

SKRIPSI

**ESTIMASI SUMBER DAYA TERUKUR NIKEL LATERIT DENGAN
METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHT* (IDW) KABUPATEN KONAWE
UTARA, PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

Disusun dan diajukan oleh

**LARASATI PRASETIA ANDI LOLO
D061181326**



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

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**ESTIMASI SUMBER DAYA TERUKUR NIKEL LATERIT DENGAN
METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHT* (IDW) KABUPATEN
KONAWA UTARA, PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

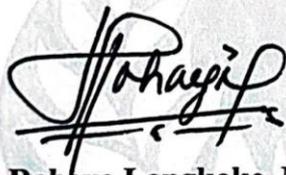
Disusun dan diajukan oleh

**LARASATI PRASETIA ANDI LOLO
D061181326**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 31 Mei 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Rohaya Langkoke, M.T
NIP. 19581210 198601 2 001

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Kaharuddin MS, M.T
NIP. 19560421 198609 1 001

Mengetahui

Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Larasati Prasetya Andi Lolo
NIM : D061181326
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan bahwa karya tulis saya yang berjudul

**“ESTIMASI SUMBER DAYA TERUKUR NIKEL LATERIT DENGAN
METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHT* (IDW) KABUPATEN KONAWE
UTARA, PROVINSI SULAWESI TENGGARA”**

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

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

Makassar, Juni 2023

Yang menyatakan



Larasati Prasetya Andi Lolo

SARI

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam blok X pada Wilayah Izin Pertambangan (WIUP) PT. Karya Alam Abadi di Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Secara astronomis terletak pada posisi $122^{\circ} 22' 9,4''$ BT - $122^{\circ} 21' 20,9''$ BT dan $3^{\circ} 23' 27,28''$ LS - $3^{\circ} 23' 53,86''$ LS. Penelitian dengan judul “Estimasi Sumber Daya Terukur Nikel Laterit Dengan Metode *Inverse Distance Weight* (IDW) pada Blok X PT. Karya Alam Abadi Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara” dimaksudkan untuk mengetahui distribusi dan estimasi sumber daya terukur Ni laterit pada daerah penelitian. Metode yang digunakan dalam penentuan distribusi dan estimasi sumber daya terukur Ni laterit yaitu *Metode Inverse Distance Weight* (IDW).

Hasil analisis petrografi menunjukkan litologi penyusun daerah penelitian adalah *Lherzolite* (Streckeinsen, 1976). Dari interpolasi 82 titik bor, diperoleh kesimpulan bahwa distribusi kadar Ni cukup tinggi ($\text{COG} \geq 1.2\%$) terdistribusi dominan di bagian tengah hingga utara dan beberapa titik di bagian timur hingga tenggara daerah penelitian, sedangkan Ni kadar rendah ($<1.2\%$) terdistribusi di bagian barat daya hingga barat laut daerah penelitian. Berdasarkan pemodelan *ore* terdistribusi di bagian tengah hingga utara daerah penelitian pada lapisan limonit dengan tebal 2 – 4 m sedangkan pada lapisan saprolit ketebalan berkisar 6 – 12 m. *Waste* pada lapisan limonit dengan tebal 5 – 10 m sedangkan pada saprolit 4 – 7 m. Pemodelan distribusi Ni dengan metode IDW pada daerah penelitian diperoleh volume sumber daya terukur Ni sebesar $1.196.450 \text{ m}^3$ yang kemudian dikalikan dengan nilai densitas tiap lapisan (limonit dan saprolit) dan diperoleh tonase sumber daya terukur Ni sebesar $1.854.500 \text{ M/T}$ dengan kadar Ni rata-rata 1,39%.

Kata Kunci : Sumber Daya Terukur, IDW, *Ore*, *Waste*

ABSTRACT

Administratively the research area is included in block X on the Wilayah Permit Pertambangan (WIUP) PT. Alam Abadi Works in North Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province. It is astronomically located at a position of 122° 22' 9.4" BT - 122° 21' 20.9" BT and 3° 23' 27.28" LS - 3° 23' 53.86" LS. The study entitled "Estimated Measurable Resources of Laterite Nickel With Inverse Distance Weight (Idw) Method p there is Block X PT. Karya Alam Abadi Kabupaten Konawe Utara, Sulawesi Tenggara Province" is intended to determine the distribution and estimation of measurable resources of Ni laterite in the research area. The method used in determining the distribution and estimation of Ni laterite measured resources is the Inverse Distance Wiegth (IDW) Method.

The results of the petrographic analysis showed that the lithology that made up the study area was Lherzolite (Streckeinsen, 1976). From the interpolation of 82 drill points, it was concluded that the distribution of fairly high Ni content (COG \geq 1.2%) was distributed dominantly in the central to the north and several points in the east to southeastern part of the study area, while low Ni content (<1.2%) was distributed in the southwest to northwest of the study area. Based on the modeling, ore is distributed in the central to northern parts of the study area in limonite layers with a thickness of 2 – 4 m while in saprolite layers the thickness ranges from 6 – 12 m. Waste is in the limonite layer with a thickness of 5 – 10 m while in saprolite it is 4 – 7 m. Modeling the distribution of Ni using the IDW method in the study area obtained a measured volume of Ni resources of 1,196,450 m³ which was then multiplied by the density values of each layer (limonite and saprolite) and obtained a measured tonnage of Ni resources of 1,854,500 M/T with Ni content. an average of 1.39%.

Keywords : *Measurable Resources, IDW, Ore, Waste*

KATA PENGANTAR

Salam sejahtera, Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan yang Maha Esa yang senantiasa memberikan limpahan kasih, dan berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Estimasi Sumber Daya Terukur Nikel Laterit Dengan Metode *Inverse Distance Weight* (IDW) Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara”** dapat diselesaikan dengan lancar, hanya oleh karna kasih dan penyertaan-Nya, laporan ini dapat selesai.

Pada kesempatan ini, tak lupa penulis ucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak, di antaranya:

1. Ibu Dr. Ir. Rohaya Langkoke, M.T sebagai Dosen pembimbing skripsi yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga selama memberikan bimbingan dalam pengerjaan laporan ini.
2. Bapak Dr. Ir. Kaharuddin MS, M.T sebagai Dosen pembimbing sekaligus penasehat akademik yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaganya selama memberikan bimbingan akademik maupun pengerjaan laporan ini.
3. Ibu Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T. dan Bapak Baso Rezki Maulana, S.T., M.T. sebagai Dosen penguji yang telah memberikan arahan dan masukan demi perbaikan hasil laporan penulis kedepannya.
4. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. P.T. Karya Alam Abadi yang telah menerima kami untuk melaksanakan Kerja praktek dan pengambilan data tugas akhir.

6. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bimbingan dan nasehatnya.
7. Staf Jurusan Teknik Geologi Universitas Hasanuddin, atas bantuannya dalam pengurusan administrasi penelitian.
8. Kedua Orang Tua penulis, yang tiada henti-hentinya memberikan penulis segala bentuk dukungan, baik berupa dukungan moril ataupun material.
9. Saudari Nurrahmani Parakassi ,Saudara Andi Ahmad Abdillah Hikmah, Muh. Gazali Umar, Rifyan Sabaruddin, Samuel Elnas Minggu Saleh, Van Wihel Okrian Moncai dan Kak Muh. Ihsan dalam hal ini membantu dalam pengambilan dan pengolahan data serta menjadi teman diskusi bagi penulis dalam penusunan laporan Tugas Akhir ini.
10. Rekan – rekan Xenolith yang saya kasihi dan banggakan atas saran dan bantuannya selama ini.
11. HMG-FT UH sebagai wadah pembelajaran selama penulis menjadi mahasiswa
12. Teruntuk Kakak Ikhwan Rasyidin Hadi Abbas terima kasih atas semangat dan support kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
13. Semua rekan yang telah membantu penulis sampai saat ini dan belum sempat disebutkan. Terima kasih untuk segala bantuan dan semangat serta motivasi yang kalian berikan.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam pembuatan laporan ini memiliki banyak kekurangan. Oleh karenanya, berbagai bentuk kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga laporan ini bermanfaat khususnya bagi para pembaca.

Akhir kata Penulis memohon maaf kepada semua pihak apabila terdapat kesalahan kata dalam laporan ini dan semoga laporan ini dapat berguna bagi semua pihak yang menggunakannya.

