menyebabkan nikel tidak akan keluar dari tungku. Pada rasio S/M >2,1 juga lebih asam dan cenderung menyerang lapisan tungku yang akan mempercepat menipisnya tungku.

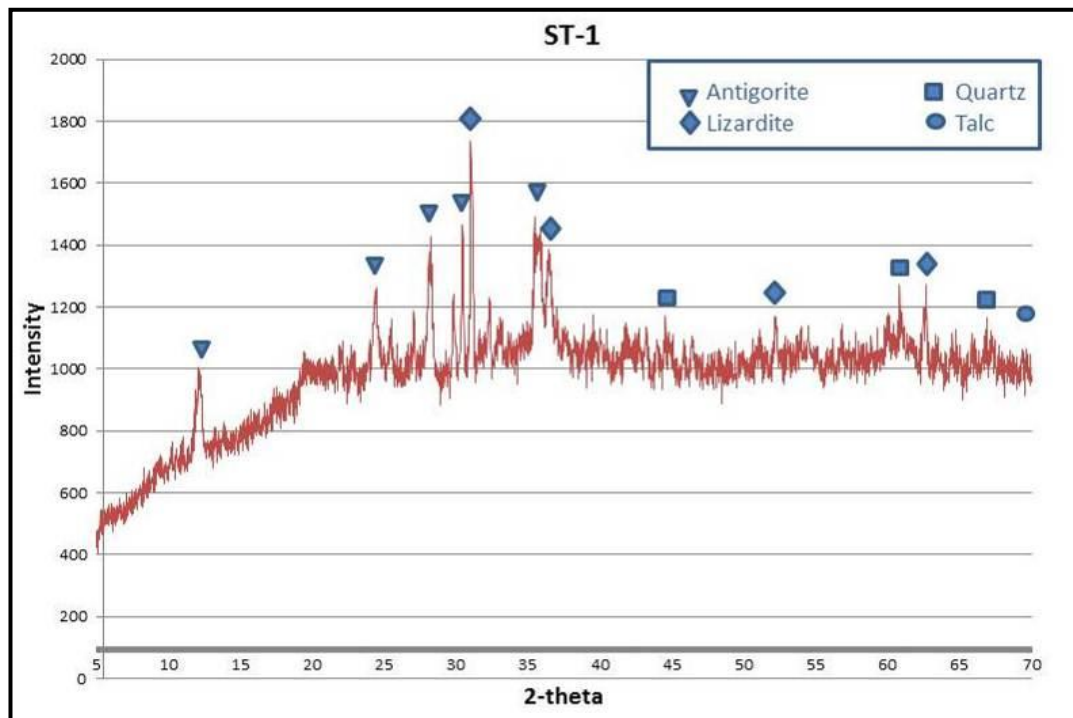
Pabrik pengolahan yang menggunakan peleburan yang efisien memiliki beberapa spesifikasi dalam mengolah umpan bijih nikel yaitu rasio S/M antara 1,95-2,15, kandungan besi antara 20%-23% dan kandungan olivin <22% (Ahmad,2005). Berdasarkan hasil penelitian di atas maka daerah penelitian dapat digunakan sebagai umpan ke pabrik pengolahan melalui proses *blending*.

4.2. Tipe Endapan

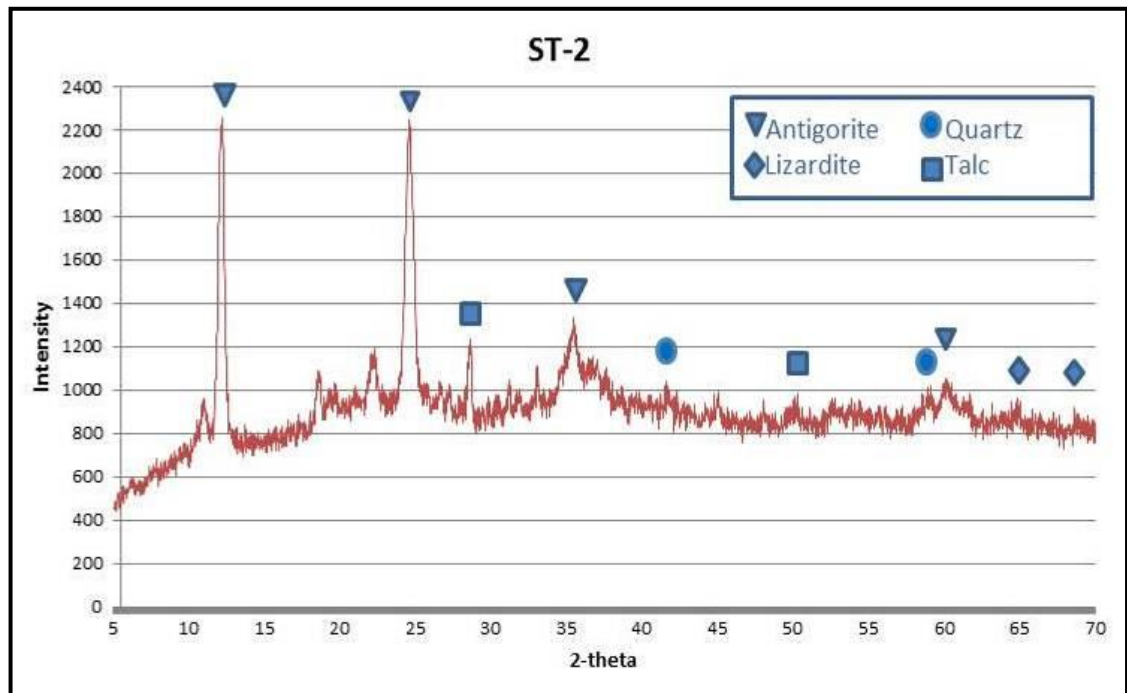
Penentuan tipe endapan nikel laterit daerah penelitian didasarkan atas metode yang dilakukan Freyssinet *et. al.*, (2005) dengan menggunakan analisis *X-Ray diffraction* (XRD) berupa sampel garnierit yang berada di lokasi penelitian dan referensi tipe endapan daerah penelitian berdasarkan referensi PT Sinar Jaya Sultra Utama.

4.2.1 Analisis *x-ray diffraction*

Berdasarkan analisis mineralogi dengan metode XRD terhadap sampel *garnierite* dari lokasi penelitian ditemukan mineral serpentin (lizardit), antigorit, talk dan kuarsa. Mineral Antigorit ditemukan dengan persentase 41,6% pada sampel *garnierite 1* dan 79,4% pada sampel *garnierite 2*. Pada analisis mineralogi dengan metode mikroskopis kenampakan serpentin terlihat jelas, hal ini dapat disebabkan ukuran butir yang berukuran cukup besar. Hasil analisis sampel 1 dan 2 dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.



Gambar 4.6 hasil analisis *X-Ray Diffraction* garnierit stasiun 1



Gambar 4.7 hasil analisis *X-Ray Diffraction* garnierit stasiun 2

Lizardit dari kelompok mineral serpentin ditemukan pada sampel *garnierite* 1 dan 2 dengan puncak difraksi (d) 2.8770 Å pada sampel 1 dan 1.3652 Å pada sampel 2. Persentase kehadiran serpentin (lizardit) pada sampel 1 dan 2 berturut-turut adalah 32,4% dan 14,2%.

Talc pada *garnierite* merupakan mineral pembawa unsur MgO dan SiO₂ hal ini dapat dilihat pada puncak difraksi (d) 3.1554 Å pada sampel 1 dan 2.0112 Å pada sampel 2. Pada analisis mineralogi dengan metode mikroskopis kenampakan talk sangat minim, hal ini dapat disebabkan ukuran butir yang sangat kecil.

Kuarsa merupakan mineral yang paling stabil di kedua sampel. Pada sampel 1 mencapai 5,2% dengan puncak difraksi (d) 1.3533 Å. Pada sampel 2 kuarsa hadir mencapai 5,4% dengan puncak difraksi (d) 3.1165 Å.

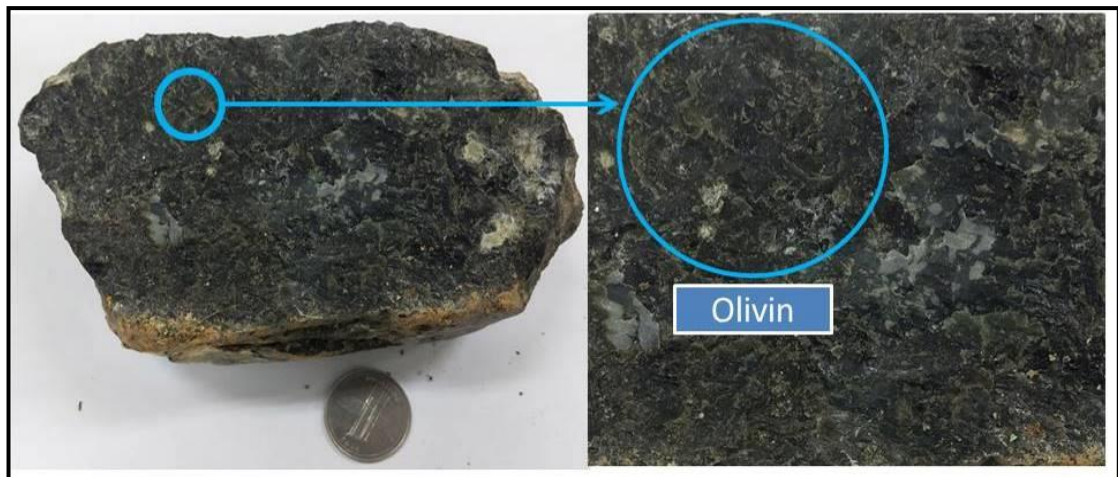
4.2.2 Deskripsi mineral

Deskripsi mineral merupakan hal yang dilakukan pada proses penentuan mineral

yang meliputi deskripsi makroskopis dan deskripsi mikroskopis.

4.2.2.1 Deskripsi makroskopis

Pada pengamatan sampel batuan dasar terlihat mineral berwarna hijau dan memiliki kilap kaca.

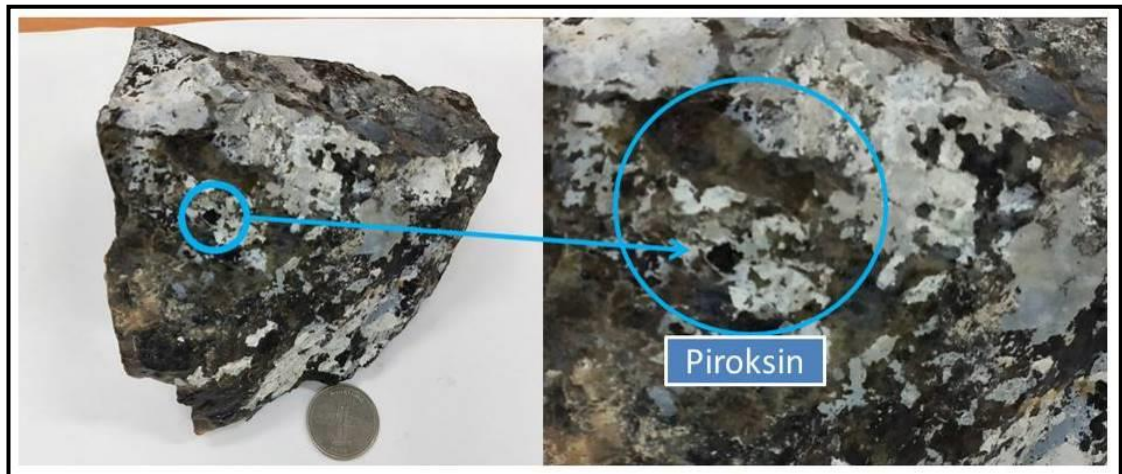


Gambar 4.8 Kenampakan mineral olivin pada batuan dasar

Cerat pada mineral ini memiliki warna putih setelah dilakukan uji gores dengan menggunakan kikir baja (kekerasan 6,5-7) skala mohs, sebelum melakukan uji gores menggunakan kikir baja terlebih dahulu digunakan uji gores menggunakan kaca (kekerasan 5,5-6) skala mohs, dari hal tersebut diperkirakan tingkat kekerasan mineral tersebut berkisar 5-7 skala mohs dengan cerat berwarna putih. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa mineral tersebut adalah mineral olivin yang dapat dilihat pada gambar 4.8.

