

SKRIPSI

ANALISIS KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN GEOKIMIA BERDASARKAN ZONA PROFIL ENDAPAN NIKEL LATERIT

(Studi Kasus: Blok X PT Ang and Fang Brother, *Site* Lalampu, Kecamatan Bahodopi,
Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah)

Disusun dan diajukan oleh

AGUNG RIAN PASOLON

D111171016



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN GEOKIMIA BERDASARKAN ZONA PROFIL ENDAPAN NIKEL LATERIT

(Studi Kasus: Blok X PT Ang and Fang Brother, *Site* Lalampu, Kecamatan Bahodopi,
Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah)

Disusun dan diajukan oleh

AGUNG RIAN PASOLON
D111171016

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 25 April 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph.D
NIP.197303142000121001

Pembimbing Pendamping,

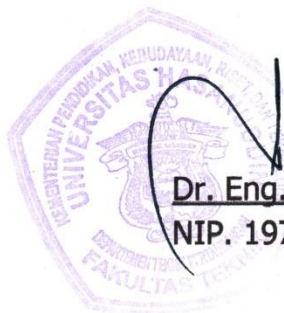


Dr. phil. nat. Sri Widodo, S.T., M.T
NIP.197101012012121001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T
NIP. 197111282005011002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agung Rian Pasolon
NIM : D111171016
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**Analisis Karakteristik Mineralogi dan Geokimia Berdasarkan
Zona Profil Endapan Nikel Laterit
(Studi Kasus: Blok X PT Ang and Fang Brother, *Site* Lalampu, Kecamatan
Bahodopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah)**

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain, bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

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

Makassar, 25 April 2022

Yang menyatakan



Agung Rian Pasolon

ABSTRAK

Secara regional, daerah penelitian berada pada Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur, yang tersusun oleh batuan beku pada Kompleks Ultramafik (Ku). Tersingkapnya batuan ultramafik yang telah mengalami proses pelapukan, menyebabkan daerah penelitian memiliki kandungan unsur yang bernilai ekonomis seperti nikel. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi mineral penyusun, mengetahui kelimpahan unsur dan senyawa, serta korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor berdasarkan zona profil endapan nikel laterit. Data penelitian berupa sampel tanah dan batuan, serta data pengeboran sebanyak 59 titik. Kandungan mineral hasil penelitian diperoleh berdasarkan analisis *X-ray Diffraction* dan Petrografi, sedangkan pada data pengeboran dilakukan analisis statistik univariat dan bivariat. Hasil analisis didapatkan himpunan mineral berupa goetit, hematit, klorit, dan kuarsa pada zona limonit; antigorit, lizardit, enstatit, klorit, kuarsa, dan magnetit pada zona saprolit; dan antigorit, lizardit, enstatit, olivin, magnetit, dan maghemit pada zona batuan dasar, dengan jenis batuan dasar yaitu harzburgit terserpentinisasi. Hasil analisis deskriptif didapatkan kadar unsur dan senyawa mayor yaitu Fe, SiO₂, MgO, dan Al, serta unsur minor yaitu Ni, Cr, Co, Ca, dan Mn yang bervariasi pada setiap zonasi, di mana kadar SiO₂, MgO, dan Ca meningkat ke arah bawah profil, dan kadar Fe, Al, Cr, Mn, dan Co menurun ke arah bawah profil, sedangkan Ni meningkat hingga zona saprolit. Hasil analisis korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor yang didapatkan, dipengaruhi oleh sifat mobilitas unsur dan senyawa dengan meninjau dari arah korelasi, klasifikasi unsur dan senyawa, dan parameter tingkat korelasi.

Kata kunci: Nikel laterit, mineral, unsur dan senyawa, kadar, korelasi

ABSTRACT

Regionally, the research area is located in the Ophiolite Belt of East Sulawesi, which is composed of igneous rock in the Ultramafic Complex (Ku). The disclosure of ultramafic rocks that have undergone weathering processes, causing the research area to contain elements of economic value such as nickel. The research activity aims to identify the constituent minerals, determine the abundance of elements and compounds, as well as the correlation of major and minor elements and compounds based on the profile zone of laterite nickel deposits. Research data in the form of soil and rock samples, and drilling data as many as 59 points. The mineral content of the research results was obtained based on the analysis of X-ray Diffraction and Petrography, while the univariate and bivariate statistical analysis was carried out on the drilling data. The results of the analysis obtained assemblages of minerals in the form of goethite, hematite, chlorite, and quartz in the limonite zone; antigorite, lizardite, enstatite, chlorite, quartz, and magnetite in the saprolite zone; and antigorite, lizardite, enstatite, olivine, magnetite, and maghemite in the bedrock zone, with the bedrock type being serpentinized harzburgite. The results of the descriptive analysis showed the grade of major elements and compounds, which are Fe, SiO₂, MgO, and Al, as well as minor elements, which are Ni, Cr, Co, Ca, and Mn which varied in each zone, the grade of SiO₂, MgO, and Ca increased to the bottom of the profile, and the grade of Fe, Al, Cr, Mn, and Co decreased towards the bottom of the profile, while Ni increased to the saprolite zone. The results of the correlation analysis of major and minor elements and compounds obtained are influenced by mobility properties of elements and compounds by reviewing the direction of correlation, classification of elements and compounds, and correlation level parameters.

Keywords: Laterite nickel, mineral, elements and compounds, grade, correlation

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Analisis Karakteristik Mineralogi dan Geokimia Berdasarkan Zona Profil Endapan Nikel Laterit. Studi kasus: Blok X PT Ang and Fang Brother, *Site* Lalampu, Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah". Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat lulus dan untuk mendapatkan gelar (S1) pada Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Dalam kesempatan berharga ini dan dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Ir. Lukmanto Lawy selaku Direktur Utama PT Ang and Fang Brother, Bapak Ir. Daniel Ganna, S.T., IPP. selaku Kepala Teknik Tambang IUP 576 dan sebagai pembimbing di lokasi penelitian, Bapak Jefryadi, S.T. selaku Kepala Teknik Tambang IUP 199, Bapak Thomas Patanda, S.Pd. selaku *Project Manager*, Bapak Nicholas Hamdani, S.E. selaku *Site Manager*, Ibu Anita Yunus, S.T. selaku Kepala Divisi *Mine QAQC*, Bapak Rexci Pari Rape, S.T. selaku *Mine Plan Engineer*, Ibu Nurul Amelia, S.Psi. selaku HRD, Bapak Satriya Salasar, SKM., M.KES. selaku Kepala Divisi HSE, dan seluruh karyawan PT Ang and Fang Brother yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, dan rasa kekeluargaan selama kegiatan penelitian.

Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Pertambangan, Bapak Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph.D. selaku Pembimbing Utama, Bapak Dr. phil. nat. Sri Widodo, S.T., M.T. selaku Pembimbing Pendamping, Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, M.T. selaku Kepala Laboratorium Eksplorasi Mineral, Bapak Dr. Sufriadin, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Eng. Rini Novrianti S. Tui, S.T., M.BA., M.T. selaku dosen penguji, serta seluruh *civitas academika*

Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis selama masa studi.

Terima kasih kepada saudara dan saudari seperjuangan CONTINUITY 2017 yang telah memberikan waktu, masukan dan dukungan selama penelitian, maupun dalam penyusunan skripsi. Ucapan terima kasih sedalam-dalamnya kepada Ayahanda Alm. Julianus Rumpi Pasolon, Ibunda Yulistin Elisa Tadjang, saudara, dan keluarga besar yang telah memberikan dukungan dan doa kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.

Sesungguhnya kesempurnaan hanyalah milik Tuhan Yang Maha Esa dan penulis telah berupaya menyusun skripsi ini dengan sebaik-baiknya. Akhir kata penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan dengan harapan semoga penelitian ini dapat bermanfaat dalam pengembangan wawasan dan pengetahuan bagi pembaca.