Makassar, Juni 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
SARI.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Letak, Waktu, dan Kesampaian Daerah.....	2
1.6 Manfaat penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Geologi Regional.....	5
2.1.1 Morfologi	5
2.1.2 Stratigrafi.....	6
2.1.3 Struktur Geologi.....	10
2.1.4 Tektonik.....	11
2.2 Batuan Ultramafik.....	12

2.3	Nikel Laterit.....	15
2.4	Pemodelan dan Perhitungan Sumber Daya.....	22
2.5	IDW (<i>Inverse Distance Weight</i>).....	25
2.6	Model Blok.....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		28
3.1	Tahapan Penelitian.....	28
3.1.1	Tahapan Observasi Lapangan.....	28
3.1.2	Tahapan Pengumpulan Data.....	28
3.1.3	Tahapan Analisis Data.....	29
3.1.4	Tahapan Penyusunan Laporan.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		32
4.1	Geologi Daerah Penelitian.....	32
4.1.1	Morfologi.....	33
4.1.2	Litologi.....	33
4.1.3	Struktur Geologi.....	35
4.2	Profil Endapan Nikel Laterit Daerah Penelitian.....	36
4.3	Pola Distribusi Ni pada Daerah Penelitian.....	38
4.4	Pemodelan dan Estimasi Sumber Daya Terukur.....	40
BAB V PENUTUP.....		48
5.1	Kesimpulan.....	48
5.2	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....		50
Lampiran 1 : Deskripsi Petrografi.....		53
Lampiran 2 : Peta Geologi		

Lampiran 3 : Peta Sebaran Titik Bor

Lampiran 4 : Peta Distribusi Kadar Ni

Lampiran 5 : Profil Laterit daerah penelitian

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Tunjuk Lokasi Daerah Penelitian.....	3
Gambar 2.1	Peta Geologi Regional Daerah Penelitian Lembar Lasusua- Kendari, Sulawesi (Rusmana dkk.,1993).....	5
Gambar 2.2	Peta Tektono-Stratigrafi Pulau Sulawesi (Kadarusman, 2004)...	12
Gambar 2.3	Diagram komposit topografi laterit (Ahmad, 2006).....	18
Gambar 2.4	Generalisasi profil laterit (Elias,2002).....	22
Gambar 2.5	Hubungan antara hasil eksplorasi, sumberdaya mineral, dan Cadangan.....	23
Gambar 2.6	Contoh dimensi hasil penaksiran dengan Model Blok	26
Gambar 3.1	Diagram Alir Metode dan Tahapan Penelitian.....	31
Gambar 4.1	Peta Geologi Daerah Penelitian	32
Gambar 4.2	Kenampakan Morfologi perbukitan bergelombang pada blok X dengan arah foto N80°E.....	33
Gambar 4.3	Kenampakan singkapan peridotit pada daerah penelitian dengan arah foto N110°E.....	34
Gambar 4.4	Kenampakan petrografis Lherzolit pada sayatan LPA/ST1 yang memperlihatkan kandungan mineral terdiri dari Olivine (olv), Klinopiroksin (Cpx), Orthopiroksin (Opx), dan mineral opak (Opq).....	35
Gambar 4.5	Struktur kekar pada litologi peridotit difoto kea arah N91°E	35
Gambar 4.6	Kenampakan <i>layer</i> Limonit terdiri atas (A) <i>red limonite</i> dan (B) <i>yellow limonit</i> pada titik pengeboran IB.08.01.....	36
Gambar 4.7	Kenampakan <i>layer</i> Saproilit pada titik pengeboran IB.02.01	37
Gambar 4.8	Kenampakan <i>bedrock</i> pada titik pengeboran IB.04.03.....	37

Gambar 4.9 Contoh Profil laterit pada daerah penelitian.....	38
Gambar 4.10 Distribusi Ni menggunakan Metode IDW.....	40
Gambar 4.11 Kenampakan 3D Topografi dan sebaran titik bor berdasarkan ketinggian.....	41
Gambar 4.12 Pemodelan 3D sebaran Ni pada lapisan limonit dengan data logging spasi 50 meter.....	41
Gambar 4.13 Pemodelan 3D sebaran Ni pada lapisan saprolit dengan data logging spasi 50 meter.....	42
Gambar 4.14 Pemodelan 2D sebaran Ni pada lapisan limonit dengan data logging spasi 50 meter.....	42
Gambar 4.15 Kenampakan Vertikal Sebaran Ni pada lapisan limonit section A-B.....	42
Gambar 4.16 Pemodelan 2D sebaran Ni pada lapisan saprolit dengan data logging spasi 50 meter.....	43
Gambar 4.17 Kenampakan Vertikal Sebaran Ni pada lapisan saprolit section A-B.....	43
Gambar 4.18 Pemodelan 3D sebaran <i>Ore</i> dan <i>Waste</i> pada lapisan limonit dengan data logging spasi 50 meter.....	44
Gambar 4.19 Pemodelan 2D sebaran <i>Ore</i> dan <i>Waste</i> pada lapisan limonit dengan data logging spasi 50 meter.....	44
Gambar 4.20 Kenampakan Vertikal sebaran <i>Ore</i> dan <i>Waste</i> pada lapisan limonit <i>section</i> A-B.....	44
Gambar 4.21 Pemodelan 3D sebaran <i>Ore</i> dan <i>Waste</i> pada lapisan saprolit dengan data logging spasi 50 meter.....	45
Gambar 4.22 Pemodelan 2D sebaran <i>Ore</i> dan <i>Waste</i> pada lapisan saprolit dengan data logging spasi 50 meter.....	46
Gambar 4.23 Kenampakan Vertikal sebaran <i>Ore</i> dan <i>Waste</i> pada lapisan saprolit <i>section</i> A-B.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Rumus pembobotan (w).....	27
Tabel 4.1	Kadar rata-rata Ni pada lapisan limonit dan saprolit pada daerah penelitian.....	38
Tabel 4.2	Estimasi Sumber Daya Terukur daerah penelitian.....	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan salah satu komoditas tambang paling penting di dunia. Nikel umumnya diproduksi menjadi beberapa jenis seperti logam halus, bubuk, spons, dan lain-lain. Dari beberapa jenis tersebut, lebih dari 60% digunakan sebagai bahan baku pembuatan baja tahan karat atau *stainless steel*. Nikel memiliki dua jenis endapan yaitu nikel laterit dan nikel sulfida dimana jumlah cadangan endapan nikel laterit dunia sebesar 70% dan endapan nikel sulfida 30%, namun sampai saat ini jumlah produksi nikel dunia 58% masih berasal dari endapan nikel sulfida sedangkan jumlah produksi dari endapan nikel laterit hanya 42% (Sukandarrumidi, 2007).

Penaksiran sumberdaya merupakan sebuah langkah kuantifikasi formal terhadap suatu material yang keterdapatannya secara alamiah. Penaksiran dilakukan dengan berbagai metode/prosedur didasarkan pada pertimbangan empiris maupun teoritis. Volume, tonase, kadar dan kuantitas mineral merupakan atribut - atribut (variabel/parameter) umum yang diperhitungkan. Untuk mendapatkan informasi yang lengkap dan akurat mengenai sumber daya maupun kondisi geologi suatu endapan, maka suatu kegiatan eksplorasi perlu dilakukan pemodelan dan perhitungan sumber daya. Tonase endapan nikel laterit dari suatu daerah dapat diestimasi dengan menggunakan berbagai metode antara lain metode IDW (*Inverse Distance Weight*), metode AOI (*Area of Influence*) serta metode Kriging.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada perhitungan sumber daya Nikel Laterit menggunakan metode IDW (*Inverse Distance Weight*) pada daerah penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pemodelan sebaran Nikel Laterit pada daerah penelitian?
2. Berapakah sumberdaya terukur Nikel Laterit pada daerah penelitian?

1.3 Maksud dan Tujuan

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

1. Membuat pemodelan sebaran Nikel Laterit pada daerah penelitian.
2. Menentukan sumberdaya terukur Nikel Laterit pada daerah penelitian.