Terdapat pula mineral lain berwarna gelap dengan kilap kaca. Mineral tersebut memiliki cerat berwarna putih setelah di gores dengan pisau baja (kekerasan 6-6,5) dalam skala mohs, sebelum digores dengan pisau baja terlebih dahulu digores dengan kaca (kekerasan 5,5-6), dari hal tersebut bisa diperkirakan tingkat kekerasan mineral 5-6 skala mohs dengan cerat berwarna putih. Berdasarkan deskripsi mineral

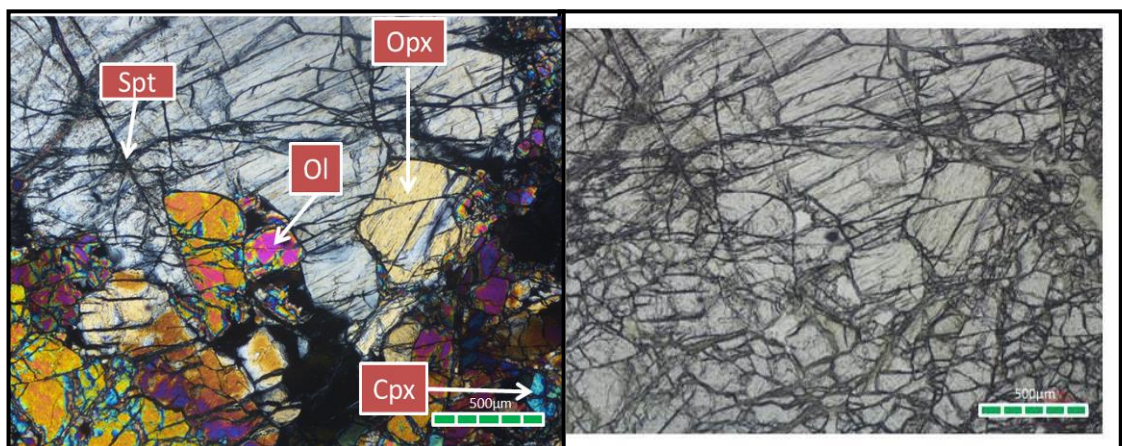
diatas dapat disimpulkan bahwa mineral ini adalah piroksin dapat dilihat pada gambar 4.9.



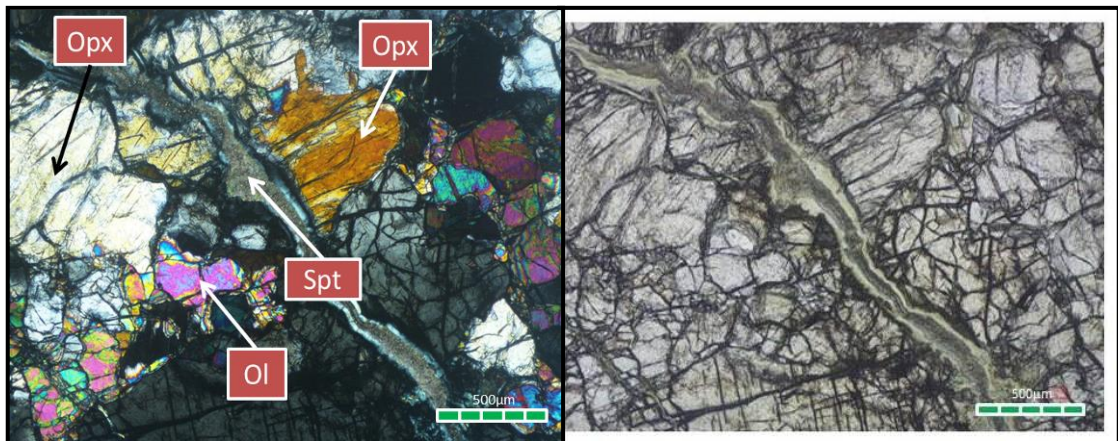
Gambar 4.9 Kenampakan mineral Piroksin pada batuan dasar.

4.2.2.2 Pengamatan Mikroskopis

Pengamatan mikroskopis sayatan tipis dapat diketahui kandungan mineral olivin, tingkat serpentinisasi dan batuan dasar endapan nikel laterit daerah penelitian Blok B PT Sinar Jaya Sultra Utama. Pada Pengamatan dibawah mikroskop polarisasi ditemukan mineral olivin, piroksin (*orthopiroxene* dan *clinopiroxene*), serpentin yang dapat dilihat pada gambar 4.10 dan 4.11 yang masing-masing gambar tersebut adalah nikol silang (kiri) dan nikol sejajar (kanan).



Gambar 4.10 Kenampakan batuan dasar stasiun 1 secara mikroskopis



Gambar 4.11 Kenampakan batuan dasar stasiun 2 secara mikroskopis

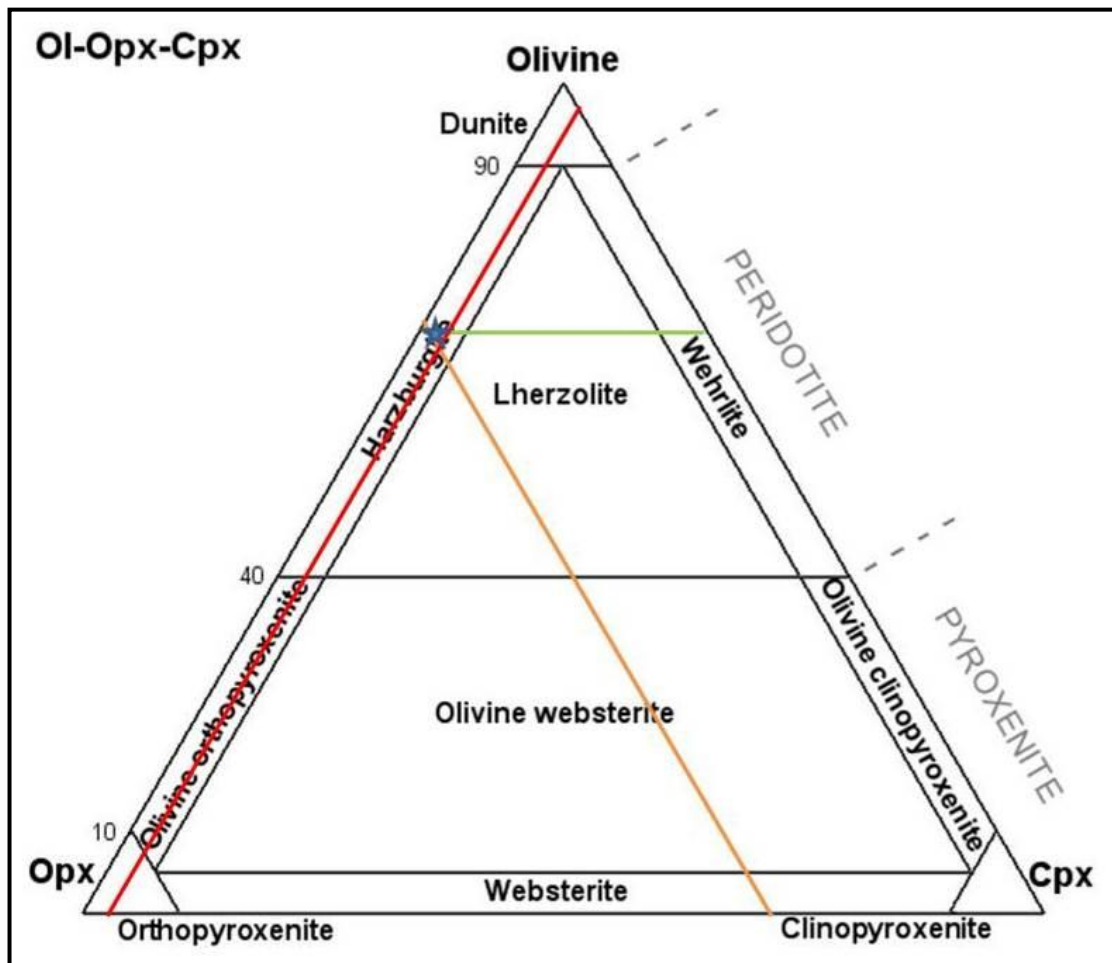
Berdasarkan pengamatan kandungan olivin pada sampel batuan dasar rata-rata sebesar 64% dengan deskripsi warna kuning, biru, ungu dan kemerahan. Kehadiran olivin baik dalam stasiun 1 maupun stasiun 2 ditandai dalam bentuk kristal.

(Spt) hadir dengan tekstur serat (*fibrous*) dengan warna kuning gelap-terang. Kehadiran serpentin sangat melimpah di sampel 2 dengan ukuran butir mencapai 300 µm sedangkan, pada sampel 1 kehadiran serpentin minim. Serpentin hadir dalam bentuk *vein*.

Mineral yang dijumpai setelah olivin dan serpentin yaitu piroksin (ortopiroksin dan klinopiroksin) kandungan mineral tersebut sebesar 21% dan 5% distasiun 2 dengan ciri-ciri berbentuk kristal dan memiliki warna kuning muda hingga kuning terang.

Tingkat serpentinisasi dapat dilihat dari jumlah persen kehadiran mineral serpentin pada batuan dasar. Berdasarkan pengamatan kandungan mineral serpentin pada sampel dasar rata-rata berkisar 10%.

Dengan menggunakan klasifikasi IUGS, didapatkan bahwa sampel batuan dasar daerah blok B PT Sinar Jaya Sultra Utama adalah Harzburgit yang dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Plot sampel batuan dasar blok b PT Sinar Jaya Sultra Utama pada klasifikasi IUGS.

4.2.3 Tipe Endapan berdasarkan referensi PT Sinar Jaya Sultra Utama

Kandungan Ni yang berasal dari analisis sampel titik bor maupun sampel hasil produksi untuk lapisan *ore* berada pada *range rata-rata* 1.7-2.8%, sampel tersebut berupa data *coring* titik bor yang berada pada lokasi blok B dengan spasi titik bor 25 meter. Terdapat *silica box work* pada batuan dasar atau *bedrock* yang ditemukan pada proses eksplorasi berlangsung.

Kedalaman sumur bor yang ada pada lokasi IUP PT Sinar Jaya Sultra Utama yaitu 13-16 meter yang berada pada 4 titik yang berbeda yang memberikan indikasi terbentuknya Ni kadar tinggi di zona saprolit bagian bawah yang berdekatan dengan

bedrock di keadalam yang sama yaitu sekitar 13-16 meter, yang dapat dikatakan bahwa zona muka air tanah relatif dalam. hal tersebut mengakibatkan bahwa unsur Ni yang terbentuk berada pada kedalaman yang sama dengan posisi muka air tanah yang pada kedalam tersebut terjadi infiltrasi sehingga menyebabkan pengkayaan Ni di kedalaman 13-16 meter yang menjadi bagian dari zona saprolit. Dapat dilihat parameter perbedaan endapan nikel laterit pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Parameter perbedaan endapan nikel laterit (Freysnet *et al*, 2005).

Parameter	<i>Hydrous Silicate</i> Deposit	<i>Clay Silicate</i> Deposit	Oxide Deposit
Kadar Ni	Kandungan Ni 1-2,5 %	Kandungan Ni 1.,0- 1,5%	Kandungan Ni 1,0- 1,6%
Mineral	Terdapat Silika <i>box- work</i>	Si bersama dengan Fe, Ni, dan Al membentuk mineral lempung	Mineral utamanya <i>Geothite</i>
Posisi Muka air tanah	Posis muka air tanah relatif dalam	Posisi muka air tanah awal relatif lebih rendah dan drainase terhambat.	Posisi muka air tanah relatif dangkla Drainasinya tidak terhambat
Akumulasi Ni	Nikel lebih banyak terakumulasi pada zona saprolit bagian bawah	Lapisan limonit lebih sering terendam ai sehingga terbentuk lapisan lempung	Ni lebih banyak terakumulasi pada zona limonit sampai saprolit bagian atas.

Pada daerah penelitian ditemukan dominasi pembawa mineral nikel yaitu serpentin, olivin, dan piroksin. Hasil analisis XRD sampel penelitian yang dilakukan di laboratorium ditemukan talk, lizardit, antigorit, dan kuarsa pada umumnya

diendapkan pada rekahan dan bukaan dibatuan peridotit. Dapat dilihat plot penentuan tipe endapan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Kelompok mineral tipe *Hydrous mg silicate deposit* Freyssinet *et. al.*, (2005)

Mineral	Ideal Formula	Group	Ni (%)
Lizardite	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	Serpentine	0.15
Nickeloan Lizardite	$(Mg,Ni)_3Si_2O_5(OH)_4$	Serpentine	6.1
Nepouite Ni analogue of Lizardite	$(Ni,Mg)_3Si_2O_5(OH)_4$	Serpentine	32.8
Clinochrysoile	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	Serpentine	
Pecoraite Ni analogue of Lizardite	$Ni_3Si_2O_5(OH)_4$	Serpentine	40.5
Clinochrysoile			
Antigorite	$(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$	Serpentine	0.1
Nickeloan antigorite Berthierine	$(Mg,Ni)_3Si_2O_5(OH)_4$	Serpentine	4.9
Fe ²⁺ Dominantamesite is Mg Dominant	$(Fe_{2+},Fe_{3+},Mg)_{2-3}(Si,Al)O_5(OH)_4$	Serpentine	2.8
Brindleyite Ni Analogue of Berthierine	$(Ni,Mg,Fe)_2Al(Si,Al)O_5(OH)_4$	Serpentine	22.6
Talc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	Talc	0.3
Willemseite (kerolite) Ni analogue of talc	$(Ni,Mg)_3Si_4O_{10}(OH)_2$	Talc	27.1
Clinochlore	$(Mg,Fe_{2+})_5Al(Si_3,Al)_4O_{10}(OH)_8$	Chlorite	0.3
Nickeloan Chlorite	$(Mg,Fe_{2+},Ni)_6Al(Si_3,Al)_4O_{10}(OH)_8$	Chlorite	7.2
Nimite Ni analogue of Clinochlore	$(Ni,Mg,Al)_6Al(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$	Chlorite	16.9
Sepiolite	$Mg_4Si_6O_{15}(OH)_2 \cdot 6H_2O$	Sepiolite	0.4
Nickeloan sepiolite	$(Mg,Ni)_4Si_6O_{15}(OH)_2 \cdot 6H_2O$		2.9
Falcondoite Ni Analogue of sepiolite	$(Ni,Mg)_4Si_6O_{15}(OH)_2 \cdot 6H_2O$		24
7 A Garnierite	Poorly Crystalline; Extreme Variation		15.1
10 A Garnierite	Poorly Crystalline; Extreme Variation	Serpentine	19.9
14 A Garnierite	Poorly Crystalline; Extreme Variation	Talc	3.3
Unclassified Garnierite	Poorly Crystalline, Extreme Variation	Chlorite	17.6
Connarite	$Ni_2Si_3O_6(OH)_4$		27.4
Nickel-kerolite	$(Mg,Ni)_3Si_4O_{10}(OH)_2$	Talc	15.7