Makassar, 25 April 2022

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Tahapan Penelitian	4
1.6 Lokasi Penelitian.....	5
BAB II GEOLOGI, KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN GEOKIMIA PROFIL ENDAPAN NIKEL LATERIT	7
2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian	7
2.2 Endapan Nikel Laterit	13
2.3 Genesis Endapan Nikel Laterit.....	15
2.4 Profil Endapan Nikel Laterit.....	19
2.5 Mineralogi dan Geokimia Endapan Nikel Laterit.....	21
2.6 Analisis Statistik Univariat dan Bivariat.....	22

BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Kegiatan dan Pengumpulan Data Lapangan.....	25
3.2 Analisis Laboratorium.....	27
3.3 Pengolahan Data	34
3.4 Bagan Alir Penelitian	37
BAB IV KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN GEOKIMIA BERDASARKAN ZONA PROFIL ENDAPAN NIKEL LATERIT	39
4.1 Lokasi Pengambilan Sampel di Daerah Penelitian	39
4.2 Profil Endapan Nikel Laterit Daerah Penelitian.....	40
4.3 Karakteristik Mineralogi Endapan Nikel Laterit Daerah Penelitian.....	42
4.4 Karakteristik Geokimia Endapan Nikel Laterit Daerah Penelitian	56
BAB V PENUTUP	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA.....	69
LAMPIRAN	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1	Peta tunjuk lokasi penelitian..... 6
2.1	Peta geologi regional sekitar daerah penelitian (PT Ang and Fang Brother) 10
2.2	Tektonik di Sulawesi Timur, yang terbentuk dari kolisi antara Lengan Timur Sulawesi dan Mikrokontinen Buton-Tukang Besi dan Mikrokontinen Banggai-Sula (Satyana, 2011). Lokasi daerah penelitian di beri tanda merah 11
2.3	Klasifikasi batuan ultramafik berdasarkan komposisi mineral olivin, ortopiroksin (opx), dan klinopiroksin (cpx), menurut Streckeisen (1976) dalam Le Maitrem 2002 16
3.1	Singkapan zona limonit di daerah penelitian 26
3.2	Singkapan zona saprolit di daerah penelitian..... 26
3.3	Singkapan zona batuan dasar (<i>bedrock</i>) di daerah penelitian..... 27
3.4	Pereduksian material sampel hingga berukuran -10 mm..... 28
3.5	Matriks awal 4x5 pada sampel penelitian 29
3.6	Pengeringan sampel penelitian di dalam oven 29
3.7	Pereduksian sampel hingga -3 mm menggunakan <i>jaw crusher</i> 30
3.8	Pereduksian sampel hingga 200 <i>mesh</i> menggunakan <i>top drilling</i> 30
3.9	Matriks akhir 4x5 pada sampel penelitian 31
3.10	Sampel akhir 200 <i>mesh</i> 31
3.11	Sampel sayatan tipis batuan untuk analisis petrografi 32
3.12	Alat XRD tipe Shimidzu Maxima-X XRD 7000 untuk menganalisis kandungan mineral 33
3.13	Mikroskop polarisasi Nikon Eclipse LV 100N Pol untuk analisis petrografi..... 34
3.14	Pengolahan data menggunakan <i>software Match!3</i> untuk mengidentifikasi mineral penyusun 35
3.15	Pengolahan data XRD menggunakan <i>software Microsoft Excel</i> 35
3.16	Pengolahan data titik bor menggunakan <i>software Microsoft Excel</i> 36

Gambar	Halaman
3.17 Pengolahan data menggunakan <i>software IBM Statistics v.20</i>	37
3.18 Bagan alir penelitian.....	38
4.1 Profil endapan nikel laterit di daerah penelitian yang terdiri dari zona limonit dan zona saprolit	40
4.2 Profil endapan nikel laterit pada zona batuan dasar	41
4.3 Sampel XC-BR01 batuan peridotit	42
4.4 Fotomikrograf sayatan tipis batuan dasar dengan kode sampel XC-BR01. (A) fotomikrograf nikel sejajar; (B) fotomikrograf nikel silang. Keterangan: srp = serpentin, ol = olivin, chl = klorit, opq = opak, opx = ortopiroksin	43
4.5 Sampel XC-BR02 batuan peridotit	44
4.6 Fotomikrograf sayatan tipis batuan dasar dengan kode sampel XC-BR02. (A) fotomikrograf nikel sejajar; (B) Fotomikrograf Nikol Silang. Keterangan srp = serpentin, chl = klorit, opq = opak, opx = ortopiroksin	45
4.7 Sampel XC-BR03 batuan peridotit	46
4.8 Fotomikrograf sayatan tipis batuan dasar dengan kode sampel XC-BR03. (A) fotomikrograf nikel sejajar; (B) fotomikrograf nikel silang. Keterangan srp = serpentin, ol = olivin, chl = klorit, opq = opak, opx = ortopiroksin	46
4.9 Difraktogram keterdapatan mineral hasil analisis XRD pada sampel dengan kode XC-LM01 pada zona limonit.....	48
4.10 Difraktogram keterdapatan mineral hasil analisis XRD pada sampel dengan kode XC-LM02 pada zona limonit.....	49
4.11 Difraktogram keterdapatan mineral hasil analisis XRD pada sampel dengan kode XC-LM03 pada zona limonit.....	49
4.12 Difraktogram keterdapatan mineral hasil analisis XRD pada sampel dengan kode XC-SP01 pada zona saprolit.....	51
4.13 Difraktogram keterdapatan mineral hasil analisis XRD pada sampel dengan kode XC-SP02 pada zona saprolit.....	52
4.14 Difraktogram keterdapatan mineral hasil analisis XRD pada sampel dengan kode XC-SP03 pada zona saprolit.....	53
4.15 Difraktogram keterdapatan mineral hasil analisis XRD pada sampel dengan kode XC-BR01 pada zona <i>bedrock</i>	54
4.16 Difraktogram keterdapatan mineral hasil analisis XRD pada sampel dengan kode XC-BR02 pada zona <i>bedrock</i>	55

Gambar	Halaman
4.17 Difraktogram keterdapatan mineral hasil analisis XRD pada sampel dengan kode XC-BR03 pada zona <i>bedrock</i>	55
4.18 Sketsa karakteristik profil endapan nikel laterit di daerah penelitian	66

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Peran pelapukan unsur selama pelapukan laterit (Ahmad, 2009).....	14
2.2 Interval koefisien korelasi Pearson r (Sugiyono, 2018)	24
4.1 Koordinat lokasi pengambilan sampel penelitian.....	39
4.2 Data deskriptif kadar unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona limonit	57
4.3 Hasil analisis korelasi Pearson unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona limonit	58
4.4 Korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor zona limonit	59
4.5 Data deskriptif kadar unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona saprolit	60
4.6 Hasil analisis korelasi Pearson unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona saprolit.....	61
4.7 Korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor zona saprolit	62
4.8 Data deskriptif kadar unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona <i>bedrock</i>	63
4.9 Hasil analisis korelasi Pearson unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona <i>bedrock</i>	64
4.10 Korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor zona <i>bedrock</i>	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A Peta Lokasi Pengambilan Sampel Penelitian	73
B Deskripsi Analisis Petrografi	75
C Hasil Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	79
D Perhitungan Koefisien Korelasi	98
E <i>Database</i> Titik Bor	100
F Hasil Komposit <i>Database</i> Titik Bor	103
G Hasil Korelasi Menggunakan <i>Software</i> IBM SPSS	113
H Kartu Konsultasi Tugas Akhir.....	116

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel laterit merupakan salah satu sumberdaya alam yang melimpah di daerah Sulawesi, terutama di daerah Sulawesi Tengah yaitu Morowali, Bungku (Kabupaten Morowali), dan Luwuk (Kabupaten Luwuk Banggai). Nikel laterit terbentuk dari proses pelapukan batuan ultramafik yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor geologi batuan, geokimia, iklim tropis hingga sub tropis, dan air. Faktor-faktor tersebut menyebabkan endapan nikel laterit dijumpai pada geologi regional tertentu, terutama erat kaitannya terhadap ketersediaan batuan ultramafik (Tonggiroh dkk., 2012).