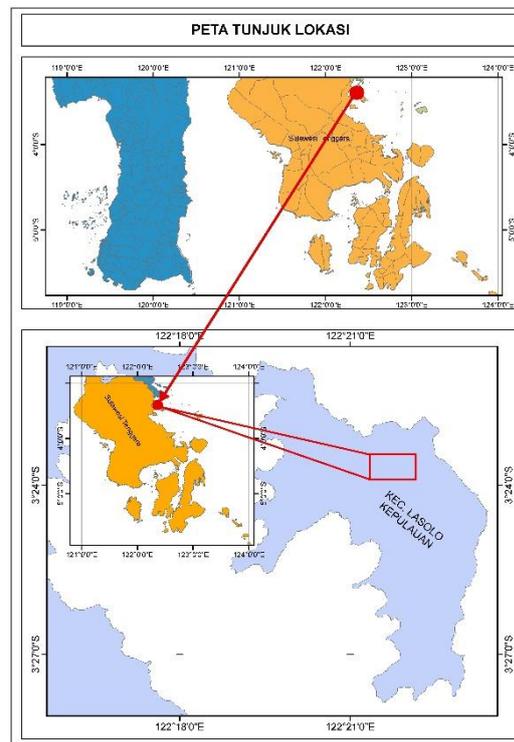
1.4 Batasan Masalah

Penelitian difokuskan untuk mengetahui distribusi serta perhitungan estimasi sumber daya nikel laterit dengan metode IDW (*Inverse Distace Weight*) pada Blok X PT. Karya Alam Abadi, Konawe Utara, Sulawesi Tenggara.

1.5 Waktu dan Lokasi Daerah Penelitian

Penelitian dilakukan selama waktu kerja praktik berlangsung yang berjalan kurang lebih 2 bulan. Wilayah Izin Usaha Pertambangan (WIUP) PT. Karya Alam Abadi, secara administratif daerah penelitan berlokasi di Desa

Waturambaha, Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Secara astronomis lokasi penelitian terletak pada koordinat $122^{\circ} 22' 9,4''$ BT - $122^{\circ} 21' 20,9''$ BT dan $3^{\circ} 23' 27,28''$ LS - $3^{\circ} 23' 53,86''$ LS. Lokasi kerja praktik dapat ditempuh dengan melalui jalur udara dan darat. Perjalanan dari Makassar ditempuh dengan menggunakan pesawat ke Kota Kendari dengan waktu tempuh ± 45 menit dan dilanjutkan dengan perjalanan darat dari Kota Kendari ke Desa Waturambaha berjarak ± 7 jam dengan menggunakan mobil. Peta tunjuk lokasi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1.1 Peta Tunjuk Lokasi Daerah Penelitian

1.6 Manfaat Penelitian

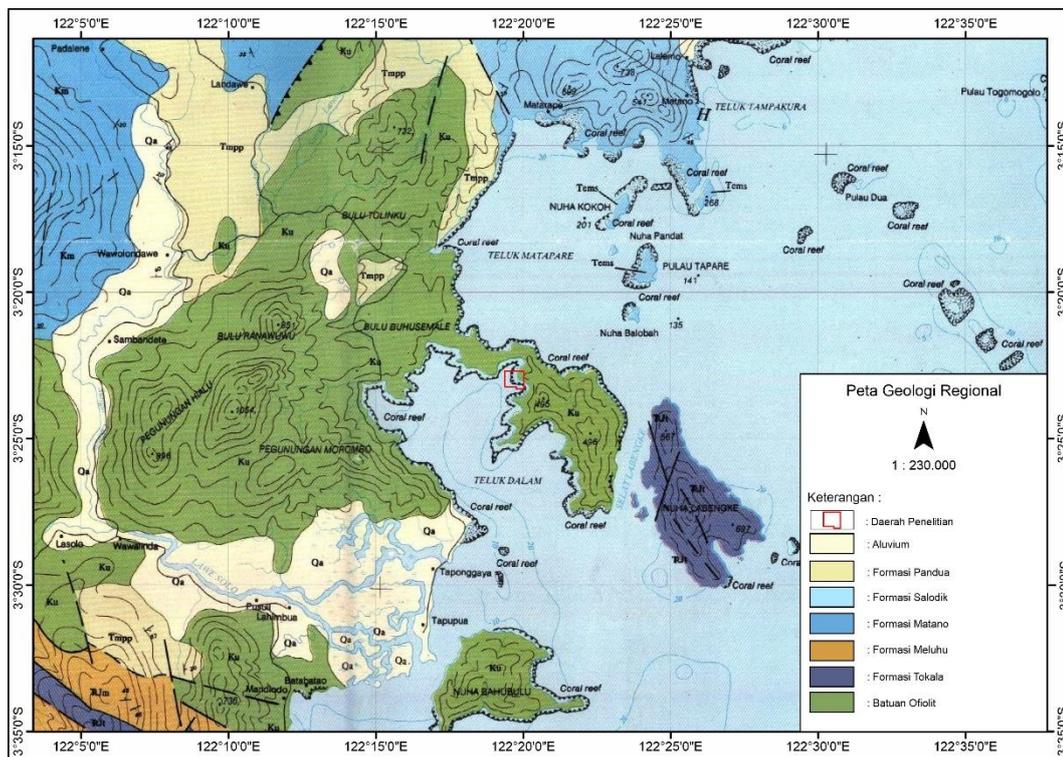
Manfaat dari penelitian ini secara umum sebagai acuan pada tahapan eksplorasi secara efektif serta evaluasi terhadap proses yang dilakukan dalam

perhitungan estimasi sumber daya di blok lainnya dan mengaplikasikan teori-teori yang dijumpai di bangku perkuliahan dan dunia kerja.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Pembahasan geologi regional terdiri dari penjelasan mengenai stratigrafi, tektonika, dan struktur geologi regional. Pembahasan tersebut berdasarkan (Rusmana dkk.,1993) yang melakukan pemetaan geologi Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi dengan skala 1 : 250.000.



Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Daerah Penelitian Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi (Rusmana dkk.,1993)

2.1.1 Morfologi

Van Bemmelen (1949) membagi lengan Tenggara Sulawesi menjadi tiga bagian: ujung utara, bagian tengah, dan ujung selatan. Kabupaten Konawe Utara memanjang dari Utara Barat dengan topografi yang sangat kontras antara bagian

barat dengan bagian timur. Berdasarkan bentuk bentang alamnya (morfologinya) Kabupaten Konawe dan Kabupaten Konawe Utara memiliki topografi topografi permukaan permukaan yang pada umumnya pada umumnya bergunung, bergelombang dan berbukit yang mengelilingi dataran rendah

2.1.2 Stratigrafi

Formasi batuan penyusun lembar Lasusua-Kendari dari yang paling muda adalah sebagai berikut:

Aluvium (Qa) terdiri atas kerikil, kerakal, pasir lempung dan lumpur. Satuan ini merupakan hasil dari endapan sungai, rawa dan endapan pantai. Umur satuan ini adalah holosen.

Terumbu Korall Kwartir (Ql) merupakan batugamping terumbu dengan kandungan fosil berupa ganggang dan cangkang moluska. Umur dari satuan ini adalah Plistosen-Holosen dan terendapkan pada lingkungan laut dangkal

Formasi Alangga (Qpa) terdiri atas batupasir dan konglomerat. Umur dari formasi ini adalah Plistosen dan lingkungan pengendapannya pada daerah darat-payau. Formasi ini menindih tak selaras formasi yang lebih tua yang masuk kedalam kelompok molasa sulawesi.

Formasi Pandua (Tmpp) terdiri atas konglomerat, batupasir dan batulempung dengan sisipan lanau. Umur dari formasi ini adalah Miosen Akhir sampai Pliosen.

Formasi Salodik (Tems) terdiri atas kalsilitit dan batugamping oolit. Kalsilitit, berwarna putih kelabu sampai kelabu, berbutir halus, padat, perlapisan baik, dengan tebal tiap lapisan antara 10 dan 30 cm.