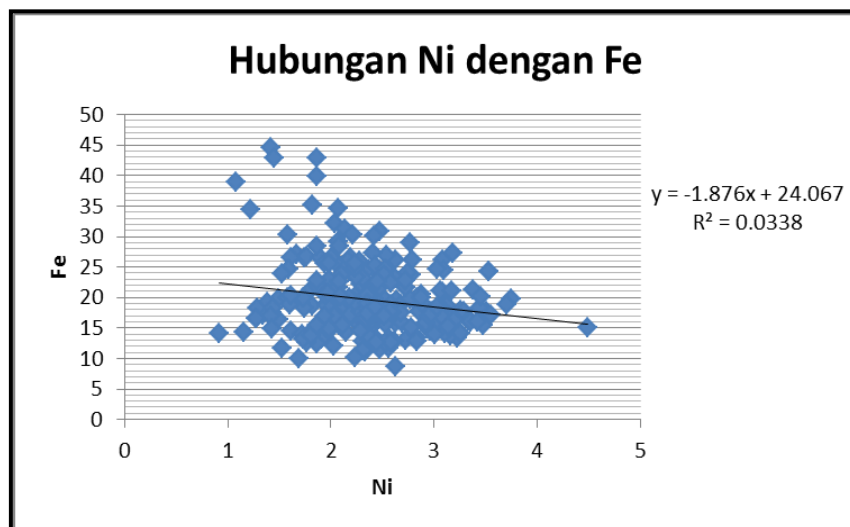
Endapan yang ditemukan pada daerah penelitian menunjukkan bahwa daerah penelitian masuk ke dalam tipe endapan *hydrous silicate* berdasarkan pembagian Freyssinet *et. al.*, (2005), dengan batuan dasar Harzburgit yang termasuk dalam klasifikasi peridotit.

4.3. Korelasi Ni dengan Fe, SiO₂ dan MgO pada Bijih Nikel

Bagian ini menguraikan variasi karakteristik kimia dari bijih endapan Ni laterit di lokasi penelitian, berdasarkan hasil analisis XRF PT Sinar Jaya Sultra Utama. Bagian ini diuraikan dengan hubungan antara setiap unsur dengan Ni pada bijih Ni laterit di daerah penelitian, menggunakan analisis korelasi dengan *scatter diagram* (diagram pencar).

4.3.1 Korelasi Ni dengan Fe

Mengetahui Korelasi Ni dengan Fe dilakukan untuk melihat kecenderungan unsur Fe terhadap Ni, ketika unsur Ni mengalami kenaikan yang diikuti dengan peningkatan kadar Fe maka dapat mempengaruhi proses peleburan nikel karena membutuhkan energi panas yang berlebih. Gambar 4.13 memperlihatkan distribusi konsentrasi Ni terhadap Fe.



Gambar 4.13 Distribusi konsentrasi Ni dengan Fe sebesar $R^2 = 0,0338$

Korelasi Ni dengan Fe memiliki korelasi yang lemah, Nilai koefisien determinasi (*R square*) antara Ni dengan Fe adalah sebesar 0,0338 sehingga nilai koefisien

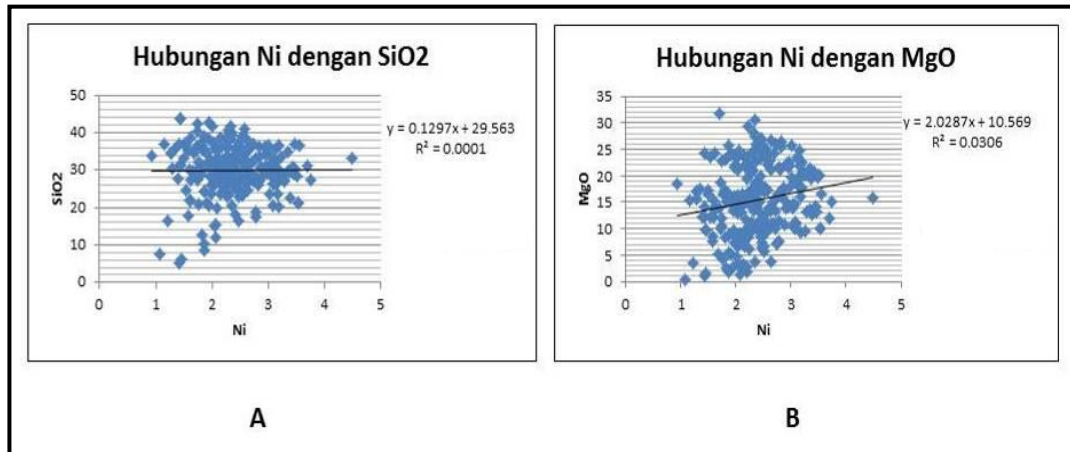
korelasi (r) adalah 0,184, hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi Ni yang terus meningkat dapat mempengaruhi berkurangnya konsentrasi Fe sebesar 18,4%.

4.3.2 Korelasi Ni dengan SiO₂

Mengetahui Korelasi Ni dengan SiO₂ dilakukan untuk melihat kecenderungan unsur SiO₂ terhadap Ni, ketika unsur Ni mengalami kenaikan yang diikuti dengan peningkatan kadar SiO₂ yang melebihi standar spesifikasi pengolahan pada pabrik maka dapat mempengaruhi proses pengolahan Ni yang menyebabkan produk nikel tidak dapat keluar dari tungku dan berhubungan dengan rasio S/M. Hubungan SiO₂ dengan Ni yaitu memiliki korelasi yang sangat kecil. Nilai koefisien determinasi (R square) antara Ni dengan SiO₂ adalah 0,0001 sehingga nilai koefisien korelasi (r) adalah 0,01, hal ini menunjukkan bahwa 1% konsentrasi SiO₂ dipengaruhi oleh konsentrasi Ni. Gambar 4.14 (A) memperlihatkan distribusi konsentrasi Ni terhadap SiO₂.

4.3.3 Korelasi Ni dengan MgO

Mengetahui Korelasi Ni dengan MgO dilakukan untuk melihat kecenderungan unsur MgO terhadap Ni, ketika unsur Ni mengalami kenaikan yang diikuti dengan peningkatan kadar MgO yang melebihi standar spesifikasi pengolahan pada pabrik yang melebihi 25% maka dapat mempengaruhi proses pengolahan Ni yang menyebabkan produk nikel tidak dapat keluar dari tungku dan berhubungan dengan rasio S/M. Hubungan MgO terhadap Ni, memiliki korelasi yang lemah. Nilai koefisien determinasi (R square) antara Ni dengan MgO adalah 0,0306 atau sehingga nilai koefisien korelasi (r) adalah 0,175, hal ini menunjukkan bahwa 17,5% konsentrasi MgO dipengaruhi oleh konsentrasi Ni. Gambar 4.14 (B) memperlihatkan distribusi konsentrasi Ni terhadap MgO.



Gambar 4.14 Distribusi konsentrasi SiO₂ dan MgO yang berbanding lurus dengan kadar Ni (A) (B).

4.4. Karakteristik Bijih Nikel Terhadap Pengolahan

Secara umum pengolahan bijih Ni laterit terbagi atas dua jenis yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi. Pirometalurgi (*smelting*) akan menghasilkan *nickel matte* dan *ferronickel*. Pengolahan hidrometalurgi seperti *high-pressure acid leaching*, menghasilkan Ni dan Co: *atmospheric leaching* dan *heap leaching*, menghasilkan *Ni-hydroxide* (Dalvi, et al., 2004; Butt, 2005; Mcdonald & Whittington, 2008).

4.4.1 Pengaruh Geokimia Terhadap Pengolahan

Pengolahan dengan metode pirometalurgi terhadap bijih dengan kadar Ni >2% akan menghasilkan *ferronickel* atau *Ni matte*, bijih dengan kadar >2,2% akan menghasilkan *high carbon ferronickel*, dan bijih dengan kadar >1,5% akan menghasilkan *low carbon ferronickel* (Butt, 2005; Mcdonald & Whittington, 2008). Kadar ideal untuk pengolahan bijih Ni laterit dengan metode hidrometalurgi adalah $\pm 1,3\%$ (Butt, 2005).

Pengolahan pirometalurgi terhadap bijih dengan rasio SiO₂/MgO 1,8-2,2 lebih baik menghasilkan *nickel-matte*. Pengolahan pirometalurgi terhadap bijih dengan rasio

$\text{SiO}_2/\text{MgO} < 2$ atau $> 2,5$ lebih baik menghasilkan *ferronickel*. Bijih dengan rasio $\text{SiO}_2/\text{MgO} > 2,5$ bersifat korosif dan mengakibatkan temperatur yang tinggi pada *furnace* dan konsumsi energi yang lebih banyak sehingga harus dilakukan *blending* atau *fluxing* sebelum di *smelter*. Perubahan rasio SiO_2/MgO memiliki peran yang sangat penting untuk mengontrol titik leleh dan kekentalan *slag*, serta merupakan faktor yang sangat penting untuk dipertimbangkan dalam penggunaan *electrical furnace* (Dalvi, *et al.*, 2004; Villanova-de-Benavent, *et al.*, 2014).

Rasio Fe/Ni merupakan salah satu karakter yang dipertimbangkan dalam menentukan metode pengolahan. Bijih dengan rasio Fe/Ni 5-6 dapat diolah dengan metode pirometalurgi dan menghasilkan *high carbon ferronickel*, bijih dengan rasio Fe/Ni 6-12 dapat diolah dengan metode pirometalurgi dan menghasilkan *low carbon ferronickel*, sedangkan rasio Fe/Ni yang tinggi mencapai > 6 akan menghasilkan *Ni matte* (McDonald & Whittington, 2008).

Pengolahan pirometalurgi terhadap bijih dengan rasio SiO_2/MgO 1,8-2,2 lebih baik menghasilkan *nickel-matte*. Pengolahan pirometalurgi terhadap bijih dengan rasio $\text{SiO}_2/\text{MgO} < 2$ atau $> 2,5$ lebih baik menghasilkan *ferronickel*. Bijih dengan rasio $\text{SiO}_2/\text{MgO} > 2,5$ bersifat korosif pada lapisan *furnace* dan harus dilakukan *blending* atau *fluxing* sebelum dilebur (Dalvi, *et al.*, 2004).

Pengolahan pirometalurgi terhadap bijih yang memiliki rasio silika/magnesia (S/M) yang rendah dapat mengakibatkan temperatur yang tinggi pada *furnace* dan konsumsi energi yang lebih banyak (Dalvi, *et al.*, 2004; Villanova-de-Benavent, *et al.*, 2014). Kandungan air pada bijih Ni laterit yang lebih dari > 15 wt% harus dikeringkan terlebih dahulu dengan cara kalsinasi (*calcination*) pada suhu 900°C (Dalvi, *et al.*, 2004). Tabel 4.3 memperlihatkan karakteristik geokimia dan mineral terhadap proses pengolahan pirometalurgi dan hidrometalurgi serta di lokasi penelitian.