PT Ang and Fang Brother merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri pertambangan dengan komoditasnya yaitu nikel laterit. Perusahaan ini terletak di Desa Lalampu, Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah dan masuk ke dalam satuan Lembar Bungku. Geologi regional Lembar Bungku memiliki struktur utama berupa patahan dan lipatan, kemudian kekar terdapat dalam hampir semua satuan batuan, terutama batuan beku dan batuan sedimen. Daerah penelitian memiliki geologi regional yang berada pada Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur, di mana tersingkapnya batuan ultramafik di daerah tersebut yang mengakibatkan batuan-batuannya memiliki kandungan unsur-unsur yang bernilai ekonomis seperti nikel. Pada daerah penelitian terdapat endapan permukaan yaitu Aluvium (Qa) berupa lempung, pasir, kerikil, dan kerakal. Selain itu, satuan batuan daerah penelitian berada pada Mandala Sulawesi Timur dengan Formasi Tomata (Tmpt). Selain ketersediaan endapan Aluvium (Qa), daerah penelitian tersusun atas persebaran batuan beku yang berada pada Kompleks Ultramafik (Ku) dan batuan konglomerat (Kadarusman *et al.*, 2004).

Pembentukan endapan nikel laterit sangat dipengaruhi oleh proses pelapukan, dan proses tersebut pada batuan Kompleks Ultramafik (Ku) berpengaruh terhadap karakteristik dan profil endapan nikel laterit yang keterdapatannya pada suatu daerah memiliki perbedaan seperti hubungan antara komposisi mineralogi batuan asalnya dan zona lateritisasi (lapisan atas atau limonit, lapisan tengah atau saprolit, dan batuan ultramafik) (Kurniadi *et al.*, 2017; Lintjewas dkk., 2019). Perbedaan karakteristik tersebut dapat diketahui berdasarkan sifat fisik, sifat kimia, serta pengamatan sifat optik pada batuan dasar untuk menentukan jenis batuan dasar pembentuk endapan nikel laterit pada daerah tersebut (Arifin dkk., 2015). Perbedaan sifat fisik dapat dilihat dari kenampakan permukaan batuan, sedangkan sifat kimia dapat dilihat dari kelimpahan unsur dan senyawa pada endapan yang dipengaruhi oleh proses lateritisasi. Sifat kimia dapat ditentukan berdasarkan analisis geokimia, yang digunakan untuk menentukan dan mengetahui kadar unsur dan senyawa mayor dengan kandungan lebih dari 5% seperti MgO, SiO₂, Fe, dan Al, serta unsur minor dengan kandungan kurang dari 3% seperti Ni, Co, Cr, Mn, dan Ca (Rinawan dkk., 2018; Ahmad, 2006).

Selain itu, analisis statistik univariat dan bivariat juga dapat dilakukan untuk memperoleh gambaran perilaku sebaran unsur dan senyawa (Faisal dkk., 2020). Analisis statistik univariat berupa analisis deskriptif yang dilakukan pada unsur dan senyawa pada setiap variabel, dan analisis statistik bivariat berupa analisis korelasi yang digunakan untuk menentukan hubungan karakteristik distribusi unsur dan senyawa satu terhadap unsur dan senyawa lainnya. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada karakteristik mineralogi dan geokimia untuk mengetahui himpunan mineral-mineral penyusun, kelimpahan unsur dan senyawa, serta hubungan unsur dan senyawa satu terhadap unsur dan senyawa lainnya berdasarkan zona profil endapan nikel laterit pada Blok X PT Ang and Fang Brother, *Site* Lalampu, Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik mineralogi terhadap zona profil endapan nikel laterit pada daerah penelitian.
2. Bagaimana kelimpahan unsur dan senyawa mayor dan minor terhadap zona profil endapan nikel laterit pada daerah penelitian.
3. Bagaimana korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor terhadap unsur dan senyawa lainnya berdasarkan zona profil endapan nikel laterit pada daerah penelitian.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik mineralogi berdasarkan zona profil endapan nikel laterit di daerah penelitian.
2. Mengetahui kelimpahan unsur dan senyawa mayor dan minor berdasarkan zona profil endapan nikel laterit di daerah penelitian.
3. Menganalisis korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor terhadap unsur dan senyawa lainnya berdasarkan zona profil endapan nikel laterit daerah penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai referensi dan rujukan pustaka mengenai karakteristik mineral, karakteristik kimia unsur dan senyawa mayor dan minor, serta hubungan kelimpahannya berdasarkan zona profil endapan nikel laterit pada Blok X PT Ang and Fang Brother, *Site* Lalampu, Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah.

1.5 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahap kegiatan berdasarkan tujuan penelitian yang telah diuraikan sebelumnya. Secara umum, tahap penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Perumusan masalah dan studi literatur.
2. Kegiatan lapangan dan pengambilan data.
3. Analisis laboratorium dan pengolahan data.
4. Penyusunan laporan tugas akhir.

Berdasarkan poin di atas, uraian tahap kegiatan penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Perumusan masalah dan studi literatur

Tahap perumusan masalah merupakan tahap penyusunan konsep penelitian berupa penentuan topik penelitian, merumuskan masalah serta perumusan konsep rencana penelitian, sedangkan studi literatur merupakan kegiatan berupa pengumpulan literatur atau referensi mengenai topik penelitian dan penelitian terdahulu yang menyangkut topik penelitian. Studi literatur dapat ditinjau melalui jurnal penelitian, buku, maupun artikel yang berkaitan dengan topik penelitian.

2. Kegiatan lapangan dan pengambilan data

Kegiatan lapangan dilaksanakan di lokasi Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT Ang and Fang Brother, *Site* Lalampu yang terletak di Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah. Pelaksanaan kegiatan lapangan dilakukan dalam bentuk pengambilan data primer berupa sampel nikel laterit pada setiap zona profil endapan nikel laterit dan pengambilan posisi koordinat lokasi penelitian dan lokasi pengambilan sampel. Sementara itu, pengambilan data sekunder dilakukan di Departemen *Mine Plan Engineer*, PT Ang and Fang Brother berupa *database* hasil pengeboran.

3. Analisis laboratorium dan pengolahan data

Analisis laboratorium dilakukan untuk mendapatkan data dari sampel penelitian berupa analisis Petrografi dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Tahapan pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan *output* data penelitian dengan menggunakan *software Microsoft Excel, Match!3* untuk analisis *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *software IBM SPSS Statistics v.20* untuk menganalisis hubungan antara unsur dan senyawa.