Berdasarkan kandungan fosil *Globorotalia sp.*, *Globigerina sp.*, *Chiloeinbelina sp.*, *Discocyclus sp.*, *Nummulites sp.*, *Operculina sp.*, *Globigerinoides altiapertura BOLLI*, *Globigerinoides trilobus (REUSS)*, *Globigerinoides immaturus LEROY*, *Globigerinoides sacculiferus (BRADY)*, *Globigerina Sp.*, *Globorotalia sp.*, *Praeorbulina sp.*, *Lepidocyclus sp.*, dan *Spiroclypeus sp.* dan napal *Globoquadrina altispira (CUSHMAN & JARVIS)*, *Sphaeroidinellopsis seminulina (SCHWAGER)*, *Globigerinoides immaturus LE ROY*, *Globigerinoides altiapertura BOLLI*, *Globigerinoides trilobus (REUSS)*, *Globigerina binaensis KOCH*, *Globigerina sp.* dan *Globigerinita sp.* (Budiman, 1980; hubungan tertulis), di dalam kalsilit, Formasi Salodik diduga berumur Eosen Akhir - Miosen Awal dengan lingkungan pengendapan pada laut dangkal dan terbuka. Tebal formasi ini diperkirakan sekitar 250 meter.

Formasi Matano (Km) terdiri atas kalsilit yang bersisipan dengan serpih dan rijang. Kalsilit, berbutir halus, berwarna kelabu, padat dan keras, lapisannya baik, tebal lapisan berkisar antara 10 - 15 cm. Serpih, berwarna kelabu, berlapis baik, padat. Tebal tiap lapisannya mencapai 5 cm. Rijang, berupa sisipan dalam batugamping dan napal. Tebal sisipan mencapai 10 cm, berwarna merah sampai coklat kemerahan. Berdasarkan kandungan fosil *Heterohelix sp.*, dalam kalsilit, dan *Radiolaria* dalam rijang, Formasi Matano diduga berumur Kapur Akhir dengan lingkungan pengendapan pada laut dalam. Tebal formasi ini diperkirakan sekitar 550 meter.

Batuan Ofiolit (Ku) terdiri atas peridotit, dunit dan serpentinit. Serpentinit berwarna kelabu tua sampai kehitaman; padu dan pejal. Batuannya bertekstur

afanitik dengan susunan mineral antigorit, lempung dan magnetit. Umumnya memperlihatkan struktur kekar dan cermin sesar yang berukuran megaskopis. Dunit, kehitaman; padu dan pejal, bertekstur afanitik. Mineral penyusunnya ialah olivin, piroksin, plagioklas, sedikit serpentin dan magnetit; berbutir halus sampai sedang. Mineral utama olivin berjumlah sekitar 90%. Tampak adanya penyimpangan dan pelengkungan kembaran yang dijumpai pada piroksin, mencirikan adanya gejala deformasi yang dialami oleh batuan ini. Di beberapa tempat dunit terserpentinkan kuat yang ditunjukkan oleh struktur sisa seperti rijang dan barik-barik mineral olivin dan piroksin, serpentin dan talkum sebagai mineral pengganti. Peridotit terdiri atas jenis harzburgit dan lherzolit. Harzburgit, hijau sampai kehitaman, holokristalin, padu dan pejal. Mineralnya halus sampai kasar, terdiri atas olivin (60%) dan piroksin (40%). Di beberapa tempat menunjukkan struktur perdaunan. Hasil penghabluran ulang pada mineral piroksin dan olivin mencirikan batas masing-masing kristal bergerigi. Lherzolite, hijau kehitaman; holokristalin, padu dan pejal. Mineral penyusunnya ialah olivin (45%), piroksin (25%), dan sisanya epidot, yakut, klorit, dan bijih dengan mineral berukuran halus sampai kasar. Satuan batuan ini diperkirakan berumur Kapur.

Formasi Meluhu (TRJm) terdiri atas batupasir, kuarsit, serpih hitam, serpih merah, filit, batusabak, batugamping dan batulanau. Batupasir telah termetamorfkan lemah, batugamping mengandung fosil *Halobia sp.* dan *Daonella sp.* Umur dari formasi ini adalah Trias Tengah sampai Jura. Formasi ini menindih tak selaras batuan malihan paleozoikum dan menjemari dengan formasi Tokala.

Formasi Tokala (TRJt) terdiri atas kalsilit, batugamping, batupasir, serpih

dan napal. Kalsilit berwana kelabu muda, kelabu sampai merah jambu, berbutir halus, sangat padu, serta memiliki perlapisan yang baik, dengan kekar yang diisi urat kalsit putih kotor. Umumnya telah mengalami pelipatan kuat; tidak jarang ditemukan sinklin dan antiklin, serta lapisan yang hampir tegak (melebihi 80 derajat). Setempat terdaunkan. Batugamping, mengandung fosil *Halobia*, *Amonit* dan *Belemnit*. Batupasir berukuran halus sampai kasar, berwarna kelabu kehijauan sampai merah kecoklatan terakut lempung dan oksida besi lunak, setempat padat, mengandung sedikit kuarsa, berlapis baik. Serpih dan napal berwarna kelabu sampai keabu tua, memiliki perlapisan baik, tebal lapisan antara 10 - 20 cm. Lempung pasiran, berwarna kelabu sampai kecoklatan, perlapisan baik, tebal lapisan antara 1 - 10 cm berselingan dengan batuan yang disebutkan terdahulu. Formasi ini diperkirakan berumur Trias - Jura Awal dengan lingkungan pengendapan pada laut dangkal (neritik). Tebal formasi ini diperkirakan lebih dari 1000 meter.

Pualam Paleozoikum (Pzmm) terdiri atas pualam dan batugamping terdaunkan. Satuan ini merupakan batugamping yang telah mengalami metamorfosa lanjut yang ditandai dengan struktur mendaun. Umur satuan ini diperkirakan Karbon sampai Perm.

Batuan Malihan Paleozoikum (Pzm) terdiri atas sekis, gneise, filit, batusabak dan sedikit pualam. Satuan ini diperkirakan berumur karbon sampai perm dan mempunyai hubungan menjemari dengan satuan pualam paleozoikum (*Pzmm*).

Batuan Terobosan (PTR (g)) terdiri atas apilit kuarsa, andesit dan latit

kuarsa. Satuan ini menerobos satuan batuan malihan paleozoikum dan diperkirakan berumur Perm.

2.1.3 Struktur Geologi

Struktur geologi Lembar Lasusua-Kendari memperlihatkan ciri kompleks tumbukan dari pinggiran benua yang aktif. Berdasarkan struktur, himpunan batuan, biostratigrafi dan umur, daerah ini dapat dibagi menjadi 2 domain yang sangat berbeda, yakni: 1) *allochton* : ofiolit dan malihan, dan 2) *autochton*: batuan gunungapi dan pluton Tersier dan pinggiran benua Sundaland, serta kelompok molasa Sulawesi. Lembar Lasusua, sebagaimana halnya daerah Sulawesi bagian timur, memperlihatkan struktur yang sangat rumit. Hal ini disebabkan oleh pengaruh pergerakan tektonik yang telah berulang kali terjadi di daerah ini. Struktur geologi yang dijumpai di daerah kegiatan adalah sesar, lipatan dan kekar. Sesar dan kelurusan umumnya berarah barat-laut–tenggara searah dengan Sesar geser jurus mengiri Lasolo. Sesar Lasolo aktif hingga kini, yang dibuktikan dengan adanya mata air panas di Desa Sonai, Kecamatan Pondidaha pada batugamping terumbu yang berumur Holosen dan jalur sesar tersebut di tenggara Tinobu. Sesar tersebut diduga ada kaitannya dengan Sesar Sorong yang aktif kembali pada Kala Oligosen (Rusmana,1993).

Sesar naik ditemukan di daerah Wawo, sebelah barat Tampakura dan di Tanjung Labuandala di selatan Lasolo; yaitu beranjaknya batuan ofiolit ke atas Batuan Malihan Mekonga, Formasi Meluhu dan Formasi Matano. Sesar Anggowala juga merupakan sesar utama, sesar mendatar mengangan (dextral), mempunyai arah barat-laut-tenggara. Kekar terdapat pada semua jenis batuan. Pada

batugamping kekar ini tampak teratur yang membentuk kelurusan (E. Rusmana dkk, 2010). Kekar pada batuan beku umumnya menunjukkan arah tak beraturan.