Tabel 4.8 Pengaruh komposisi mineral dan geokimia bijih Ni laterit terhadap proses pengolahan

	Karakter	Pirometalurgi	Hidrometalurgi	Lokasi Penelitian
Geokimia	Kadar Ni	> 2,0% FeNi atau Ni Matte (Butt, 2005) > 2,2% = HC FeNi (Mcdonald & Whittington, 2008) > 1,5% = LC FeNi (Mcdonald & Whittington, 2008)	1,3% (Butt, 2005)	1,8%
	Kadar Co	Tidak ditemukan	>0,1%; sebagai <i>buy product</i> (Butt, 2005)	Tidak teridentifikasi
	Kadar Fe	>20% (Butt, 2005)	-	26,06%
	Kadar MgO	<25% (Butt, 2005)	< 5,0% (Butt, 2005) < 4,0% (Dalvi, <i>et al.</i> , 2004)	11,16%
	Kadar SiO ₂	<55% (Butt, 2005) (Dalvi, <i>et al.</i> , 2004)		23,19%
	Ratio S/M	1,8 - 2,2 = <i>Mattes</i> (Dalvi, <i>et al.</i> , 2004) <2 atau >2,5 = <i>Ferronickel</i> (Dalvi, <i>et al.</i> , 2004) 2.3-2.5 = <i>Very corrosive</i> (Dalvi, <i>et al.</i> , 2004)	Tidak ditemukan	2,43
	Ratio Fe/Ni	5-6 = HC FeNi (Mcdonald & Whittington, 2008) 6-12 = LC FeNi (Mcdonald & Whittington, 2008) > 6 = <i>Mattes</i> (Mcdonald & Whittington, 2008)	Tidak ditemukan	14,48
Mineral	Kuarsa, talk, piroksin, besi oksida	Tidak ditemukan	Sulit diluluhkan (Sufriadin, <i>et al.</i> , 2011)	Ditemukan: kuarsa, piroksin dan talk
	Serpentin	Tidak ditemukan	Mudah diuraikan (Sufriadin, <i>et al.</i> , 2011)	Ditemukan
	Olivin	Menyebabkan titik lebur menjadi tinggi sehingga dibutuhkan tambahan energi, <i>slag</i> menjadi kental sehingga dapat merusak <i>electrical furnace</i> (Sufriadin, <i>et al.</i> , 2011)	Mudah diuraikan (Sufriadin, <i>et al.</i> , 2011)	Hanya pada batuan dasar
	Lempung	Tidak ditemukan	Konsumsi asam yang tinggi (Dalvi, <i>et al.</i> , 2004)	Tidak ditemukan
	Goetit	Tidak ditemukan	Direkomendasikan (Mcdonald & Whittington, 2008)	Tidak ditemukan
	Silika	Direkomendasikan (Mcdonald & Whittington, 2008)	Direkomendasikan (Mcdonald & Whittington, 2008)	Ditemukan di batuan dasar

Geokimia bijih Ni laterit di lokasi penelitian yang diolah dengan metode XRF diperoleh kadar Ni sebesar 1,8%, kadar SiO₂ 23,19% dan rasio S/M 2,43 serta rasio Fe/Ni 14,48 yang berarti lebih tepat diolah dengan metode pirometalurgi. Namun, terdapat beberapa karakter yang masih harus melewati perlakuan untuk mengurangi kadar Fe dari 32,63% menjadi 20% dan kadar MgO yang perlu ditingkatkan dengan proses *blending* terlebih dahulu.

4.4.2 Pengaruh Mineral Terhadap Pengolahan

Serpentin memiliki kandungan Mg yang tinggi, tetapi mineral ini dijumpai dominan menyusun bijih Ni laterit di daerah penelitian. Jika bijih tersebut banyak mengandung mineral-mineral talk, *pyroxene*, kuarsa, *iron oxyde*, amfibol, *enstatite* maka proses pengolahan akan menjadi lambat. Mineral *clays* dan *goethite* merupakan mineral yang sangat dianjurkan untuk diproses dengan metode pirometalurgi (Dalvi, *et al.*, 2004; McDonald & Whittington, 2008; Sufriadin, *et al.*, 2011).

Kandungan mineral olivin dalam bijih sebelum dimasukkan dalam *electric furnace* harus dikontrol dengan nilai yang rendah, untuk mencegah terjadinya permasalahan peleburan, mengingat olivin memiliki titik leleh yang sangat tinggi. Kehadiran olivin pada kontak *slag-matte* akan mengurangi perpindahan panas dari *slag* ke *matte* yang akan menyebabkan kesulitan dalam proses *skimming*.

Hasil analisis mineralogi dengan XRD dan mikroskopis pada sampel-sampel bijih daerah penelitian menunjukkan komposisi mineral yang dominan adalah antigorit (41,6%), lizardit (32,4%), talk (20,8%) dan kuarsa (5,2%). Berdasarkan tingginya komposisi mineral serpentin dan rendahnya komposisi mineral talk, maka bijih Ni laterit daerah penelitian tidak direkomendasikan untuk diolah secara hidrometalurgi.

Berdasarkan pembahasan di atas mineralogi dan geokimia bijih Ni laterit di lokasi penelitian di rekomendasikan untuk diolah secara pirometalurgi.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Berdasarkan peta distribusi kadar Ni, Fe, MgO, SiO₂ dan S/M dapat disimpulkan bahwa kadar rata-rata Ni 1,8%, Fe 26,06%, SiO₂ 23,19%, MgO 11,16% dan rasio S/M 2,43. direkomendasikan untuk *ore* daerah penelitian dapat digunakan sebagai umpan ke pabrik pengolahan melalui proses *blending* terlebih dahulu.
2. Hasil identifikasi batuan dasar merupakan batuan peridotit jenis harzburgit. Mineral yang teridentifikasi pada garnierit berupa serpentin, talk dan sedikit kuarsa yang membuktikan bahwa endapan nikel laterit di daerah penelitian merupakan endapan tipe *hydrous silicate deposits*.
3. Karakteristik geokimia bijih nikel laterit di daerah penelitian unsur Ni memiliki korelasi yang lemah dengan besi (Fe), silika (SiO₂) dan magnesia (MgO).
4. Karakteristik mineralogi dan geokimia bijih nikel laterit di daerah penelitian dapat direkomendasikan untuk diolah secara pirometalurgi.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian diperlukan sampel setiap lapisan endapan guna semakin memperkuat hasil penelitian ini.

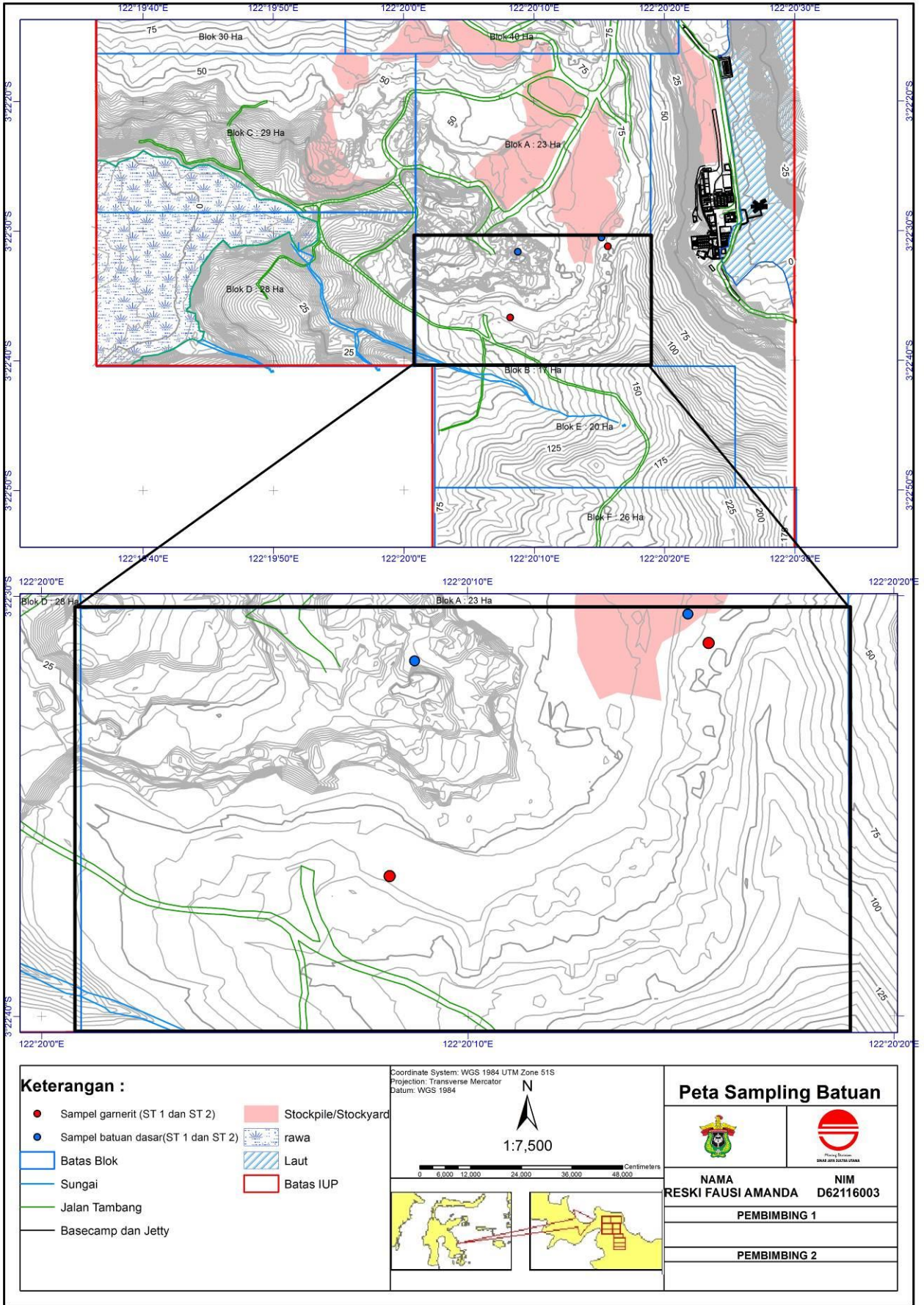
DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, W., 2005. *Laterite: Mine Geology, Exploration Method, Ore Processing, Resource Estimation and project Development. PT. Intenational Nickel Indonesia: Sorowako, South Sulawesi.*
- Ahmad, W., 2006, *Laterite Fundamental of Chemistry, Mineralogy, Weathering Process and Laterite Information*, PT. INCO, Sorowako.
- Boldt, J.R., 1996. *The Winning Of Nickels Its Geology, Mining, and Extractive Metalurgy, Toronto*
- Brand, N. W., Butt, C. R. & Elias, M., 1998. Nickel laterites: Classification and Features. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, Volume 17, pp. 81-88..
- Butt, C. R. M., 2005. *Nickel Laterites*. Kalgoorlie, CRC LEME-GSWA Mineral Exploration, pp. 58-59.
- Dalvi, A. D., Bacon, W. G. & Rober, 2004. *The Past and the Future of Nickel Laterites*. Canada, PDAC 2004 International Convention, Trade Show & Investors Exchange (March 7-10,).
- Elias, M., 2002. *Nickel Laterite Deposits-Eological Overview, Resources And Exploitation, In Giant Ore Deposit: Characteristics, Genesis And Exploration*. Centre Ore Deposit Res., Univ. Tasmania, Spec. Pub 4, 205-220.
- Freyssinet,P., C.R.M Butt, R.C Morris, dan P Piantone, 2005. *Ore-Forming Processes Related to Lateritic Weathering*, Economic Geology 100th Anniversary volume, pp 681-722
- Golightly, J., 1979. Nickelferous Laterites: A General Description. *Journal of Electrostatics*, pp. 3-23.
- Gleeson, S., Butt, C. & El, M., 2003. Nickel Laterites : A Review. *Society of Economic Geologists (SEG)*, July, pp. 12-18.
- Kyle, J., 2010. *Nickel Laterite Processing Technologies – Where to Next?.* Perth, Western Australia, ALTA 2010 Nickel/Cobalt/Copper Conference.
- Mcdonald, R. & Whittington, B., 2008. Atmospheric Acid Leaching of Nickel Laterites Review: Part I. Sulphuric Acid Technologies. *Hydrometallurgy*, March , 91(1-4), pp. 35-55.
- Nahon, D. B., Boulange, B. & Colin, F., 1992. Mettalogeny of Weathering: an Introduction, In Martini and Chesworth. *Weathering, Soil and Paleosols*, pp. 445-471.
- Nushantara, A. P., 2002. *Profil Kimia Pelapukan Bongkah Peridotit Dearah Dx, Sorowako, Sulawesi Selatan*. Ugm, Yogyakarta

- Roqué-Rosell, J., Mosselmans, J. F. W., Proenza, J. A., Labrador, M., Galí, S., Atkinson, K. D., Quinn, P. D., 2010. Sorption of Ni by "Lithiophorite–Asbolane" Intermediates in Moa Bay Lateritic Deposits, Eastern Cuba. *Chemical Geology*, Volume 275, p. 9 – 18.
- Sufriadin, Pramumijoyo, I., Warmada, S. & Imai, I., 2011. *Study on Mineralogy and Chemistry of the Saprolitic Nickel ore from Soroako, Sulawesi, Indonesia: Implication for the Lateritic Ore Processing*. *Journal of Southeast Asian Applied Geology*, 3(1), p. 23–33.
- Trescases, J. J., 1975. *Levolution Geochimique Supergene des Roches Ultrabasiqes en Zone Tropicale; Formations des Gisements Nickeliferes de Nouvelle-Caledonie*. Paris, ORSTOM Mem. 78..
- Tonggiroh A., Supriadin., 2014. Bijih Laterit (432D6202). Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
- Studi Kelayakan PT Sinar Jaya Sultra Utama Site Waturambaha tahun 2013, Waturambaha Sulawesi Tenggara
- Watson, D.F. & Philip G.M. 1985. *A Reinement of Inverse Distance Weighted Interpolation*. *Geo-Processing 2*: 315-327