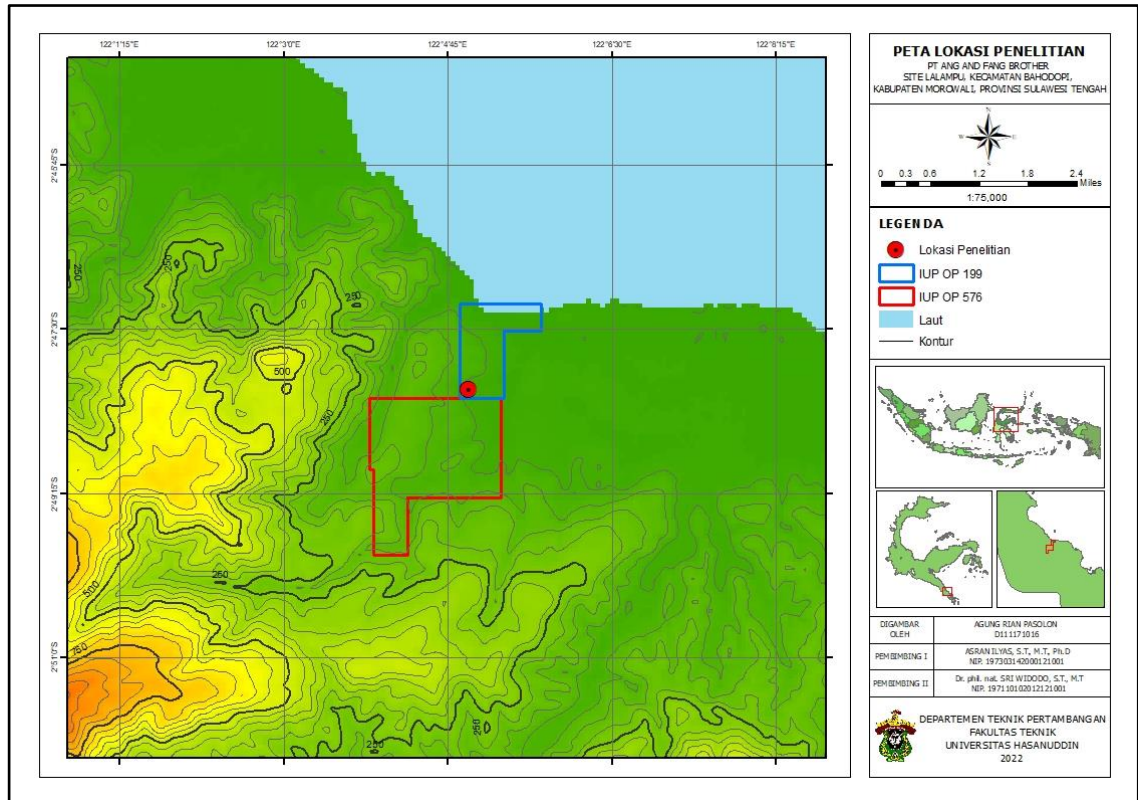
4. Penyusunan laporan tugas akhir

Tahap penyusunan laporan dilaksanakan untuk melaporkan hasil kegiatan dan hasil data penelitian yang telah diperoleh, serta mengkaji pembahasan dan penarikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

1.6 Lokasi Penelitian

Pelaksanaan kegiatan penelitian dilakukan di lokasi Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT Ang and Fang Brother, *Site* Lalampu yang terdiri dari IUP 576 dan IUP 199, yang secara administratif terletak di Desa Lalampu, Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah. Secara geografis PT Ang and Fang Brother, *Site* Lalampu berbatasan dengan Laut Banda di sebelah utara, Desa Bahodopi di sebelah timur, IUP perusahaan Bintang Delapan Mineral di sebelah selatan, dan Desa Siung Batu di sebelah barat.

Secara astronomis, PT Ang and Fang Brother, *Site* Lalampu terletak pada koordinat 122°05'0" BT sampai 122°05'10" BT dan 2°47'25" LS sampai 2°47'40" LS. Lokasi penelitian berjarak sekitar ± 853 km dari Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan dan dapat ditempuh dengan menggunakan alat transportasi darat dengan waktu tempuh ± 24 jam. Berikut ini merupakan peta tunjuk lokasi penelitian seperti yang terlihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian.

BAB II

GEOLOGI, KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN GEOKIMIA

PROFIL ENDAPAN NIKEL LATERIT

2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

Pulau Sulawesi berada pada zona konvergen tiga lempeng tektonik, yakni Lempeng Eurasian, Lempeng Pasifik, dan Lempeng India-Australia. Pulau Sulawesi juga memiliki empat sabuk litotektonik yakni Sabuk Batuan Gunung Api Sulawesi Barat, Sabuk Kompleks Metamorfik Sulawesi Tengah, Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur, dan Fragmen Kontinental Banggai-Sula, Tukang Besi, dan Buton. Daerah penelitian berada pada Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur yang memiliki luas 700 km² dari utara ke selatan dan tersingkap lebih dari 15.000 km². Batuan ultramafik banyak ditemukan pada Sabuk Ofiolit ini, di antaranya Iherzolit, harzburgit, dan peridotit, dengan beberapa dunit dan piroksinit. Selain itu, ada dua litologi lain yang terjadi di sekitar kompleks batuan ultramafik ini, yaitu batuan sedimen aluvial dan batuan sedimen berumur Kwartir dan Kapur (Kadarusman *et al.*, 2004).

Daerah Lembar Bungku secara astronomis dibatasi oleh 121°30' – 123°00' Bujur Timur dan 2°00' – 3°00' Lintang Selatan yang meliputi daerah seluas 4.500 km². Bagian selatan berbatasan dengan Lembar Kendari, bagian barat berbatasan dengan Lembar Malili, bagian utara berbatasan dengan Lembar Poso dan Lembar Batui, serta bagian timur berbatasan dengan Lembar Kepulauan Sula.

2.1.1 Geomorfologi daerah penelitian

Morfologi di daerah Lembar Bungku dapat dibagi menjadi lima satuan, yakni dataran rendah, dataran menengah, pebukitan bergelombang, topografi karst, dan pegunungan. Morfologi dataran rendah mempunyai ketinggian antara 0 m dan 50 m di

atas permukaan laut. Dataran ini menempati daerah sepanjang pantai timur Lembar, kecuali pantai di dekat Desa Todua, Tabo, dan Lalompe. Endapan penyusunnya terdiri atas endapan sungai, pantai, dan rawa. Morfologi dataran menengah menempati daerah di sekitar Desa Tokolimbu dan Tosea yang terletak di pantai timur Danau Towuti, serta daerah yang terletak antara Danau Mahalona dan Bulu Biniu. Dataran ini tersusun oleh endapan danau yang memiliki ketinggian sekitar 300 m di atas permukaan laut. Morfologi pebukitan bergelombang, memiliki ketinggian antara 100 m dan 400 m di atas permukaan laut. Pebukitan ini menempati daerah antara Ongkaya dan Bulu Mbelu, sebelah utara Pegunungan Verbeek, sekitar daerah Lamona, Bahu Mahoni, Kampung Tabo, serta Bulu Talowa. Batuan penyusun pebukitan ini adalah batuan sedimen dengan Formasi Tomata. Topografi karst, memiliki ketinggian antara 400 m dan 800 m di atas permukaan laut, dicirikan dengan adanya pebukitan kasar dan sungai bawah tanah. Pebukitan karst meliputi daerah Ongkaya, Tetambahu, antara Bahu Mbelu dan Wata, antara Ambuno ke arah tenggara hingga Wahombaja, serta daerah perbukitan selatan yang membentang dari Pegunungan Wawoombu di barat hingga Pegunungan Lalompa di timur. Daerah pebukitan karst ditempati oleh batuan karbonat dengan Formasi Tokala, Matano, dan Salodik. Morfologi pegunungan, umumnya ditempati oleh batuan ultramafik, berketinggian lebih dari 700 m di atas permukaan laut. Daerah pegunungan ini menempati lebih dari separuh daerah Lembar, yakni pegunungan sekitar punggung pemisah air Bulu Karoni yang ke arah barat laut hingga tenggara, serta punggung pemisah air Wawoombu yang arahnya dari baratdaya hingga timurlaut. Puncak-puncaknya antara lain Bulu Lampesu dan Bulu Karoni.