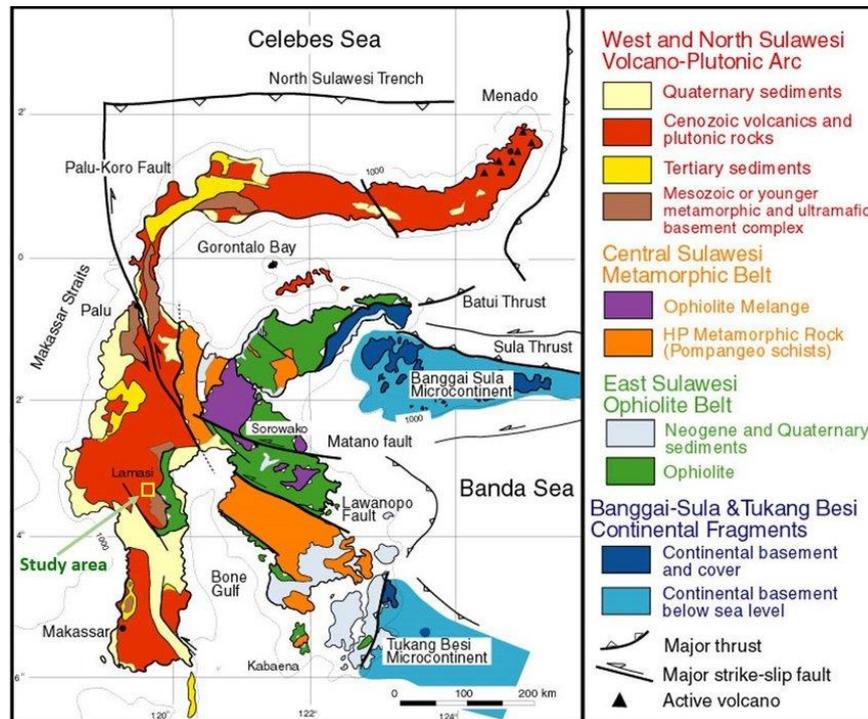
2.1.4 Tektonik

Pulau Sulawesi telah ditetapkan sebagai persimpangan antara laut Eurasia, Australia, dan Lempeng Filipina. Sejarah tektonik telah ditafsirkan pada awalnya dengan Sulawesi barat/lengan selatan Sulawesi bertambah pada Zaman Kapur ke margin barat Sundaland/Asia Tenggara yang meliputi bagian benua. Tabrakan tektonik melibatkan penempatan batuan ultrabasa di bagian timur dan tenggara Sulawesi yang kemudian menjadi zona laterisasi serta batuan dasar stratigrafi, cekungan, dan subcekungan di wilayah ini (Asri Jaya dkk, 2022)

Kompleks Ofiolit di Lengan Tenggara Pulau Sulawesi terdiri atas batuan ultramafik dan mafik serta sedimen pelagik. Batuan ultramafik terdiri atas harzburgit, dunit, werlit, lertzolit, websterit, serpentinit, dan piroksenit (Surono, 2013).

Sulawesi Tenggara terdiri atas 2 (dua) Teran yang berbeda yaitu Ofiolit Sulawesi Timur dan Kepingan Benua Buton yang masing-masing memiliki karakter stratigrafi dan struktur yang berbeda. Ofiolit yang menempati bagian utara Sulawesi Tenggara merupakan lempek samudera yang mengalami pengangkatan ke permukaan melalui mekanisme obduksi pada Oligo-Miosen, dan di akhiri oleh tumbukan antara daratan Sulawesi dengan Kepingan Benua Buton pada Miosen. Pengangkatan Ofiolit yang masif memberikan dampak yang cukup signifikan terhadap tatanan geologi Sulawesi Tenggara mulai dari bentang alam hingga diversifikasi sumberdaya mineral dan batuan di wilayah ini (Kadariusman,

2009).



Gambar 2.2 Peta Tektono-Stratigrafi Pulau Sulawesi (Kadarusman, 2004)

2.2 Batuan Ultramafik

Batuan ultramafik hadir dalam bumi sebagai komponen utama penyusun mantel atas di bawah kerak benua atau kerak samudera (Kadarusman, 2009). Secara sederhana batuan beku ultramafik adalah batuan beku yang secara kimia mengandung kurang dari 45% SiO_2 dari komposisinya. Kandungan mineralnya didominasi oleh mineral-mineral berat dengan kandungan unsur-unsur seperti Fe (besi)

Penamaan batuan “ultramafik” dan “ultrabasa” memiliki perbedaan arti. Batuan ultrabasa merupakan jenis batuan yang secara geokimia mengandung sangat sedikit silika dan jarang ditemukannya kehadiran mineral-mineral ferromagnesian. Mineral-mineral ferromagnesian berwarna gelap dengan unsur

utama Fe dan Mg. Mineral yang sedikit mengandung unsur utama Fe dan Mg menandakan keterdapatannya didominasi oleh silika feldspar, feldspathoid, dan muskovit (Ahmad, 2006).

Batuan ultramafik tersusun atas mineral utama yaitu olivin, piroksen, dan amfibol yang berwarna gelap saat segar. Dekomposisi mineral-mineral primer ini menyebabkan unsur-unsur terlarut mengendap pada titik-titik tertentu. Proses ini bersifat dinamis dan lambat, sehingga profil laterit menunjukkan evolusi tahapan laterisasi (Hasria dkk, 2020).

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

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

1. Olivin

Mineral olivin di dalam batuan ultramafik didominasi oleh forsterit (Mg_2SiO_4). Umumnya forsterit dalam olivin dapat mencapai kisaran 90%-92% hingga yang tertinggi 94%, sedangkan sisanya yaitu berupa fayalit (Fe_2SiO_4). Peridotit olivin umumnya memiliki kandungan Ca mulai dari beberapa ratus hingga seribu ppm.

Pertukaran Ca antara klinopiroksen dan olivin digunakan sebagai geobarometer untuk peridotit spinel karena batuan ini relatif tidak sensitif terhadap tekanan.

2. Ortopiroksen

Kandungan alumina dari ortopiroksen pada fasies peridotit garnet umumnya rendah dan bervariasi, biasanya ortopiroksen pada fasies ini digunakan untuk mengetahui tekanan pembentukannya. Secara umum, kandungan CaO pada ortopiroksen sangat bervariasi dan umumnya digunakan untuk mengetahui suhu pembentukan, sedangkan kandungan Na₂O dan TiO₂ dapat mencerminkan komposisi dari peridotit tersebut.

3. Klinopiroksen

Kandungan alumina dari klinopiroksen pada fasies peridotit garnet umumnya rendah dan bervariasi, biasanya klinopiroksen pada fasies ini digunakan untuk mengetahui tekanan pembentukannya. Kandungan Cr₂O₃ pada klinopiroksen umumnya tinggi.

4. Spinel

Spinel dapat diartikan sebagai mineral atau nama grup mineral. Grup spinel sendiri terdiri atas spinel (MgAl₂O₄), hercynit (FeAl₂O₄), magnesio-kromit (MgCr₂O₄) dan kromit (FeCr₂O₄). Umumnya, lherzolit memiliki spinel dengan kandungan Al yang tinggi dan Cr yang rendah, di sisi lain harzburgit memiliki kandungan Al yang rendah dan Cr yang tinggi.

5. Plagioklas

Plagioklas dalam peridotit didominasi oleh anorthit (CaAl₂Si₂O₈). Rasio anorthit dalam peridotit plagioklas memiliki kisaran antara 50% -80%, sedangkan

sisanya yaitu berupa albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). Plagioklas dapat juga ditemukan sebagai mineral sekunder pada peridotit xenolith yang menunjukkan komposisi yang basa dan dapat terkait dengan kandungan Na yang relatif tinggi yang akan membentuk amfibol.

2.3 Nikel Laterit

Nikel Laterit adalah produk residu yang berasal dari pelapukan kimia batuan kumulatif kaya olivin dan turunan metamorfnya yang memiliki kandungan Ni awal primer 0,2 - 0,4%. Karakteristik Ni laterit, termasuk kadar, tonase dan mineralogi, dikendalikan oleh interaksi faktor iklim dan geologis, seperti sejarah geomorfologi, drainase, struktur dan litologi, dan merupakan efek gabungan dari faktor-faktor individual ini yang, dalam sistem yang dinamis, memungkinkan Ni untuk berkonsentrasi dalam *regolith* (Brand, 1998).