LAMPIRAN

LAMPIRAN A
PETA LOKASI PENGAMBILAN SAMPEL



LAMPIRAN B
DATA TITIK BOR

hole_id	y	x	Ni	Fe	SiO2	MgO	Al2O3	CaO	Cr2O3	MnO	S/M	kedalaman	ketebalan bijih
TBC198B	9626900	425976.1	1.65	37.11	8.7	3.51	9.31	0.1	2.482	0.49	2.48	25	13
TBB421BR	9626903	426001.9	1.96	32.6	15.8	11	9.62	0.44	2.032	0.64	1.44	31	19
TBC199B	9626901	426024.3	1.88	30.09	14.8	10.9	7.1	0.11	1.806	0.45	1.36	26	18
TBA145	9626898	426045.8	1.54	40.7	5.64	2.32	10.4	0.22	2.389	0.62	2.44	19	7
TBC200B	9626901	426072.1	2.03	33.49	13	7.35	8.03	0.39	1.948	0.67	1.77	23	11
TBB422BR	9626900	426097.6	1.69	25.5	26.1	15.6	7.37	0.3	1.564	0.53	1.67	17	8
TBC201B	9626915	426126.4	1.58	23.86	27.6	17.8	5.88	0.52	1.452	0.44	1.55	14	7
TBA146	9626896	426142.5	1.9	21.81	26	11.8	5.83	0.75	1.247	0.45	2.21	10	4
TBC202B	9626901	426174.3	1.43	20.32	33.4	18.8	6.11	0.93	1.06	0.45	1.78	21	6
TBB423BR	9626900	426197.9	1.62	14.53	38.6	24.2	3.39	0.64	0.85	0.28	1.59	10	3
TBC203B	9626899	426223.7	1.5	40.69	7.91	4.4	7.6	0.1	2.21	0.8	1.8	9	1
TBA147	9626891	426240.6	2.17	18.06	30	16.6	3.66	0.29	0.798	0.4	1.8	9	4
TBC204B	9626899	426274.5	2.46	23.96	24.7	13.5	4.62	0.38	1.322	0.47	1.83	24	14
TBB424BR	9626900	426298.9	1.75	36.1	12.7	8.63	9.63	0.13	2.198	0.84	1.48	17	6

TBC124B	9626897	426323.9	1.86	22.37	28.5	16.8	7.25	0.54	1.333	0.57	1.69	14	7
TBA148BR	9626900	426347.9	1.84	25.8	24.9	17.5	6.14	0.15	1.533	0.67	1.43	22	16
TBC125B	9626898	426372.5	1.91	34.08	18.1	7.8	9.21	0.25	1.661	0.74	2.32	25	21
TBB425	9626896	426400.4	2.01	17.18	31.4	21.8	3.35	0.39	0.831	0.34	1.44	30	13
TBC126B	9626901	426424	1.54	44.3	4.92	2.86	10.2	0.07	2.65	1.19	1.72	17	7
TBA149	9626898	426450	1.98	22.93	27.3	11.4	4.22	0.4	1.986	0.46	2.39	16	6
TBC127B	9626899	426472.6	1.61	20.96	25.5	17.9	4.62	0.12	1.12	0.61	1.42	9	2
TBC36B	9626874	425977.3	1.76	32.97	12	8.39	7.94	0.37	2.081	0.46	1.44	13	7
TBC192B	9626876	425999.1	1.91	35.35	9.07	6.07	8.57	0.18	2.483	0.58	1.49	20	13
TBC37B	9626875	426025.5	1.63	36.99	7.11	5.23	9.71	0.09	2.252	0.61	1.36	21	5
TBC193B	9626875	426050.8	1.47	38.89	6.53	4.24	9.38	0.19	2.133	0.64	1.54	21	6
TBC38B	9626875	426079.1	1.59	38.53	6.66	3.84	8.87	0.23	2.31	0.53	1.73	19	5
TBC194B	9626875	426099.3	1.54	36.1	9.41	5.9	9.19	0.31	2.269	0.61	1.59	24	7
TBC39B	9626874	426128.5	1.65	34.2	12	7.86	7.94	0.24	2.003	0.7	1.52	14	12
TBC195B	9626874	426149.8	1.48	26.45	27	12	8.73	0.69	2.022	0.46	2.24	21	8

TBC40B	9626875	426179.5	2.09	20.63	30	12.7	4.35	1.12	1.102	0.4	2.36	20	12
TBC196B	9626879	426198.9	1.74	23.68	35.8	6.6	8.45	0.33	1.38	0.54	5.42	17	4
TBC09B	9626869	426219.1	1.64	34.13	16.5	1.72	9.8	0.08	2.239	0.53	9.6	29	19
TBC197B	9626876	426250.6	2.25	18.66	33	19.1	4.75	0.66	1.013	0.34	1.73	14	9
TBC10B	9626866	426276.4	1.83	21.55	28.5	14.6	4.75	0.58	1.32	0.41	1.96	8	2
TBC119B	9626875	426300	1.58	35.45	13.8	7.35	9.87	0.17	2.58	0.98	1.87	8	3
TBC41B	9626878	426329	1.8	36.78	12.5	7.27	7.07	0.16	2.341	0.74	1.72	17	10
TBC120B	9626878	426349.4	1.72	29.49	17.4	10.3	7.07	0.61	1.629	0.58	1.69	14	5
TBC42B	9626877	426372.6	1.55	20.79	32.1	26.8	6.68	0.21	1.238	0.43	1.2	17	9
TBC121B	9626880	426399.2	1.29	41.48	6.2	2.19	8.08	0.1	2.48	1.04	2.83	15	1
TBC43B	9626876	426423.8	1.31	47.88	3.13	0.84	12.1	0.01	3.33	1.1	3.73	14	0
TBC122B	9626877	426451	1.75	17.71	29.6	21.5	3.13	0.12	0.995	0.48	1.38	16	4
TBC44B	9626875	426473.7	1.8	15.33	37	22.2	1.89	0.1	0.743	0.33	1.67	10	3
TBC185B	9626849	425974.8	2.43	26.39	19	13.5	6.15	0.19	1.623	0.45	1.41	24	7
TBB396BR	9626849	426002.1	1.73	37.88	11.1	6.21	10.2	0.21	2.578	0.72	1.78	24	11

TBC186B	9626848	426028.2	1.22	45.05	2.94	1.17	12.7	0.02	2.892	0.75	2.51	17	1
TBB397	9626852	426052.4	1.6	35.14	7.17	5.11	8.74	0.23	2.59	0.55	1.4	17	4
TBC187B	9626850	426073.5	1.44	41.61	4.88	2.83	8.72	0.06	2.124	0.74	1.73	19	5
TBB398	9626850	426101.6	1.65	36.02	8.66	3.8	8.15	0.23	1.92	0.75	2.28	21.5	7
TBC188B	9626844	426127	1.52	38.45	8.4	6.38	7.65	0.14	1.924	0.7	1.32	21	3
TBB399	9626849	426148.5	1.93	29.55	16.2	10.3	5.36	0.18	1.901	0.58	1.58	25	16
TBC189B	9626849	426178	2.41	18.67	33.3	14	5.37	0.41	1.143	0.39	2.38	13	7
TBB400	9626851	426196	2.05	27.13	20.6	9.09	6.68	0.67	1.489	0.43	2.27	17	11
TBC190B	9626851	426228.4	2.37	30.01	23.7	8.25	8.34	0.28	1.852	0.52	2.88	29	9
TBB401BR	9626852	426241.4	1.66	32.78	21.8	5.89	9.63	0.2	1.823	0.63	3.7	25	9
TBC191B	9626852	426279.3	1.73	23.08	31.3	10.3	8.62	0.98	1.51	0.5	3.03	11	2
TBB402	9626857	426299.3	1.94	22.07	25.1	11.6	3.62	0.84	1.068	0.24	2.16	9	4
TBC115B	9626851	426325	1.83	23.86	22.7	12.9	6.15	0.74	1.529	0.45	1.75	25.5	8
TBB403	9626852	426347.6	2.01	20.91	25	16.6	4.53	0.7	1.21	0.44	1.51	12	6
TBC116B	9626847	426375.2	2.6	18.29	27.4	19.9	4.51	0.22	1.016	0.4	1.38	22	12

TBB404	9626850	426399.5	1.73	19.55	26.8	20.7	4.04	0.27	1.144	0.42	1.29	25	7
TBC117B	9626851	426425.4	1.58	25.1	22.5	18.4	7.48	0.05	1.301	0.53	1.23	21	3
TBB405	9626849	426449	1.28	48.5	1.69	0.61	6.55	0.01	1.96	1.3	2.77	14	19
TBC118B	9626850	426474	2.51	16.85	33.5	22.2	3.36	0.12	0.881	0.39	1.51	22	12
TBC31B	9626824	425975.6	2.18	31.33	14.3	10.3	6.94	0.1	1.776	0.5	1.38	25	4
TBC179B	9626824	425999.2	1.58	40.87	5.23	2.63	9.58	0.03	2.303	0.66	1.99	26	5
TBC32B	9626827	426025.8	1.44	41.64	4.61	2.7	9.1	0.15	2.5	0.76	1.71	24	5
TBC180B	9626825	426046.1	1.63	36.68	9.12	5.68	8.45	0.39	2.442	0.68	1.61	25	10
TBC33B	9626824	426073.6	2.26	24.67	23.7	16	4.66	0.2	1.152	0.5	1.48	27	5
TBC181B	9626824	426099.4	1.68	32.11	15.6	9.21	7.67	0.17	1.591	0.7	1.7	27	8
TBC34B	9626826	426125.2	2.54	16.76	29.5	21.5	3.12	0.25	0.768	0.3	1.37	22	6
TBC182B	9626824	426147.4	1.53	37.18	12.5	4.37	13.7	0.06	2.53	0.77	2.85	19	14
TBC35B	9626829	426172.7	1.85	30.18	18.5	6.71	6.66	0.6	1.92	0.3	2.76	7	7
TBC183B	9626824	426193.8	1.72	33.02	18.8	6.78	11	0.4	2.163	0.75	2.77	17	12
TBC07B	9626827	426220.7	1.92	29.06	19.8	8.15	7.28	0.44	1.567	0.4	2.43	16	18

TBC184B	9626822	426252.3	2.82	27.98	22.7	7.03	7.04	0.3	1.728	0.48	3.23	28	9
TBC08B	9626824	426274.3	2.45	23.14	28.7	8.33	5.34	0.34	1.638	0.38	3.44	29	20
TBC110B	9626818	426297.1	1.81	29.74	20.4	6.61	7.84	0.55	2.408	0.48	3.09	20	15
TBC46B	9626823	426323.7	2.63	18.12	26.9	13.7	3.51	0.46	0.933	0.34	1.96	25	1
TBC111B	9626822	426348.2	1.91	21.98	29.1	16.3	8.07	0.23	1.217	0.51	1.78	25	2
TBC47B	9626827	426374.7	2.2	17.97	28.7	17.8	4.62	0.21	0.92	0.4	1.61	25	9
TBC112B	9626824	426400.6	2.3	14.45	32.3	22.4	3.07	0.2	0.629	0.29	1.44	21	11
TBC48B	9626828	426423.3	2.07	15.79	30.8	19.7	3.53	0.24	0.761	0.34	1.56	22	18
TBC113B	9626824	426448.9	2.42	15.83	32.1	23.4	3.47	0.06	0.742	0.33	1.37	29	14
TBC49B	9626827	426472.1	2.35	21.91	28.4	15.3	4.71	0.14	1.039	0.49	1.85	19	10
TBC172B	9626800	425974.8	2.02	29.86	15.2	10.4	6.38	0.33	2.037	0.46	1.46	22	6
TBB372BR	9626805	426000.1	1.5	40.56	9.15	6.85	8.44	0.13	2.351	0.85	1.34	23	4
TBC173BR	9626801	426024	1.37	46.9	5.32	1.04	8.73	0.03	2.967	1.09	5.09	26	6
TBA130	9626801	426047.4	1.95	28.09	18.2	10.5	5.01	0.18	1.47	0.52	1.74	22	3
TBC174B	9626800	426078	1.64	31.5	15.7	9.49	6.26	0.28	1.796	0.29	1.65	22	3

TBB373	9626800	426100.7	2.35	18.85	28	19.3	3.31	0.92	0.743	0.47	1.45	16	11
TBC175B	9626799	426125.3	1.9	27.78	19.5	9.83	7.9	0.13	1.66	0.47	1.98	25	12
TBA131BR	9626797	426149.9	1.72	27.07	24.2	11.8	9.12	0.21	1.575	0.54	2.05	27	3
TBC176B	9626800	426171.2	1.5	38.22	7.03	2.65	11.2	0.1	2.343	0.66	2.65	13	5
TBB374	9626795	426208.1	1.62	21.26	26.6	15.6	5.45	0.09	0.938	0.46	1.7	10	15
TBC177B	9626805	426230.6	1.71	26.1	29.3	7.68	9.58	0.14	1.85	0.49	3.81	19	18
TBA132	9626794	426266.7	2.42	19.29	30.1	13.1	4.57	0.44	1.223	0.3	2.3	22	19
TBC178BR	9626795	426274.6	2.14	23.09	30.7	12.9	6.12	0.67	1.618	0.3	2.37	23	6
TBB375	9626799	426299.7	2.08	15.76	32.5	17.5	3.42	0.66	0.727	0.29	1.85	28	8
TBC106B	9626800	426323.8	1.59	36.79	13.7	3.31	9.39	0.29	2.707	0.49	4.13	26	7
TBA133	9626797	426350.3	1.66	25.92	22	11.6	5.26	0.19	1.531	0.35	1.9	26	10
TBC107B	9626800	426374.1	2.15	17.36	35.4	16.8	5.81	0.57	1.263	0.42	2.11	20	10
TBB376	9626806	426402.2	2.66	17.54	32.8	14.8	4.11	0.4	0.858	0.4	2.22	24	4
TBC108B	9626799	426426	1.87	18.29	32.5	13.9	4.58	0.81	1.098	0.33	2.33	24	6
TBA134	9626794	426447.8	1.5	29.7	18.2	9.78	6.29	0.63	1.527	0.54	1.86	18	13