Pola aliran sungai umumnya meranting. Beberapa sungai memiliki pola hampir sejajar, yaitu Sungai Bahodopi, Sungai Bahumahoni, dan Sungai Wosu. Sungai yang terletak di sebelah timur punggung pemisah air Bum Karoni, mengalir ke arah timur dan bermuara di Teluk Tolo, serta yang terletak di sebelah barat punggung pemisah

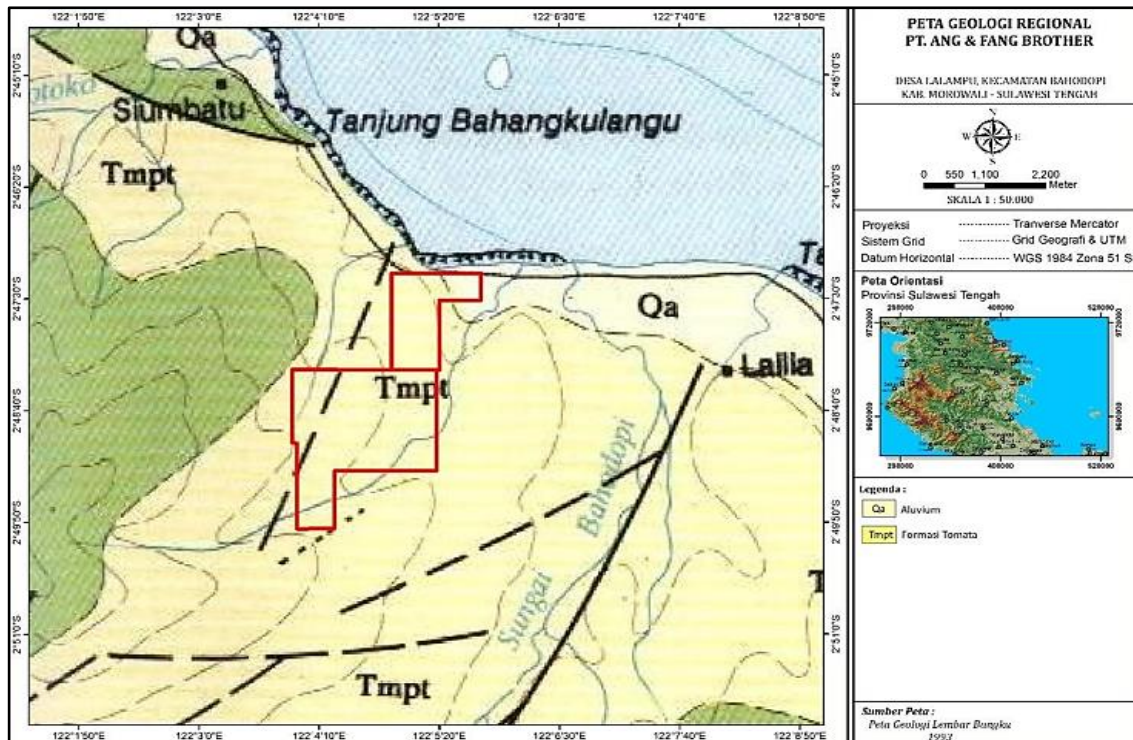
air Bulu Karoni dan Wawoombu mengalir ke arah barat dan bermuara di Danau Towuti. Sungai yang terletak antara punggung pemisah air Wawoombu dan Bulu Karoni mengalir ke arah selatan dan bermuara di Teluk Tolo di luar Lembar Bungku.

2.1.2 Stratigrafi daerah penelitian

Satuan batuan di Lembar Bungku dapat dikelompokkan dan ditempatkan dalam dua mandala, yaitu Fragmen Kontinental Banggai-Sula dan Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur (Sukanto, 1975a).

- a. Fragmen Kontinental Banggai-Sula meliputi Formasi Tokala (TRJt) terdiri atas batugamping klastika dengan sisipan batupasir sela, diduga berumur Trias hingga Jura Awal. Formasi Tokala ditindih secara selaras oleh Formasi Nanaka (Jn) yang terdiri atas konglomerat, batupasir kuarsa mikaan, serpih, dan lensa batubara yang diperkirakan berumur Jura Akhir. Formasi Masiku (KJn) terdiri dari batusabak, filit, batupasir, batugamping, dan berumur antara Jura Akhir hingga Kapur Awal. Formasi Salodik (Tems) diendapkan pada Eosen Akhir hingga Miosen Awal yang terdiri atas kalsilit, batugamping pasir, dan batupasir.
- b. Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur meliputi Kompleks Ultramafik (Ku) yang sampai saat ini umumnya masih dianggap yang paling tua. Batuannya terdiri dari harzburgit, lherzolit, wehrlit, websterlit, serpentinit, dunit, dan gabro. Secara tektonik Kompleks Ultramafik menindih satuan batuan yang berumur Mesozoikum, baik dari Fragmen Kontinental Banggai-Sula ataupun Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur. Formasi Matano (Km) terdiri atas kalsilit hablur bersisipan napal, serpih dan rijang diduga berumur Kapur Akhir. Formasi Matano secara tidak selaras tertindih oleh Formasi Tomata (Tmpt) yang terdiri dari atas batupasir, lempung, tuf, dan konglomerat dengan sisipan lignit, yang diperkirakan berumur Miosen Akhir hingga Pliosen. Di beberapa tempat terdapat Aluvium (Qa) yang menindih secara tidak selaras pada Formasi Tomata. Aluvium berupa endapan sungai, pantai

rawa, dan danau, terdiri atas kerikil, kerakal, dan pasir lempung. Endapan muda tersebut diduga berumur Plistosen hingga Holosen. Secara khusus peta geologi regional daerah penelitian terlihat pada Gambar 2.1 dibawah ini.



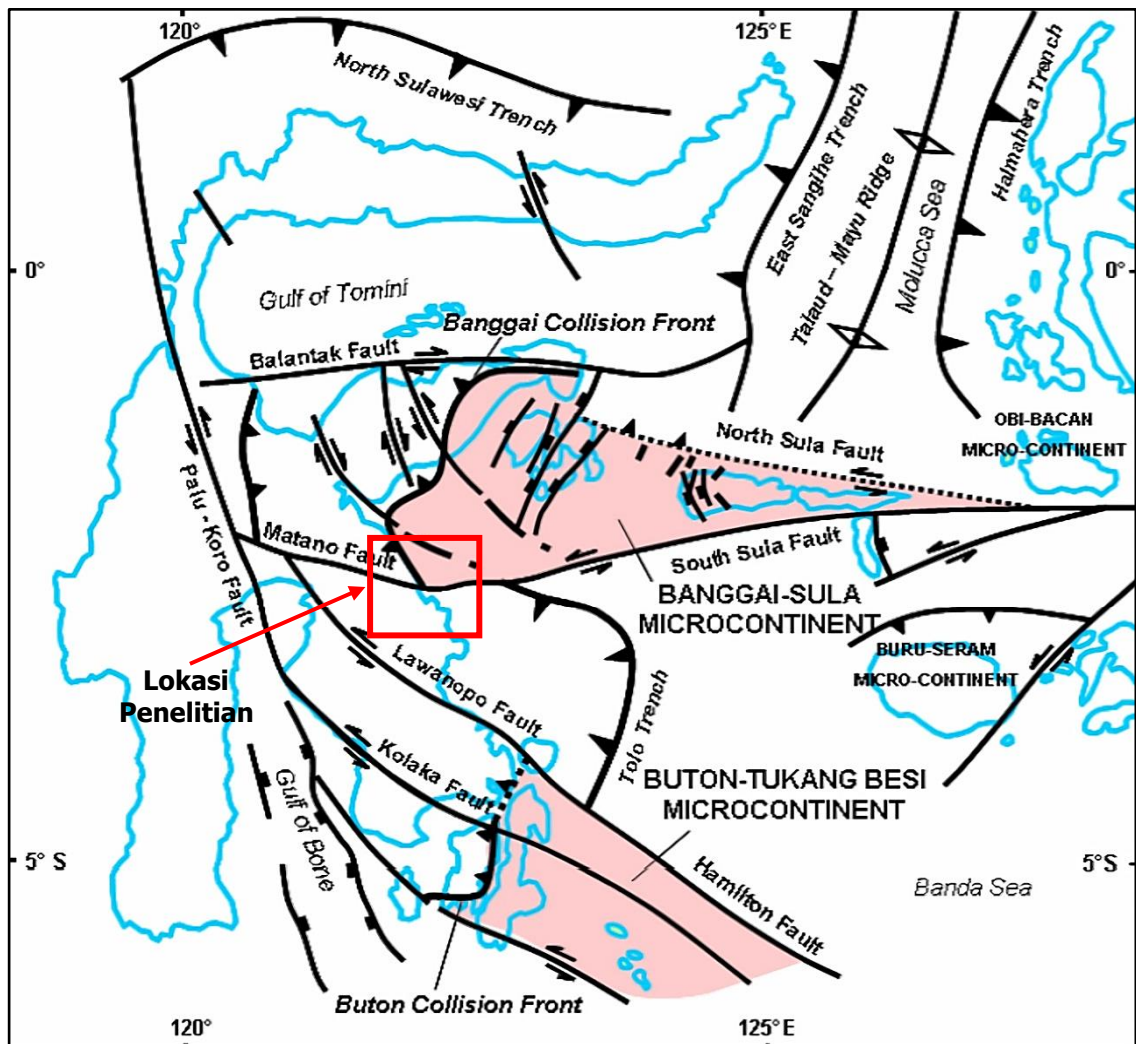
Gambar 2.1 Peta geologi regional sekitar daerah penelitian (PT Ang and Fang Brother).