Terbentuknya endapan nikel laterit didorong oleh proses geologi, iklim, hidrologi, dan geomorfologi yang terjadi sebagai laterisasi pada batuan ultramafik, serta dipengaruhi oleh jenis batuan non ultramafik yang ternyata menghambat laterisasi dan menyebabkan kandungan nikel menjadi lebih rendah. Aspek struktural juga memegang peranan penting terutama dalam pembentukan lapisan limonit-saprolit (Adi Tonggiro dkk, 2017)

Laterit merupakan sumber dari beberapa mineral ekonomis diantaranya bauxite dan nikel (Ni), mangan (Mn), tembaga (Cu), emas (Au) dan *platinum group element* (PGE). Bagian paling bawah dari profil laterit disebut dengan zona saprolite yang merupakan zona pelapukan tinggi dimana tekstur primer dan

fabric dari batuan asalnya masih dapat dilihat. Akibat fluida yang bersifat *oxidized* dan asam, maka bagian paling bawah dari zona ini dicirikan dengan tidak stabilnya sulfide dan karbonat dengan hasil pencucian atau leaching dari logam-logam chalcopile dan unsur-unsur alkalin. Bagian bawah dari zona saprolit ini dicirikan dengan terurainya mineral-mineral feldspar dan ferromagnesian, sementara Si dan Al akan tetap tinggal pada mineral lempung (kaolinit dan *halloysite*)(Maulana Adi,2017).

Secara dominan, tetapi tidak secara eksklusif, terletak di sabuk tropis dan subtropis dunia, laterit mewakili lebih dari 70% sumber daya Ni daratan, namun saat ini menyumbang kurang dari 30% dari produksi Ni global tahunan. Operasi laterit nikel umumnya membutuhkan penambangan terbuka dengan tonase tinggi dan kemajuan metalurgi baru-baru ini akan memungkinkan eksploitasi sumber daya ini secara ekonomi. Sumber daya yang diketahui biasanya dikembangkan pada batuan ultramafik yang miskin sulfida, tetapi matriks atasnya yang regolith dan endapan Ni-sulfida yang disebarluaskan juga bisa kaya Ni meskipun sejauh ini belum ada yang dieksploitasi secara khusus untuk sumber daya lateritnya.

A. Karakteristik Nikel Laterit

Klasifikasi nikel laterit dikelompokkan menjadi beberapa jenis berdasarkan fitur seperti perubahan batuan induk, iklim, drainase, sejarah geomorfologi, dan komposisi. Ada tiga tipe utama dari endapan nikel laterit antara lain (Brand, 1998):

1. Tipe A : Endapan silikat Ni, didominasi oleh silikat Mg-Ni terhidrasi (mis. *gamierite*), umumnya terjadi jauh di dalam saprolit.

2. Tipe B : Endapan silikat Ni, didominasi oleh lempung smektit (mis. nontronit), umumnya terjadi pada saprolit atas atau pedolit.
3. Tipe C : Endapan oksida, didominasi oleh Fe oxyhydroxides (mis. Goethite) membentuk lapisan pada batas saprolit pedolit.

Endapan silikat Ni, didominasi oleh tipe A, merupakan 80% dari sumber daya laterit Ni global; kebanyakan endapan Ni laterit mengandung bijih silikat dan oksida dalam proporsi yang berbeda-beda. Oksida mangan, yang diperkaya dengan Co dan Ni, kemungkinan terbentuk selama fase akhir pelapukan, terdapat pada setiap jenis deposit, tetapi hanya sebagian kecil dari total Ni.

Klasifikasi nikel laterit berdasarkan batuan induknya tersusun atas mineral-mineral yang mengandung mineral *ferromagnetism* (olivin, piroksin, dan amphibole) dalam jumlah yang besar yang berasosiasi dengan struktur geologi. Pada umumnya nikel laterit terbentuk dari pelapukan batuan ultrabasa yang merupakan pembawa unsur nikel. Salah satu jenis batuan ultrabasa pembawa unsur nikel antara lain peridotit. Batuan-batuan lain pembawa unsur nikel adalah sebagai berikut:

1. *Dunite*, yang mengandung olivine lebih dari 90% dan piroksen sekitar 5%.
2. *High Serpentinized*, yang mengandung olivine 85% dan piroksen 15%.
3. *Low Serpentinized*, yang mengandung olivine 65% dan piroksen 35%.
4. *Serpentinite*, merupakan hasil perubahan dari batuan peridotite oleh proses serpentinisasi akibat hidrothermal.

B. Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan Nikel laterit

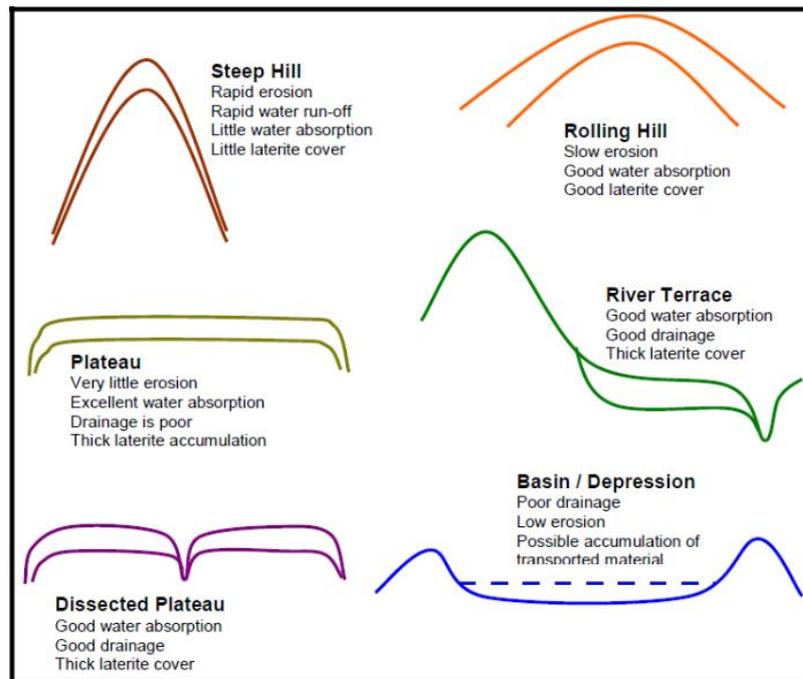
1. Suhu dan curah hujan

Suhu memainkan peran yang sangat penting dalam mempercepat proses pelapukan kimia. Menurut aturan Van't Hoff (dalam Ahmad, 2006), masing-masing perubahan 10°C suhu akan meningkatkan kecepatan reaksi kimia sekitar dua sampai tiga kali. Hal ini menurut Ahmad (2006) menyebabkan daerah beriklim tropis dengan suhu yang umumnya lebih tinggi dari 20°C sangat ideal untuk pembentukan laterit.

Curah hujan pun berperan penting dalam pelapukan kimia. Curah hujan menentukan jumlah air yang melewati tanah, sehingga mempengaruhi intensitas pencucian. Sebenarnya tingkat curah hujan dapat bervariasi yang nantinya akan membentuk tanah laterit yang berbeda-beda pula (Ahmad, 2006). Pencucian yang kurang konstan pada tanah di iklim kering-basah akan menghasilkan banyak magnesium dan silika dalam bentuk smektit / nontronit, sementara pencucian yang konstan di iklim lembab akan mencegah pembentukan lempung.

2. Topografi

Relief dan kelerengan akan banyak mempengaruhi drainase, seperti banyaknya air yang masuk ke dalam tanah dan muka air tanah. Tanah laterit sendiri menurut Ahmad (2006) membutuhkan topografi yang tidak begitu curam. Permukaan tanah yang curam akan mempercepat erosi pada tanah laterit. Topografi yang terlalu datar dengan drainase yang buruk juga tidak begitu bagus, hal ini menyebabkan pencucian berjalan kurang maksimal sehingga tanah laterit sulit terbentuk.



Gambar 2.3 Diagram komposit topografi laterit (Ahmad, 2006)

3. Kondisi pH

Menurut Ahmad (2006) kelarutan mineral akan meningkat di perairan yang memiliki kadar pH yang rendah. Dengan demikian, air yang sedikit asam akan mempercepat proses pelapukan kimia. Air asam banyak terbentuk pada iklim tropis basah melalui hujan asam alami.

4. Tektonik

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

5. Jenis batuan asal

Laterit Ni – Fe menurut Ahmad (2006) dapat berkembang pada batuan yang mengandung mineral ferromagnesian yang cukup. Oleh karena itu batuan

ultramafik merupakan batuan yang paling cocok untuk menghasilkan laterit Ni – Fe karena memiliki proporsi mineral ferromagnesian yang tinggi.