TBC109B	9626799	426474.7	1.85	16.09	32.7	18	3.41	1.16	0.751	0.29	1.81	19	0
TBC26B	9626772	425974.7	1.08	29.2	16.5	10.7	5.69	0.52	1.65	0.56	1.54	12	1
TBC166B	9626775	425999.2	1.46	31.96	16	9.88	5.44	0.07	1.905	0.76	1.62	15	3
TBC27B	9626776	426023.3	1.34	43.43	3.81	1.96	8.98	0.03	2.498	0.86	1.95	16	9
TBC167B	9626775	426050.9	1.86	33.61	13.8	7.77	7.33	0.09	2.189	0.69	1.78	25	17
TBC28B	9626776	426075.4	2.67	23.73	21.2	14.3	6.63	0.12	1.544	0.4	1.48	27	9
TBC168B	9626775	426098.3	1.86	19.15	28.7	19.1	4.92	0.06	0.96	0.43	1.5	22	11
TBC29B	9626774	426121.8	1.62	31.52	14.8	9.9	8.17	0.11	1.809	0.47	1.5	24	9
TBC169B	9626772	426149.8	1.84	18.16	31.5	21	5.51	0.38	1.058	0.31	1.5	22	9
TBC30B	9626778	426173.4	2.35	28.94	16.9	10.3	7.39	0.28	1.708	0.42	1.64	19	17
TBC170B	9626777	426194.7	2.48	20.69	31	15.8	6.34	0.65	1.325	0.35	1.97	23	17
TBC05B	9626768	426225.5	1.84	30.41	18.9	5.27	7.68	0.39	2.01	0.4	3.59	10	16
TBC171B	9626776	426255.6	1.83	26.53	25.2	6.62	5.94	0.42	1.534	0.29	3.81	21	8
TBC06B	9626776	426279.3	1.94	23.4	27.9	9.58	5.34	0.6	1.504	0.4	2.91	13	7
TBC101B	9626773	426300.6	2.51	21.44	30.7	9.47	5.16	0.53	1.366	0.33	3.24	22	16

TBC51B	9626773	426325.9	2.22	23.83	24.4	6.03	5.01	0.3	1.517	0.27	4.05	8	8
TBC102B	9626776	426349.8	2.53	23.37	27.7	9.48	5.37	0.5	1.54	0.35	2.92	26	18
TBC52B	9626777	426374.9	2.08	15.35	30.3	15.9	2.98	0.75	0.76	0.31	1.9	23	3
TBC103B	9626774	426400.6	1.8	21.93	30.4	13.9	7.68	1.21	1.787	0.37	2.19	22	9
TBC53B	9626774	426426.8	1.7	25.11	26	12.4	6.59	0.35	1.33	0.5	2.1	14	3
TBC104B	9626773	426450.9	2.62	14.17	37.4	19.4	3.37	0.07	0.827	0.31	1.92	17	14
TBC54B	9626775	426475.2	1.87	19.59	31.9	17	4.5	0.6	1.038	0.39	1.88	18	5
TBC159B	9626748	425974.3	1.82	26.61	20.1	13.4	5.66	0.51	1.541	0.46	1.49	18	6

LAMPIRAN C
HASIL REPORT ANALISIS XRD

Match! Phase Analysis Report

Sample: ST1B-RESKI (5-70)

Sample Data

File name ST1B-RESKI.ORG
File path C:/Users/ASUS/Downloads/data xrd mentah/ST1B-RESKI
Data collected Aug 31, 2020 12:46:15
Data range 5.000° - 70.000°
Original data range 5.000° - 70.000°
Number of points 3251
Step size 0.020
Rietveld refinement converged No
Alpha2 subtracted No
Background subtr. No
Data smoothed Yes
Radiation X-rays
Wavelength 1.540600 Å

Matched Phases

Index Amount (%) Name Formula sum

A 41.6 Antigorite H58 Mg45 0138 Si32
B 32.4 Lizardite-2H1 H4 Mg3 09 Si2
C 20.8 Talc H2 Mg3 012 Si4
D 5.2 Quartz O2 Si

2.5 Unidentified peak area

A: Antigorite (41.6 %)

Formula sum H58 Mg45 0138 Si32
Entry number 96-900-4000
Figure-of-Merit (FoM) 0.764751
Total number of peaks 328
Peaks in range 328
Peaks matched 21
Intensity scale factor 0.15
Space group C 1 2/m 1
Crystal system monoclinic
Unit cell a= 81.6640 Å b= 9.2550 Å c= 7.2610 Å β = 91.409 °
I/Ic 0.82
Calc. density 2.578 g/cm³
Reference Capitani G. C., Mellini M., "The crystal structure of a second antigorite polysome (m = 16), by single-crystal synchrotron diffraction", American Mineralogist **91**, 394-399 (2006)

B: Lizardite-2H1 (32.4 %)

Formula sum H4 Mg3 09 Si2
Entry number 96-900-4514
Figure-of-Merit (FoM) 0.624742
Total number of peaks 86
Peaks in range 37
Peaks matched 7
Intensity scale factor 0.21
Space group P 63 c m
Crystal system hexagonal
Unit cell a= 5.3450 Å c= 14.6620 Å
I/Ic 1.53
Calc. density 2.537 g/cm³
Reference Guggenheim S., Zhan W., "Effect of temperature on the structures of lizardite-1T and lizardite-2H1 Sample: T = 475 C", The Canadian Mineralogist **36**, 1587-1594 (1998)

C: Talc (20.8 %)

Formula sum H2 Mg3 O12 Si4
 Entry number 96-900-8041
 Figure-of-Merit (FoM) 0.537478
 Total number of peaks 298
 Peaks in range 187
 Peaks matched 15
 Intensity scale factor 0.11
 Space group C 1 2/c 1
 Crystal system monoclinic
 Unit cell a= 5.2600 Å b= 9.1000 Å c= 18.8100 Å $\beta = 100.000^\circ$
 I/Ic 1.23
 Calc. density 2.841 g/cm³
 Reference Gruner J. W., "The crystal structures of talc and pyrophyllite Locality: Harford County, Maryland, USA",
 Zeitschrift fur Kristallographie **88**, 412-419 (1934)

D: Quartz (5.2 %)

Formula sum O2 Si
 Entry number 96-901-2603
 Figure-of-Merit (FoM) 0.543676
 Total number of peaks 32
 Peaks in range 15
 Peaks matched 3
 Intensity scale factor 0.07
 Space group P 31 2 1
 Crystal system trigonal (hexagonal axes)
 Unit cell a= 4.7050 Å c= 5.2500 Å
 I/Ic 3.11
 Calc. density 2.974 g/cm³
 Reference Hazen R. M., Finger L. W., Hemley R. J., Mao H. K., "High-pressure crystal chemistry and amorphization of
 alpha-quartz Locality: synthetic Sample: P = 5.1 GPa", Solid State Communications **72**, 507-511 (1989)

Candidates

Name Formula Entry No. FoM

Bi5 O7 I Bi5 I O7 96-810-4134 0.8000
 Cd I6 Tl4 96-451-0235 0.7993
 calcium chlorite Ca Cl2 O4 96-220-7380 0.7987
 Cd I6 Tl4 96-451-0236 0.7965
 Mg O7 Si2 Sr2 96-431-7124 0.7932
 Cd I6 Tl4 96-451-0234 0.7910
 Ag F2 96-150-9322 0.7901
 Si Se2 Se2 Si 96-210-7126 0.7768
 Bismutocolumbite Bi Nb0.79 O4 Ta0.21 96-900-9420 0.7744
 Tl4 (Cd I6) Cd I6 Tl4 96-153-9643 0.7736
 Plumboselite O5 Pb3 Se 96-901-5252 0.7675
 Cs3 (Au O2) (Cs Au)4 Au5 Cs7 O2 96-151-0554 0.7617
 Srilankite O2 Ti0.5 Zr0.5 96-901-0851 0.7614
 (Rb.2 Tl3.8) (Cd I6) Cd I6 Rb0.2 Tl3.8 96-153-9644 0.7602
 Sr Ge2 Ge2 Sr 96-722-1213 0.7591
 Ca Ho0.05 La1.6 Mo4 O16 Yb0.3596-722-0856 0.7579
 Zirconium titanium oxide (0.5/0.5/2) - HT (Srilankite) O2 Ti0.5 Zr0.5 96-100-8791 0.7560
 Ca Ho0.05 La1.55 Mo4 O16 Yb0.496-722-0853 0.7559
 (Sb0.52 Bi0.48) (Nb0.71 Ta0.29) O4 Bi0.48 Nb0.71 O4 Sb0.52 Ta0.29 96-810-3764 0.7548
 Eu2 Mg O7 Si2 96-431-7122 0.7537
 O5 Pb3 Se 96-400-1078 0.7530
 Zr (Ti O4) O4 Ti Zr 96-153-8359 0.7524
 Ca Ho0.05 La1.45 Mo4 O16 Yb0.596-722-0854 0.7524
 Ag Bi Se2 96-901-1023 0.7520

Rubidium copper iron bis(phosphate) Cu Fe O8 P2 Rb 96-223-8315 0.7515
Ca Ho0.05 La1.5 Mo4 O16 Yb0.4596-722-0852 0.7477
Ce2 Fe O2 Se2 96-710-5871 0.7469
Srilankite O2 Ti0.548 Zr0.452 96-901-0852 0.7464
Ca1.033 Ga3 La0.967 O7 96-432-9294 0.7444
Bismutotantalite Bi0.98 Nb0.11 O4 Sb0.02 Ta0.89 96-900-4612 0.7429
Potassium K 96-901-1982 0.7412
Sb S Br Br S Sb 96-153-5784 0.7336
Eu2 Mg O7 Si2 96-704-7316 0.7334
Bi5 O7 Br Bi5 Br O7 96-201-6341 0.7324
Bi (Nb O4) Bi Nb O4 96-153-2719 0.7311
ZrO2 ortho I phase O2 Zr 96-154-5066 0.7309
Er Ta O4 Er O4 Ta 96-153-0906 0.7298
Sb (Nb O4) Nb O4 Sb 96-153-0607 0.7294
Bi (Ta O4) Bi O4 Ta 96-153-2722 0.7286
Sassolite B H3 O3 96-901-4011 0.7284
Ga5.5 La3 Nb0.5 O14 96-210-3542 0.7270
Ca1.023 Ga3 Nd0.977 O7 96-410-6837 0.7270
Leightonite Ca Cu0.68 H4 K O9 S2 96-900-2726 0.7264
Bi0.333 O8 Pb2.5 V2 96-431-5782 0.7256
Mo4 O21.84 Sr11 96-230-0579 0.7247
Lanthanum palladium oxide (2/1/4) La2 O4 Pd 96-100-0484 0.7246
N O2 Sm Zr 96-430-3944 0.7232
Cs V Br3 Br3 Cs V 96-153-0068 0.7230
SiO2 (stishovite at 6.09 GPa) O2 Si 96-154-5152 0.7229
N Nd O2 Zr 96-430-3941 0.7222
Sn Se Se Sn 96-153-8897 0.7202
O4 Sn W 96-900-7596 0.7184

and 739 others...