Daerah penelitian seperti pada Gambar 2.1 terdapat endapan permukaan berupa Aluvium (Qa) berupa lempung, pasir, kerikil, dan kerakal. Aluvium berupa endapan sungai, rawa, danau, dan pantai yang diperkirakan berumur Plistosen hingga Holosen. Sebarannya terdapat di sepanjang tepi danau dan pantai timur Lembar Bungku. Selain itu, satuan batuan pada daerah penelitian berada pada Sabuk Ophiolit Sulawesi Timur dengan Formasi Tomata (Tmpt) sebagai penyusun utama. Formasi Tomata (Tmpt) memiliki perselingan batupasir konglomerat, batulempung, dan tuf dengan sisipan lignit. Formasi ini pada bagian atas disusun oleh batuan klastika kasar dan pada bagian bawah disusun oleh batuan klastika halus. Sebaran Formasi Tomata meliputi daerah selatan Desa Tanoa, Bahu Mbelu, dan dekat Desa Sawogi, Lamona, Bahu Mahoni, sepanjang Sungai Bahodopi, dan daerah sebelah barat Bulu Warungkelewatu. Tebal formasi ini

adalah sekitar 1000 m dan nama Formasi Tomata berasal dari Desa Tomata (Lembar Malili) tempat ditemukannya singkapan yang baik. Selain keterdapatannya endapan Aluvium (Qa), daerah penelitian juga tersusun atas persebaran batuan beku yang berada pada Kompleks Ultramafik (Ku), dan batuan konglomerat.

2.1.3 Struktur geologi daerah penelitian

Struktur utama di sekitar daerah penelitian berupa sesar dan lipatan. Sesar meliputi sesar turun, sesar geser, sesar naik, dan sesar sungkup. Penyesaran diduga berlangsung sejak Mesozoikum (Satyana, 2011). Gambar pola struktur regional Pulau Sulawesi terlihat pada Gambar 2.2 di mana daerah penelitian terdapat di dalamnya.



Gambar 2.2 Tektonik di Sulawesi Timur, yang terbentuk dari kolisi antara Lengan Timur Sulawesi dan Mikrokontinen Buton-Tukang Besi dan Mikrokontinen Banggai-Sula (Satyana, 2011). Lokasi daerah penelitian di beri tanda kotak merah.

Daerah penelitian berada di Sesar Matano yang merupakan sesar utama dengan arah baratlaut hingga tenggara. Sesar ini menunjukkan gerakan mengiri, diduga bersambung dengan Sesar Sorong. Keduanya merupakan satu sistem sesar jurus yang mungkin telah terbentuk sejak Oligosen. Kelanjutannya diperkirakan pada Sesar Palu-Koro yang juga menunjukkan gerakan mengiri. Sesar yang lain di daerah ini lebih kecil dan merupakan sesar tingkat kedua atau tingkat ketiga.

Lipatan yang terdapat di Lembar ini tergolong lipatan terbuka, tertutup, dan pergentengan.

- a. Lipatan terbuka berupa lipatan lemah yang mengakibatkan kemiringan lapisan tidak melebihi 35° . Lipatan ini terdapat dalam batuan yang berumur Miosen hingga Plistosen. Biasanya sumbu lipatannya menggelombang dan berarah barat-timur sampai baratlaut-tenggara.
- b. Lipatan tertutup berupa lipatan sedang sampai kuat yang mengakibatkan kemiringan lapisan 50° sampai tegak. Setempat, lapisan itu hingga terbalik. Lipatan ini terdapat dalam batuan sedimen Mesozoikum, dengan sumbu lipatan yang umumnya berarah baratlaut-tenggara. Lipatan ini terbentuk pada Oligosen atau lebih tua.
- c. Lipatan pergentengan terdapat dalam satuan batuan Mesozoikum, pada Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur dan Fragmen Kontinental Banggai-Sula. Sumbu lipatannya berarah baratlaut-tenggara.

Kekar terdapat dalam hampir semua satuan batuan, tetapi terutama dalam batuan beku dan batuan sedimen Mesozoikum. Proses terjadinya diperkirakan dalam beberapa periode, sejalan dengan perkembangan tektonik di daerah ini. Sejarah pengendapan batuan sedimen dan perkembangan tektonik di Lembar Bungku diduga sangat erat hubungannya dengan perkembangan Fragmen Kontinental Banggai-Sula pada akhir Paleozoikum. Pada zaman Trias, terjadi pengendapan Formasi Tokala yang

berlangsung sampai Jura Awal. Kemudian pada Jura Akhir menyusul proses pengendapan Formasi Nanaka secara selaras di atasnya. Pada Eosen Akhir hingga Miosen Awal, Formasi Salodik diendapkan secara tidak selaras di atas lingkungan laut dangkal sampai darat. Ketiga satuan ini terbentuk di tepian benua yang saat ini berupa Sabuk Ofiolit Banggai-Sula.

2.2 Endapan Nikel Laterit

2.2.1 Nikel laterit

Nikel laterit merupakan endapan mineral yang berasal dari proses pelapukan kimiawi dan pengayaan supergen dengan kondisi suhu cukup tinggi berkisar antara 27 – 31°C, curah hujan yang cukup tinggi, dan dikontrol oleh pergerakan fluktuatif muka air tanah pada saat pembentukannya (Wardhani dan Yuwanto, 2021). Nikel laterit dicirikan oleh adanya logam oksida berwarna coklat kemerahan yang mengandung Ni dan Fe (Cahit *et al.*, 2017). Endapan nikel laterit berasal dari batuan beku ultramafik yang berada di permukaan bumi dan banyak di temukan pada endapan hasil pelapukan kelompok batuan beku peridotit yang kaya akan mineral-mineral olivin, piroksin, dan hornblende, kemudian dunit yang kaya akan mineral olivin, piroksinit yang kaya akan mineral ortopiroksin dan klinopiroksin, serta serpentinit yang kaya akan mineral serpentin (Kusuma dkk., 2019).

Proses pelapukan kimiawi dan pengayaan supergen berlangsung selama jutaan tahun dimulai ketika batuan ultramafik tersingkap di permukaan bumi. Proses pelapukan pada batuan peridotit menyebabkan unsur-unsur dengan mobilitas rendah sampai *immobile* seperti Ni, Fe dan Co yang mengalami pengayaan secara residual dan sekunder. Perilaku berbagai unsur selama proses laterisasi pada dasarnya dikendalikan oleh dua faktor yaitu sifat kimia tertentu dari unsur itu sendiri (geokimia) dan kondisi

lingkungan yang berlaku (suhu, curah hujan, kondisi batuan, dan kondisi pH). Peranan unsur pada pelapukan laterit dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Burger, 1996; Ahmad, 2009).

Tabel 2.1 Peran beberapa unsur selama pelapukan laterit (Ahmad, 2009).