6. Struktur

Kehadiran sesar dan retakan membuat batuan menjadi bersifat permeable. Ditambah lagi dengan adanya kekar dan belahan yang makin memudahkan air untuk masuk ke dalam batuan. Air yang masuk ke dalam batuan akan dengan mudah bereaksi dengan mineral pada batuan dan melapukkannya, sehingga suatu area dengan kondisi struktur yang cukup intens akan membuat batuan yang ada di area tersebut lebih mudah mengalami proses pelapukan. Maka dari itu kehadiran struktur berperan sangat penting dalam mempercepat proses pelapukan kimia dan lateritisasi.

C. Profil Nikel Laterit

Pelapukan kimia pada batuan ultrabasa biasanya disertai dengan fraksinasi dari elemen-elemen menjadi tipe yang larut dan tidak larut dalam air. Elemen-elemen yang larut dalam air nantinya akan tercuci keluar dari sistem pelapukan sementara elemen-elemen yang tidak larut dalam air akan tertinggal sebagai pengayaan residu.

Penebalan zona limonit dan saprolit merupakan salah satu pengaruh yang disebabkan oleh tingginya tingkat pelapukan pada suatu daerah. Ketebalan lapisan yang dapat dilihat hanya pada tiap titik bor dan pada umumnya ketebalan lapisan tanah laterit tidak sama dan nikel yang terdapat pada lapisan tanah juga tidak tersebar merata (Wakila, 2019).

Proses pelapukan kimia pada akhirnya akan menghasilkan pembentukan profil laterit dengan urutan laterit termuda pada bagian bawah dan laterit tertua pada bagian atas.

Menurut Golightly (1979) profil laterit dibagi menjadi 4 zonasi, yaitu:

1. Zona Limonit (LIM)

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

2. *Zona Medium Grade Limonite* (MGL)

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

3. Zona Saprolit

Zona saprolit merupakan zona bijih, tersusun atas fragmen-fragmen batuan induk yang teralterasi, sehingga mineral penyusun, tekstur dan struktur batuan

dapat dikenali. Derajat serpentinisasi batuan asal laterit akan mempengaruhi pembentukan zona saprolit, dimana peridotit yang sedikit terserpentinisasi akan memberikan zona saprolit dengan batuan sisa yang keras, pengisian celah oleh mineral – mineral garnierit, kalsedon-nikel dan kuarsa, sedangkan serpentininit akan menghasilkan zona saprolit yang relatif homogen dengan sedikit kuarsa atau garnierit.

4. Zona batuan induk (*Bedrock zone*)

Zona batuan induk berada pada bagian paling bawah dari profil laterit. Batuan induk ini merupakan batuan yang masih segar dengan pengaruh prosesproses pelapukan sangat kecil. Batuan induk umumnya berupa peridotit, serpentininit, atau peridotit terserpentinisasikan.

SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	APPROXIMATE ANALYSIS (%)			
		Ni	Co	Fe	MgO
	RED LIMONITE	<0.8	<0.1	>50	<0.5
	YELLOW LIMONITE	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	0.5 to 5
	TRANSITION	1.5 to 4	0.02 to 0.1	25 to 40	5 to 15
	SAPROLITE/ GARNIERITE/ SERPENTINE	1.8 to 3		10 to 25	15 to 35
	FRESH ROCK	0.3	0.01	5	35 to 45

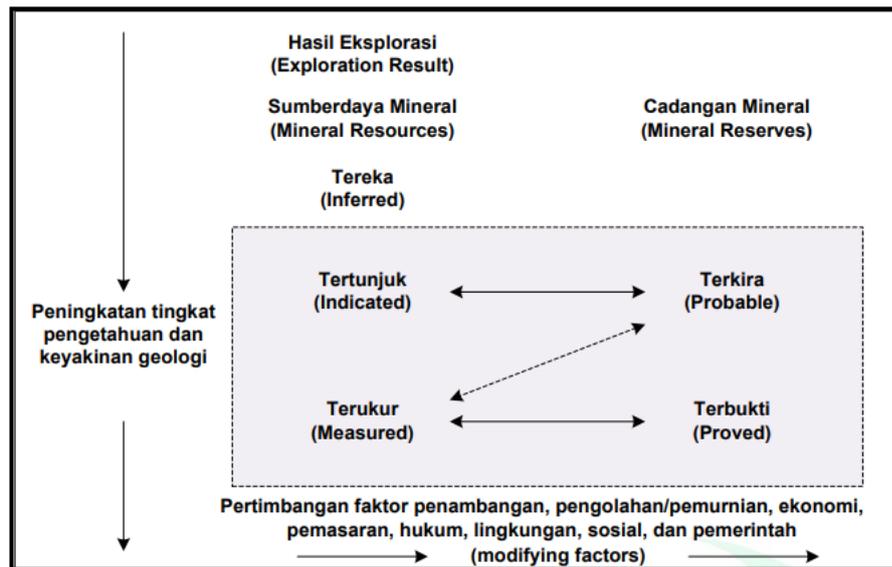
Gambar 2.4 Generalisasi profil laterit (Elias,2002)

2.4 Pemodelan dan Perhitungan Sumber Daya

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

Penetapan cadangan prospektif suatu wilayah dari hasil pemboran pada saat kegiatan eksplorasi, dianalisis di laboratorium kimia. Hasil analisis grade kemudian dirata-ratakan dari bawah ke atas *Cut Off Grade* (Altin 2013).

Sumber daya mineral adalah suatu konsentrasi atau keterjadian dari mineral yang memiliki nilai ekonomi pada kerak bumi, dengan dimensi, kualitas, dan kuantitas tertentu yang memiliki keprospekan yang beralasan untuk pada akhirnya dapat diekstraksi secara ekonomis. Lokasi, kuantitas, kadar, karakteristik geologi, dan kemenerusan dari sumber daya mineral harus diketahui, diestimasi atau diinterpretasikan berdasarkan bukti dan pengetahuan geologi yang spesifik, termasuk pengambilan sampelnya. Sumber daya mineral dikelompokkan berdasarkan tingkat keyakinan geologi dalam kategori tereka, tertunjuk, dan terukur (BSN, 2019).



Gambar 2.5 Hubungan antara hasil eksplorasi, sumberdaya mineral, dan cadangan

1. Sumber Daya Tereka

Sumber daya mineral tereka merupakan bagian dari sumber daya mineral yang kuantitas dan kualitas kadarnya diestimasi berdasarkan bukti geologi dan pengambilan sampel yang terbatas. Bukti geologi tersebut memadai untuk menunjukkan keterjadiannya tetapi tidak memverifikasi kemenerusan kualitas atau kadar dan kemenerusan geologinya. Adapun informasi didapatkan dari singkapan, paritan uji, sumuran uji, dan lubang bor tetapi kualitas dan tingkat keyakinannya terbatas atau tidak jelas. Jarak antara titik pengamatan maksimum dua ratus meter. Spasi ini bisa diperlebar dengan justifikasi teknis yang bisa dipertanggungjawabkan seperti analisa geostatistika.(BSN, 2019)

2. Sumber Daya Tertunjuk

Sumber daya mineral tertunjuk merupakan bagian dari sumber daya mineral dengan kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan titik pengamatan, dimensi, dan karakteristik fisiknya dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang cukup untuk

memungkinkan penerapan faktor pengubah secara memadai untuk mendukung perencanaan tambang dan evaluasi kelayakan ekonomi cebakan tersebut. Adapun informasi didapatkan dari singkapan, paritan uji, sumuran uji, dan lubang bor. Lokasi pengambilan data masih terlalu jarang atau spasinya belum tepat untuk memastikan kemenerusan dan/atau kadar, tetapi spasial cukup untuk mengasumsikan kemenerusannya. Jarak antara titik pengamatan maksimum seratus meter. Spasi ini bisa diperlebar dengan justifikasi teknis yang bisa dipertanggungjawabkan seperti analisa geostatistika. (BSN, 2019).