Search-Match

Settings

Reference database used COD-Inorg REV214414 2019.03.29
Automatic zeropoint adaptation Yes
Minimum figure-of-merit (FoM) 0.60
2theta window for peak corr. 0.30 deg.
Minimum rel. int. for peak corr. 1
Parameter/influence 2theta 0.50
Parameter/influence intensities 0.50
Parameter multiple/single phase(s) 0.50

Criteria for entries added by user

Reference:

Entry number: 96-900-0849;96-900-1092;96-900-1093;96-900-1639;96-900-1640;96-900-1779;96-900-1883;96-900-4509;96-900-4510;96-900-4511;96-900-4512;96-900-4513;96-900-4514;96-900-4994;96-900-4995;96-900-7425;96-901-4665;96-901-5164;96-901-5487;96-901-5581;96-901-6051;96-901-6148;96-900-3104;96-900-4000;96-900-4515;96-901-4626;96-901-5975;96-901-6234;96-101-1153;96-300-0049;96-900-8041;96-900-8298;96-900-8732;96-901-4436;96-101-1098;96-101-1160;96-101-1173;96-101-1177;96-101-1201;96-110-0020;96-500-0036;96-900-0776;96-900-0777;96-900-0778;96-900-0779;96-900-0780;96-900-0781;96-900-5018;96-900-5019;96-900-5020;96-900-5021;96-900-5022;96-900-5023;96-900-5024;96-900-5025;96-900-5026;96-900-5027;96-900-5028;96-900-5029;96-900-5030;96-900-5031;96-900-5032;96-900-5033;96-900-

5034;96-900-7379;96-900-8093;96-900-8094;96-900-9667;96-901-0145;96-901-0146;96-901-0147;96-901-1494;96-901-1495;96-901-1496;96-901-1497;96-901-2601;96-901-2602;96-901-2603;96-901-2604;96-901-2605;96-901-2606;96-901-3322;96-901-5023

Peak List

No. 2theta [°] d [Å] I/I0 FWHM Matched

1	12.20	7.2489	370.14	0.4603	A, B
2	24.44	3.6392	381.47	0.4061	A, B, C
3	28.26	3.1554	500.09	0.4112	A
4	30.48	2.9304	597.97	0.1590	A
5	31.06	2.8770	1000.00	0.1976	A, B, C
6	35.50	2.5267	574.14	0.2400	A, B
7	36.48	2.4610	446.68	0.4000	A, B, C
8	43.22	2.0916	179.36	0.2262	C
9	52.20	1.7509	185.19	0.1973	B, C, D
10	60.84	1.5213	273.38	0.2400	C
11	62.66	1.4814	289.15	0.3535	C, D
12	66.88	1.3978	160.06	0.2342	B, C
13	69.38	1.3535	57.44	0.0724	C

Integrated Profile Areas

Based on calculated profile

Profile area Counts Amount

Overall diffraction profile 3172083 100.00%

Background radiation 3045202 96.00%

Diffraction peaks 126881 4.00%

Peak area belonging to selected phases 46795 1.48%

Peak area of phase A (Antigorite) 16005 0.50%

Peak area of phase B (Lizardite-2H1) 17822 0.56%

Peak area of phase C (Talc) 10889 0.34%

Peak area of phase D (Quartz) 2078 0.07%

Unidentified peak area 80086 2.52%

Peak Residuals

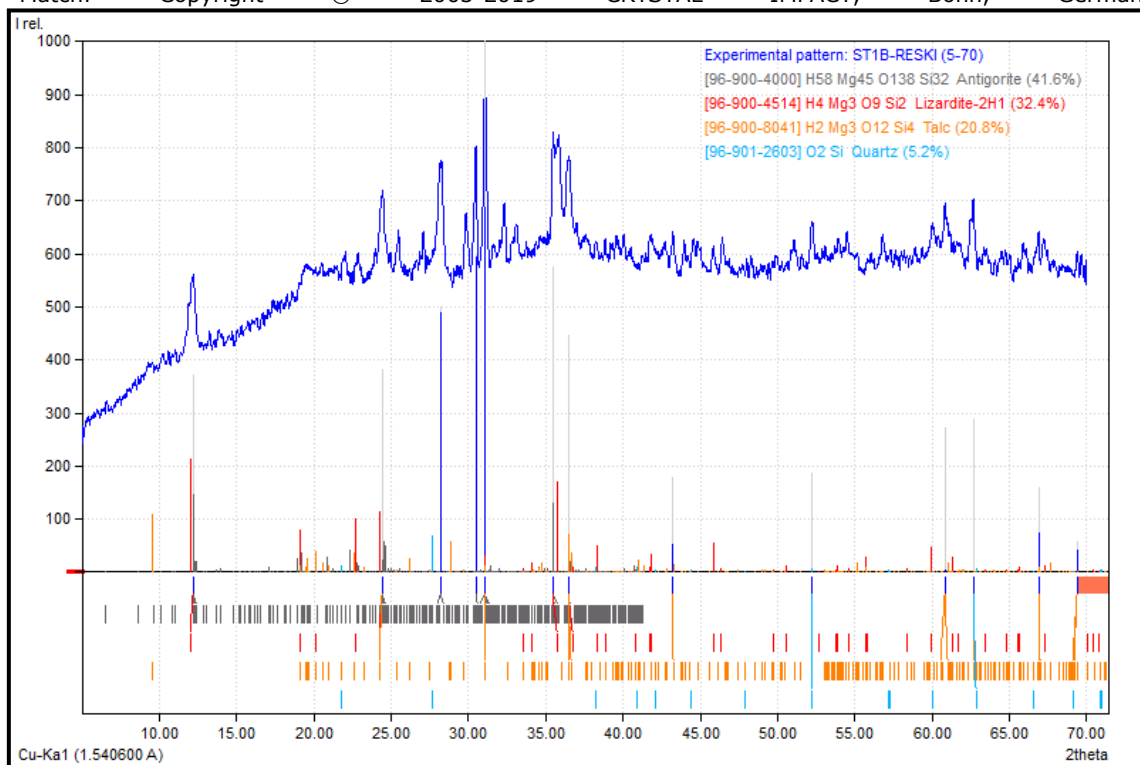
Peak data Counts Amount

Overall peak intensity 1230 100.00%

Peak intensity belonging to selected phases 954 77.53%

Unidentified peak intensity 276 22.47%

Match! Copyright © 2003-2019 CRYSTAL IMPACT, Bonn, Germany



Match! Phase Analysis Report

Sample: ST2-RESKI (5-70)

Sample Data

File name ST2-RESKI.ORG
File path C:/Users/ASUS/Downloads/data xrd mentah/ST2-RESKI
Data collected Aug 31, 2020 12:46:16
Data range 5.000° - 70.000°
Original data range 5.000° - 70.000°
Number of points 3251
Step size 0.020
Rietveld refinement converged No
Alpha2 subtracted No
Background subtr. No
Data smoothed Yes
Radiation X-rays
Wavelength 1.540600 Å

Matched Phases

Index Amount (%) Name Formula sum

A 79.4 Antigorite-T Mg₄₈ O₁₄₇ Si₃₄
B 14.2 Lizardite-2H1 H₄ Mg₃ O₉ Si₂
C 5.4 Quartz O₂ Si
D 1.0 Trimagnesium dihydroxide phyllo-tetrasilicate Talc 2MH₂ Mg₃ O₁₂ Si₄

2.6 Unidentified peak area

A: Antigorite-T (79.4 %)

Formula sum Mg₄₈ O₁₄₇ Si₃₄
Entry number 96-901-6234
Figure-of-Merit (FoM) 0.704626
Total number of peaks 498
Peaks in range 498
Peaks matched 20
Intensity scale factor 0.56
Space group P 1
Crystal system triclinic (anorthic)
Unit cell a= 43.5000 Å b= 9.2300 Å c= 7.2700 Å $\alpha = 90.000^\circ$ $\beta = 92.000^\circ$ $\gamma = 84.750^\circ$
I/Ic 0.97

Calc. density 2.557 g/cm³

Reference Dodony I., Posfai M., Buseck P. R., "Revised structure models for antigorite: An HRTEM study" Note: n = 17",

American Mineralogist **87**, 1443-1457 (2002)

B: Lizardite-2H1 (14.2 %)

Formula sum H₄ Mg₃ O₉ Si₂
Entry number 96-900-4514
Figure-of-Merit (FoM) 0.643426
Total number of peaks 86
Peaks in range 37
Peaks matched 7
Intensity scale factor 0.16
Space group P 63 c m
Crystal system hexagonal
Unit cell a= 5.3450 Å c= 14.6620 Å
I/Ic 1.53

Calc. density 2.537 g/cm³

Reference Guggenheim S., Zhan W., "Effect of temperature on the structures of lizardite-1T and lizardite-2H1" Sample: T =

475 C", The Canadian Mineralogist **36**, 1587-1594 (1998)

C: Quartz (5.4 %)

Formula sum O2 Si
 Entry number 96-901-2606
 Figure-of-Merit (FoM) 0.700314
 Total number of peaks 29
 Peaks in range 14
 Peaks matched 3
 Intensity scale factor 0.10
 Space group P 31 2 1
 Crystal system trigonal (hexagonal axes)
 Unit cell a= 4.5350 Å c= 5.1700 Å
 I/Ic 2.70
 Calc. density 3.251 g/cm³
 Reference Hazen R. M., Finger L. W., Hemley R. J., Mao H. K., "High-pressure crystal chemistry and amorphization of alpha-quartz Locality: synthetic Sample: P = 12.5 GPa", Solid State Communications **72**, 507-511 (1989)

D: Trimagnesium dihydroxide phyllo-tetrasilicate Talc 2M (1.0 %)

Formula sum H2 Mg3 O12 Si4
 Entry number 96-101-1153
 Figure-of-Merit (FoM) 0.256122
 Total number of peaks 297
 Peaks in range 182
 Peaks matched 14
 Intensity scale factor 0.01
 Space group C 1 2/c 1
 Crystal system monoclinic
 Unit cell a= 5.2600 Å b= 9.1000 Å c= 18.8100 Å β = 100.080 °
 I/Ic 1.32
 Calc. density 2.834 g/cm³
 Reference Gruner J W, "The crystal structures of talc and pyrophyllite.", Zeitschrift fuer Kristallographie, Kristallgeometrie, Kristallphysik, Kristallchemie (-144, 1977) **88**, 412-419 (1934)

Candidates

Name Formula Entry No. FoM

Se 0 F2 F2 0 Se 96-403-1234 0.7844
 H0.9 Na0.22 O2.45 Ru 96-431-0643 0.7527
 D4 O7 P V 96-151-7988 0.7452
 Cs0.069 W O3 Cs0.137778 O4 W1.11111 96-152-4790 0.7437
 Nepouite H4 Mg0.24 Ni2.76 O9 Si2 96-154-8975 0.7363
 K2 Mo9 S11 96-432-2281 0.7341
 scandium dirubidium pentadecamolybdenum nonadecasulfide Mo15 Rb2 S19 Sc0.43 96-201-8477 0.7307
 bismut ammonium oxalate hydrate C4 Bi N O11.7 96-431-0397 0.7295
 Volborthite Cu3 H6 O11 V2 96-901-4305 0.7245
 Volborthite Cu3 H6 O11 V2 96-901-6229 0.7228
 H14 K0.778 Mn1.216 O25.94 S2 U496-901-0644 0.7223
 Volborthite Cu3 H6 O11 V2 96-901-5722 0.7215
 (V O) (P O4) (H2 O)2 H4 O7 P V 96-153-0879 0.7181
 K2 Mo9 S11 96-432-2278 0.7178
 Cu2 K1.8 Mo9 S11 96-432-2280 0.7133
 C17.5 H0 Fe N10 O0.5 96-705-2298 0.7127
 Iron Fluoride F3 Fe 96-210-0654 0.7102
 Na2 O13 Si5 Ti 96-711-0494 0.7096
 indium silver telluride Ag0.8 In2.4 Te4 96-152-0110 0.7028
 C4 B C12 F4 N2 S4 96-411-6446 0.7015
 Ba9 F10 In4 S10 96-721-4226 0.7015
 Volborthite Cu3 H6 O11 V2 96-901-5495 0.7012
 H20 Mo6 N4 O24 Te 96-432-1864 0.7004

Tm2 S3 S3 Tm2 96-153-7164 0.6967
 Ca Mg2 Bi2 Bi2 Ca Mg2 96-722-1204 0.6942
 Spangolite Al Cl Cu6 H15 O19 S 96-900-1548 0.6940
 Cs2ReF6 Cs2 F6 Re 96-224-2483 0.6917
 Volborthite Cu3 H6 O11 V2 96-900-9757 0.6905
 meta-schoepite H16 O20 U4 96-210-2097 0.6879
 Metaschoepite H34 O40 U8 96-901-1299 0.6879
 Ca Mn Si 96-153-9706 0.6875
 Volborthite Cu3 H6 O11 V2 96-900-9756 0.6865
 C30 H46 N4 S2 96-402-9135 0.6864
 Tricopper divanadate dihydroxide dihydrate (Volborthite) Cu3 H6 O11 V2 96-100-0138 0.6862
 Na8 (Al4 Be Si7 O24) Br2 Al4 Be Br2 Na8 O24 Si7 96-703-5748 0.6845
 Metaschoepite H34 Na1.16 O37.9 U8 96-901-0198 0.6845
 Copper divanadate dihydroxide dihydrate (Volborthite) Cu3 H6 O11 V2 96-100-0139 0.6843
 Volborthite Cu3 H6 O11 V2 96-201-8527 0.6841
 As Na Nb4 O13 96-403-0922 0.6839
 Metaschoepite H34 Na0.47 O37.082 U8 96-901-0199 0.6827
 Potassium silver tetraniohium nonaoxide arsenate Ag0.2 As K0.8 Nb4 O13 96-221-8403 0.6824
 Zippeite H27 Na5 O52 S4 U8 96-900-4756 0.6824
 Na (H3 O) (Mo3 O10) H3 Mo3 Na O11 96-152-6957 0.6821
 H3 O9 P3 Sc2 96-810-0496 0.6813
 K Nb4 As O13 As K Nb4 O13 96-153-0043 0.6799
 Gobbinsite Al2.8 Ca0.47 H12 Na2 O22 Si5.2 96-900-9491 0.6796
 Bementite Mn6.683 O23 Si6 96-900-1585 0.6782
 Antigorite-T Mg48 O147 Si34 96-901-6234 0.6768
 C8 H4 Fe N6 Pd S4 96-433-0734 0.6762
 Li3 Eu2 (B O3)3 B3 Eu2 Li3 O9 96-151-0909 0.6751
 (U O2) ((Mo O4) (H2 O)) (H2 O)1.45 H4.9 Mo 08.45 U 96-152-1823 0.6739
 Metaschoepite H32 Na1.22 O39.09 U8 96-901-0197 0.6721

and 251 others...