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

2.2.2 Tipe endapan nikel laterit

Brand (1998) dalam Anbiyak dan Cahyaningrum, 2020, membagi cebakan nikel laterit menjadi tiga tipe. Pertama cebakan oksida yang dicirikan oleh kehadiran mineral goetit yang dominan di mana nikel berasosiasi dengan Fe-hidroksida dan terkadang kaya

akan oksida Mn dan Co. Kadar nikel pada tipe endapan ini bervariasi antara 1,0 – 1,6% Ni. Kedua adalah cebakan Mg silikat hidrat, dicirikan oleh dominasi mineral Mg-Ni hidrat seperti garnierit dan sepiolit serta mengandung kadar nikel rata-rata sebesar 1,6% Ni. Ketiga adalah cebakan lempung silikat yang dicirikan oleh keterdapatannya banyaknya mineral lempung dan secara umum, rata-rata kadar nikel pada tipe endapan ini lebih rendah dibandingkan dengan cebakan Mg silikat hidrat. Nikel biasanya terkandung dalam mineral smektit dan saponit dan memiliki kandungan nikel 1,0 – 1,5% (Freysinet *et al.*, 2005).

Cebakan nikel laterit biasanya merupakan kombinasi dari ketiga tipe cebakan di atas dan cebakan oksida merupakan tipe yang selalu ada pada semua profil nikel laterit, kecuali jika cebakan tersebut sudah tererosi. Cebakan nikel laterit yang berkembang di Indonesia biasanya merupakan gabungan antara tipe cebakan oksida dan *hydrous* Mg *silicate*, di mana tipe oksida lebih dikenal sebagai lapisan limonit (Freysinet *et al.*, 2005; Prasetyo, 2016).

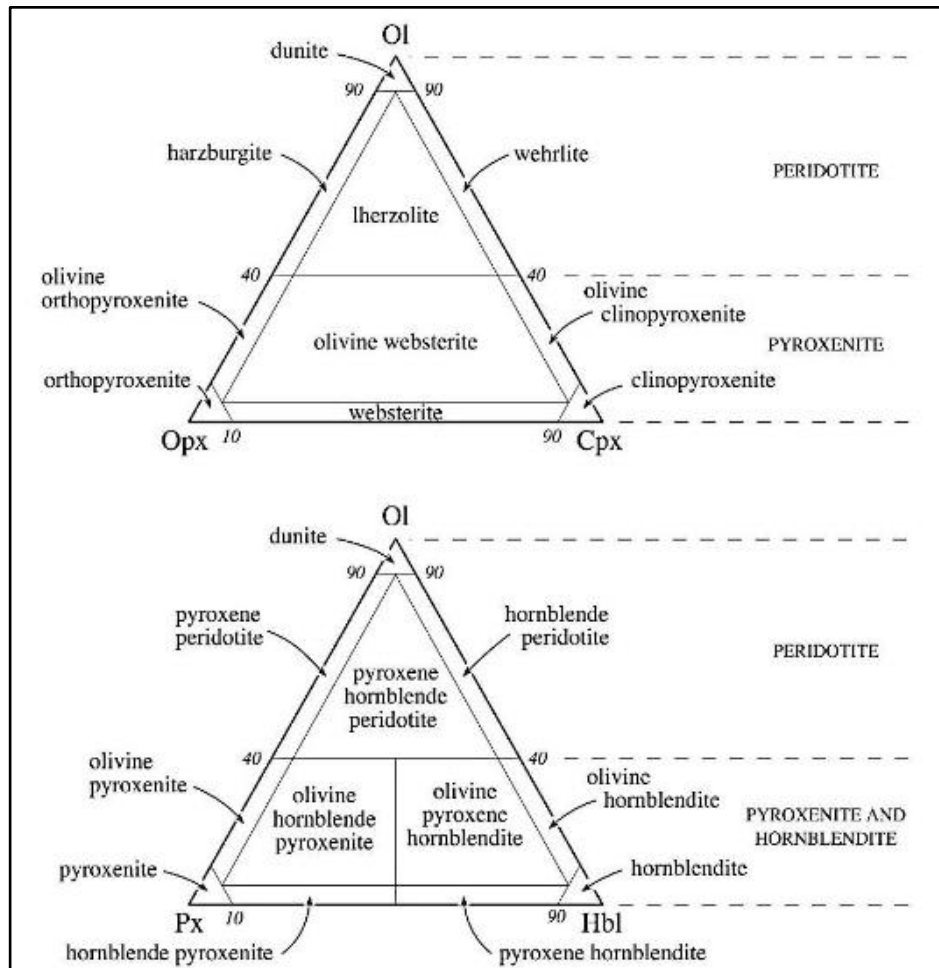
2.3 Genesis Endapan Nikel Laterit

Faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi dan pembentukan nikel laterit adalah sebagai berikut:

2.3.1 Geologi batuan dasar

Batuan induk endapan nikel laterit adalah batuan ultramafik. Batuan ultramafik adalah batuan yang kaya mineral *ferromagnesian* tanpa memperhatikan kandungan silika, feldspar, dan feldspatoid. Batuan ultramafik merupakan batuan yang kaya mineral olivin, piroksin, amfibol, dan biotit, serta memiliki indeks warna lebih dari 70 %. Klasifikasi batuan ultramafik seperti pada Gambar 2.3. Batuan ultramafik terjadi dalam berbagai cara, sebagian besar berasal dari diferensiasi magma pada magma basaltik yang merupakan batuan plutonik berupa tubuh *sill*, *stock*, dan *dyke* serta terbentuk juga

sebagai inklusi dalam aliran lava basaltik. Keterdapatan mereka di beberapa posisi tersebut merupakan awal terbentuknya rekristalisasi magma (Ahmad, 2006).



Gambar 2.3 Klasifikasi batuan ultramafik berdasarkan komposisi mineral olivin, ortopiroksin (opx), dan klinopiroksin (cpx), menurut Streckeisen (1976) dalam Le Maitre, 2002.

Alterasi batuan ultramafik yaitu serpentinisasi, mengubah mineral-mineral batuan ultramafik sehingga teksturnya ikut berubah. Mineral yang berubah menjadi serpentin terdiri dari olivin dan ortopiroksin. Mineral olivin tersebut berubah menjadi mineral serpentin pada suhu berkisar dari 200°C – 500°C, namun pada suhu yang lebih tinggi yaitu 500°C – 625°C olivin berubah menjadi talk. Pada suhu 625°C – 800°C olivin berubah menjadi enstatit dan kemudian talk, sedangkan pada suhu lebih dari 800°C olivin berubah menjadi enstatit (Ahmad, 2006).

Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi geologi batuan dasar adalah sebagai berikut (Butt *and* Cluzel, 2013):

a. Litologi

Nikel laterit terbentuk secara eksklusif pada batuan ultramafik yang kaya akan mineral olivin dan tingkat serpentinisasinya setara yang mengandung antara 0,2 – 0,4% unsur Ni. Jenis endapan sebagian dipengaruhi oleh litologi batuan ultramafik. Batuan peridotit dapat menimbulkan oksida dan kumpulan silikat Mg hidro atau silikat tanah liat, sedangkan dunit membentuk deposit oksida. Derajat serpentinisasi peridotit mempengaruhi sifat dan kelimpahan silikat Mg hidrat yang dalam profil dikembangkan di lingkungan bebas pengeringan. Pada batuan yang tidak mengalami serpentinisasi, endapan cenderung kaya oksida dengan hanya sedikit mineral silikat.

b. Struktur geologi

Struktur rekahan, sesar, dan zona geser pada batuan dasar dan *regolith* dapat mempengaruhi ketebalan dan jenis endapan nikel laterit. Sebagian besar, efek ini bersifat pasif dengan struktur yang sudah ada sebelumnya dan mempengaruhi drainase karakteristik baik dengan membentuk hambatan aliran air atau lebih umum dengan meningkatkan permeabilitas pelapukan yang lebih dalam dan konsentrasi kecenderungan unsur nikel di sepanjang zona rekahan. Demikian pula, pelapukan pada sesar-sesar yang ada di batuan dasar dan zona geser yang rendah di *regolith* yang terbentuk oleh keruntuhan lereng dapat menjadi fokus konsentrasi unsur nikel.