3. Sumber Daya Terukur

Sumber daya mineral terukur merupakan bagian dari sumber daya mineral dengan kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan titik pengamatan, bentuk, dan karakteristik fisik yang dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang memadai untuk memungkinkan penerapan faktor pengubah untuk mendukung perencanaan tambang terperinci dan evaluasi akhir dari kelayakan ekonomi cebakan tersebut. Bukti geologi didapatkan dari eksplorasi, pengambilan sampel dan pengujian yang terperinci dan andal, dan memadai untuk memastikan kemenerusan geologi dan kadar atau kualitasnya di antara titik pengamatan. Adapun informasi didapatkan dari singkapan, paritan uji, sumuran uji, dan lubang bor. Lokasi informasi pada kategori ini secara spasial adalah cukup rapat dengan spasi maksimum lima puluh meter untuk memastikan kemenerusan geologi dan kadar. Spasi ini bisa diperlebar dengan justifikasi teknis yang bisa dipertanggungjawabkan seperti analisa geostatistika.(BSN, 2019).

Kegiatan eksplorasi biasanya memberikan informasi sumber daya/cadangan mineral yang akurat dari kondisi geologi setempat. Hasil eksplorasi ini menjadi dasar pengembangan wilayah pertambangan secara cermat dan tepat. Data akurat ini juga tersedia dari perusahaan/kegiatan pengeboran. Pengeboran dilakukan dengan mengebor lubang eksplorasi yang lebih kecil dari kedalamannya. Sebagai bagian dari pengumpulan dan pengambilan sampel data, lubang bor di batuan tertentu dipilih. Hasil pengeboran endapan nikel laterit memberikan ketebalan dan divisualisasikan dalam bentuk penampang digital menggunakan komputer untuk mengolah data hasil lapangan (Hardyanto, 2015).

2.5 IDW (*Inverse Distance Weight*)

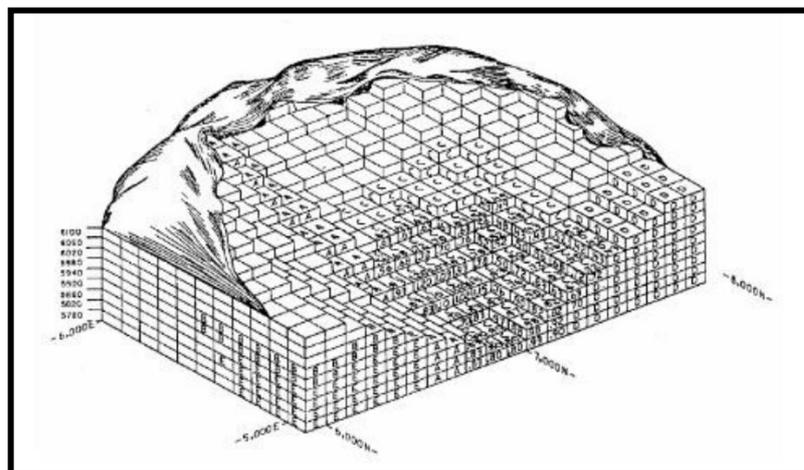
Metode *Inverse Distance Weight* (IDW) juga dapat didefinisikan sebagai metode penaksiran dengan pendekatan blok model yang sederhana dengan mempertimbangkan titik disekitarnya. Asumsi dari metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih mirip pada data sampel yang dekat daripada yang lebih jauh. Bobot (weight) akan berubah secara linier sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Bobot ini tidak akan dipengaruhi oleh letak dari data sampel. Metode ini biasanya digunakan dalam industri pertambangan karena mudah untuk digunakan. Pemilihan nilai pada power sangat mempengaruhi hasil interpolasi. Nilai power yang tinggi akan memberikan hasil seperti menggunakan interpolasi *nearest neighbor* dimana nilai yang didapatkan merupakan nilai dari data point terdekat.

Kerugian dari metode IDW adalah nilai hasil interpolasi terbatas pada nilai yang ada pada data sampel. Pengaruh dari data sampel terhadap hasil interpolasi disebut sebagai isotropik. Dengan kata lain, karena metode ini menggunakan rata-

rata dari data sampel sehingga nilainya tidak bisa lebih kecil dari minimum atau lebih besar dari data sampel. Jadi, puncak bukit atau lembah terdalam tidak dapat ditampilkan dari hasil interpolasi model ini. Untuk mendapatkan hasil yang baik, sampel data yang digunakan harus rapat yang berhubungan dengan variasi lokal. Jika sampelnya agak jarang dan tidak merata, hasilnya kemungkinan besar tidak sesuai dengan yang diinginkan.

Secara garis besar metode ini adalah sebagai berikut (Latif, 2008) :

1. Suatu cara penaksiran dimana harga rata-rata titik yang ditaksir merupakan kombinasi linear atau harga rata-rata terbobot (*weighted average*) dari data data lubang bor disekitar titik tersebut. Data di dekat titik yang ditaksir memperoleh bobot yang lebih besar, sedangkan data yang jauh dari titik yang ditaksir bobotnya lebih kecil. Bobot ini berbanding terbalik dengan jarak data dari titik yang ditaksir.
2. Pilihan dari pangkat yang digunakan (ID1, ID2, ID3, ...) berpengaruh terhadap hasil taksiran. Semakin tinggi pangkat yang digunakan, hasilnya akan semakin mendekati hasil yang lebih baik



Gambar 2.6 Contoh dimensi hasil penaksiran dengan Model Blok

Jika “d” adalah jarak titik yang ditaksir dengan titik data (z), maka faktor pembobotan (w) adalah :

Tabel 2.1 Rumus pembobotan (w)

Untuk ID pangkat satu	Untuk ID pangkat dua (IDS)	Untuk ID pangkat n
$w_j = \frac{\frac{1}{d_j}}{\sum_{i=1}^j \frac{1}{d_i}}$	$w_j = \frac{\frac{1}{d_j^2}}{\sum_{i=1}^j \frac{1}{d_i^2}}$	$w_j = \frac{\frac{1}{d_j^n}}{\sum_{i=1}^j \frac{1}{d_i^n}}$

Maka nilai kadar yang ditaksir (Z^*) :

$$Z^* = \sum_{i=1}^j w_i \cdot z_i$$

Keterangan :

Z^* = kadar yang ditaksir

j = jumlah data

i = kadar ke-i (i=1,.....,n)

d_i = jarak antar titik yang ditaksir dengan titik ke-i yang menaksir (m)

k = pangkat

Z = kadar asli

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

Menurut Li Zhengquan 2018, untuk memastikan perkiraan yang tidak bias, bobot (kebalikan dari jarak pemisahan) diubah skalanya sehingga jumlahnya menjadi satu untuk memastikan bahwa nilai perkiraan tidak bias bila dibandingkan dengan nilai sampel. Persamaan untuk estimasi jarak terbalik adalah:

$$\text{estimate} = \frac{\text{sum of (sample value x inverse distance weight)}}{\text{sum of (inverse distance weights)}}$$

where,

$$\text{inverse distance weights} = \frac{1}{(\text{sample to estimation point distance})^{\text{power}}}$$

Bobot jarak terbalik juga dapat dinaikkan menjadi daya. Kekuatan ini dipilih oleh pengguna dengan cara yang analisis. Salah satu cara untuk memikirkan parameter daya adalah dengan mempertimbangkan pengaruhnya terhadap perkiraan.

Jika daya tinggi (katakanlah sekitar tiga), maka sampel yang lebih dekat menerima lebih banyak bobot daripada sampel yang lebih jauh. Semakin tinggi daya, semakin banyak bobot yang ditetapkan ke sampel yang lebih dekat.

Ketika daya rendah (katakanlah satu), maka sampel yang lebih dekat masih menerima bobot yang lebih besar daripada sampel yang lebih jauh, namun, pengaruhnya berkurang (Snowden, 2019).

2.6 Model Blok

Model blok merupakan bentuk interpretasi sumberdaya dimana setiap blok - blok memiliki nilai kadar, densitas, jenis batuan, dan lain-lain. Blok-blok tersebut memiliki ukuran yang sama dan peubah variabel berdasarkan topografi, kadar dan densitasnya (Bargawa, 2018b).

Dalam mengestimasi data terlebih dahulu dilakukan pembuatan *block model* dimana pembuatan block model ini bertujuan agar data yang telah di taksir dengan ketetapan titik bor dapat di estimasikan dengan membuat blok – blok kecil

yang telah ditetapkan ukurannya dengan tujuan untuk memperlihatkan kandungan dari pada suatu logam seperti Ni, Fe dan lain-lain. (Wawan, 2019)