Search-Match

Settings

Reference database used COD-Inorg REV214414 2019.03.29
 Automatic zeropoint adaptation Yes
 Minimum figure-of-merit (FoM) 0.60
 2theta window for peak corr. 0.30 deg.
 Minimum rel. int. for peak corr. 1
 Parameter/influence 2theta 0.50
 Parameter/influence intensities 0.50
 Parameter multiple/single phase(s) 0.50

Criteria for entries added by user

Reference:

Entry number: 96-900-0849;96-900-1092;96-900-1093;96-900-1639;96-900-1640;96-900-1779;96-900-1883;96-900-4509;96-900-4510;96-900-4511;96-900-4512;96-900-4513;96-900-4514;96-900-4994;96-900-4995;96-900-7425;96-901-4665;96-901-5164;96-901-5487;96-901-5581;96-901-6051;96-901-6148;96-900-3104;96-900-4000;96-900-4515;96-901-4626;96-901-5975;96-901-6234;96-101-1153;96-300-0049;96-900-8041;96-900-8298;96-900-8732;96-901-4436;96-101-1098;96-101-1160;96-101-1173;96-101-1177;96-101-1201;96-110-0020;96-500-0036;96-900-0776;96-900-0777;96-900-0778;96-900-0779;96-900-0780;96-900-0781;96-900-5018;96-900-5019;96-900-5020;96-900-5021;96-900-5022;96-900-5023;96-900-5024;96-900-5025;96-900-5026;96-900-5027;96-900-5028;96-900-5029;96-900-5030;96-900-5031;96-900-5032;96-900-5033;96-900-

5034;96-900-7379;96-900-8093;96-900-8094;96-900-9667;96-901-0145;96-901-0146;96-901-0147;96-901-1494;96-901-1495;96-901-1496;96-901-1497;96-901-2601;96-901-2602;96-901-2603;96-901-2604;96-901-2605;96-901-2606;96-901-3322;96-901-5023

Peak List

No. 2theta [°] d [Å] I/I0 FWHM Matched

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I0	FWHM	Matched
1	12.20	7.2489	1000.00	0.4373	A, B
2	24.56	3.6217	825.89	0.5613	A, B, D
3	28.62	3.1165	213.05	0.2495	A, C, D
4	35.48	2.5281	200.24	0.6400	A, B
5	41.80	2.1593	41.83	0.4483	B, C
6	45.04	2.0112	58.16	0.3440	D
7	59.14	1.5609	67.44	0.3200	C, D
8	60.16	1.5369	98.20	0.6400	B, D
9	64.84	1.4368	40.39	1.0371	B, D
10	68.70	1.3652	31.02	0.5460	D

Integrated Profile Areas

Based on calculated profile

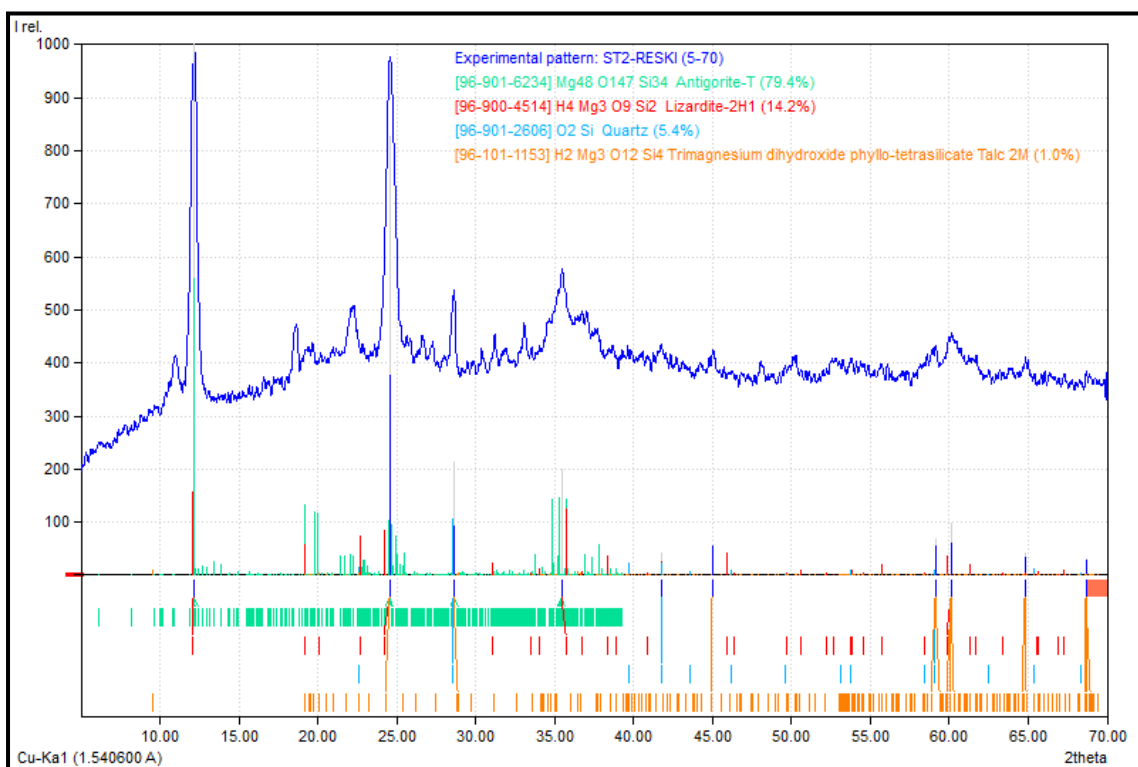
Profile area Counts Amount

Overall diffraction profile 2920412 100.00%
 Background radiation 2728366 93.42%
 Diffraction peaks 192045 6.58%
 Peak area belonging to selected phases 114976 3.94%
 Peak area of phase A (*Antigorite-T*) 81706 2.80%
 Peak area of phase B (*Lizardite-2H1*) 24372 0.83%
 Peak area of phase C (*Quartz*) 6977 0.24%
 Peak area of phase D (*Trimagnesium dihydroxide phyllo-tetrasilicate Talc 2M*) 1921 0.07%
 Unidentified peak area 77070 2.64%

Peak Residuals

Peak data Counts Amount

Overall peak intensity 2565 100.00%
 Peak intensity belonging to selected phases 1974 76.97%
 Unidentified peak intensity 591 23.03%



LAMPIRAN D
DESKRIPSI MINERAL

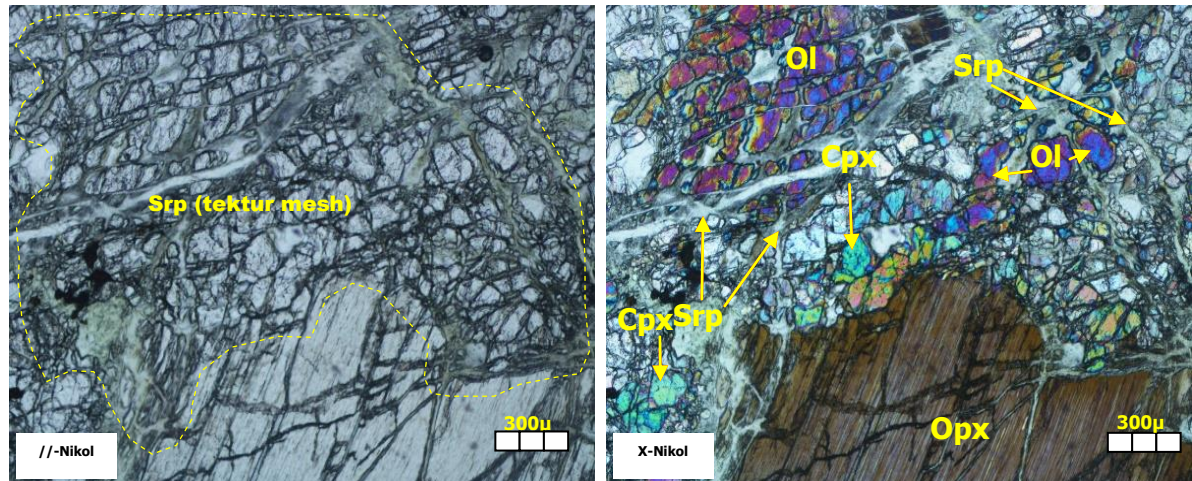
No Sampel : 01

Nama Batuan : Harsburgit

Tipe Batuan : Batuan Beku

Klasifikasi : IUGS (2011)

Foto



Mikroskopis :

Sayatan batuan beku ini abu-abu kehitaman pada nikol sejajar, orange kebiruan pada nikol silang. adapun mineral penyusunnya olivin, piroksin, dan serpentin.

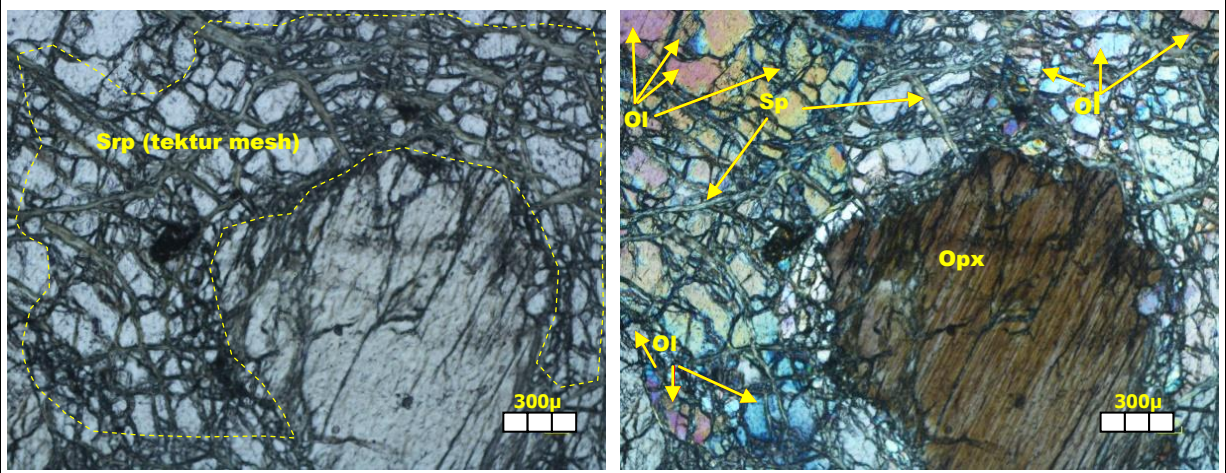
Deskripsi Mineralogi

Komposisi Mineral	Jumlah (%)	Keterangan Optik Mineral
Olivin	64	Pada nikol sejajar berwarna abu-abu terang dan nikol silang berwarna orange-ungu, bentuk subhedral-anhedral, belahan tidak ada, pecahan tidak rata, pleokroisme dwikroik dengan sudut gelapan 25°.
Ortopiroksen	21	Pada nikol sejajar abu-abu gelap dan nikol silang berwarna krem-kekuningan, bentuk kristal ortorombik, sudut gelapan 5°-17°, belahan dua arah, pecahan tidak rata, pleokroisme dwikroik
Serpentin	10	Pada nikol sejajar abu-abu kehitaman dan pada nikol silang berwarna putih-abu-abu, bentuk anhedral dan berbentuk vein
Klinopiroksen	5	Pada nikol sejajar berwarna abu-abu dan pada nikol silang berwarna hijau kebiruan, bentuk anhedral, pecahan tidak rata, sudut gelapan 0°

No Sampel : 02 Nama Batuan : **Harsburgit**

Tipe Batuan : Batuan Beku

Klasifikasi : IUGS (2011)
Foto



Mikroskopis :
Sayatan batuan beku ini abu-abu kehitaman pada nikol sejajar, orange kebiruan pada nikol silang. adapun mineral penyusunnya olivin, piroksin, dan serpentin.

Deskripsi Mineralogi

Komposisi Mineral	Jumlah (%)	Keterangan Optik Mineral
Olivin	69	Pada nikol sejajar berwarna abu-abu terang dan nikol silang berwarna orange-ungu, bentuk subhedral-anhedral, belahan tidak ada, pecahan tidak rata, pleokroisme dwikroik dengan sudut gelap 25°.
Ortopiroksen	21	Pada nikol sejajar abu-abu gelap dan nikol silang berwarna krem-kekuningan, bentuk kristal ortorombik, sudut gelap 5°-17° , belahan dua arah, pecahan tidak rata, pleokroisme dwikroik
Serpentin	10	Pada nikol sejajar abu-abu kehitaman dan pada nikol silang berwarna putih-abu-abu, bentuk anhedral dan berbentuk vein