2.3.2 Iklim

Sebagian besar endapan nikel laterit terjadi di daerah tropis lembab saat ini. Banyak deposit nikel laterit seperti Indonesia (misalnya Sorowako) memiliki iklim hutan hujan yang ditandai dengan curah hujan lebih dari 1.800 mm per tahun. Thorne (2012)

menghitung bahwa nikel laterit berkembang di mana curah hujan melebihi 1.000 mm per tahun dan rata-rata suhu bulanan berkisar antara 22 – 31°C pada musim panas dan 15 – 27°C pada musim dingin. Curah hujan menentukan jumlah air hujan yang masuk ke tanah dan mempengaruhi intensitas pencucian dan pemisahan komponen-komponen yang larut. Semakin banyak air hujan yang masuk ke dalam profil endapan nikel laterit maka semakin intens pula proses pelapukan yang terjadi. Selain itu temperatur juga dapat mempengaruhi proses pelapukan di mana semakin tinggi temperatur rata-rata tanah (mendekati temperatur udara permukaan) akan meningkatkan gaya kinetik proses pelapukan (Butt *and* Zeegers, 1992).

2.3.3 Topografi

Topografi akan mempengaruhi pola aliran air. Kelerengan dan relief akan mempengaruhi intensitas air yang masuk ke dalam tanah atau batuan dan muka air tanah. Endapan laterit membutuhkan topografi yang tidak begitu curam dalam pembentukan endapan laterit. Endapan laterit akan sulit mengalami pelapukan pada permukaan tanah yang curam, karena akan mempercepat erosi pada tanah laterit, sedangkan topografi yang terlalu datar dengan drainase yang buruk juga tidak begitu bagus, hal ini menyebabkan pencucian berjalan kurang maksimal sehingga tanah laterit sulit terbentuk (Elias, 2005; Ahmad, 2009).

2.3.4 Reagen-reagen kimia dan vegetasi

Reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO₂ memegang peranan penting di dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam humus menyebabkan komposisi batuan dan dapat merubah pH larutan. Asam-asam humus erat kaitannya dengan vegetasi daerah. Dalam hal ini, vegetasi akan melibatkan penetrasi air dapat lebih dalam dan lebih mudah dengan mengikuti jalur akar-akar pohon, akumulasi air hujan akan lebih banyak dan humus akan lebih tebal. Keadaan ini merupakan suatu petunjuk, di mana

hutannya lebat pada lingkungan yang baik akan terdapat endapan nikel yang lebih tebal dengan kadar yang lebih tinggi (Isjudarto, 2013).

2.3.5 Waktu

Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi (Isjudarto, 2013).

2.4 Profil Endapan Nikel Laterit

Profil penampang endapan nikel laterit dapat dibagi menjadi beberapa zona utama, yaitu batuan dasar yang berada di bagian paling bawah dan tersusun dari batuan ultrabasa segar. Zona saprolit berkembang di atas batuan dasar dan tersusun dari fragmen-fragmen batuan dasar serta mineral magnesium silikat yang kaya akan nikel. Selanjutnya, terbentuk lapisan limonit yang didominasi oleh mineral oksida besi dan manga (Ahmad, 2009; Brand, 1998; Freyssinet *et al.*, 2005).

Profil endapan nikel laterit secara umum terbagi atas empat zonasi, yaitu (Nushantara, 2002):

1. Zona tanah penutup

Zona ini berada paling atas pada profil nikel laterit dan mempunyai kadar besi yang tinggi dengan kadar nikel yang rendah (kurang dari 1 %). Zona ini tersusun dari humus dan limonit. Pada zona ini mineral penyusunnya adalah goetit, hematit dan mangan yang mengindikasikan bahwa daerah tersebut telah lama tersingkap.

2. Zona limonit

Zona limonit merupakan pembentukan akhir pada proses pelapukan batuan ultramafik serta terkonsentrasinya elemen *non-mobile* yang diakibatkan proses pelindian pada batuan ultramafik. Zona ini kaya akan besi, namun kadar nikel pada zona ini antara 0,5% – 1% dengan mineral penyusunnya adalah goetit,

hematit, tremolit dan mineral-mineral lain yang terbentuk pada kondisi asam dekat dengan permukaan yang ber relief datar. Lapisan permukaan zona limonit bagian atas tersusun oleh sub zona lapisan *iron capping* berwarna merah yang disebut sebagai *red limonite*. Pada sub zona *iron capping* lapisan permukaan ini porositas buruk hingga sedang, sedangkan densitas material relatif tinggi dan kondisi asli tekstur batuan tidak teridentifikasi akibat proses pelapukan yang telah berlangsung sempurna. Bagian bawah lapisan *iron capping*, merupakan zona limonit berwarna merah kecoklatan atau kuning yang biasa disebut sebagai sub zona *yellow limonite*. Sementara pada bagian bawah sub zona *yellow limonite* disebut sebagai sub zona intermediet atau zona transisi. Pada bagian sub zona ini kandungan kadar besi relatif tinggi dibagian atas sedangkan pada bagian bawah relatif lebih rendah.

3. Zona saprolit

Zona saprolit berada di atas batuan dasar dengan kadar nikel yang tinggi antara 1,5% – 2%. Pada zona ini, umumnya *boulder-boulder* sebagian atau seluruhnya telah mengalami pelapukan, di mana proses pelapukan tersebut terjadi pada kekar batuan dasar. Tekstur atau fragmen dari batuan dasar masih dapat dikenali karena proses pelapukannya belum berlangsung dengan sempurna. Pada batuan dengan tingkat serpentinisasi yang tinggi, mengalami proses pelapukan dan tidak hanya berlangsung pada kekar dan patahan, tetapi terjadi pada massa batuan secara keseluruhan yang disebabkan karena lunaknya batuan yang memungkinkan muka air tanah terlibat sebagai agen pelapukan. Porositas per lapisan pada zona saprolit sedang – baik, sedangkan densitas material relatif rendah. Vertikal profil menunjukkan bahwa kandungan Fe pada bagian atas lebih tinggi dibandingkan pada bagian bawah. Pada zona saprolit, nikel merupakan produk residual, namun umumnya merupakan hasil proses pengayaan. Hal ini

disebabkan ketika muka air tanah yang bersifat asam pada bagian atas tiba-tiba meningkat menyebabkan terpisahnya mineral olivin dan terlepasnya magnesia, sehingga unsur nikel pada bagian atas terlarutkan dan diendapkan pada zona saprolit.

4. Zona batuan dasar (*bedrock*)

Zona batuan dasar berada paling bawah pada profil nikel laterit. Batuan dasar umumnya terdiri atas batuan peridotit, serpentin, peridotit terserpentinisasi, dan dunit yang belum mengalami proses pelapukan dengan kadar nikel yang rendah (kurang dari 1%) dan secara umum tidak mengandung mineral ekonomis untuk ditambang.

2.5 Mineralogi dan Geokimia Endapan Nikel Laterit

Mineral-mineral primer pada batuan ultramafik seperti mineral olivin dan piroksin. Mineral olivin dapat menghasilkan mineral sekunder seperti mineral krisotil, magnetit, saponit, nontronit, silika amorf, dan goetit, sedangkan mineral piroksin sebagai mineral primer akan menghasilkan mineral sekunder seperti mineral talk, smektit, dan goetit. Kemudian mineral serpentin sebagai mineral primer akan menghasilkan mineral sekunder seperti mineral smektit dan goetit. Rangkaian pembentukan mineral sekunder selama proses pembentukan laterit berbeda dengan mineral primer. Pelapukan yang terjadi pada olivin dan piroksin lebih kompleks daripada serpentin. Hal ini disebabkan tekstur serpentin yang lebih halus dan komposisi kimia yang lebih homogen dari pada olivin dan piroksin (Tardy, 1997).

Pelapukan pada batuan ultramafik menyebabkan unsur dan senyawa yang terdapat dalam batuan yang memiliki mobilitas tinggi akan terendapkan pada bagian bawah endapan laterit, sedangkan unsur dan senyawa yang memiliki mobilitas rendah akan mengalami pengkayaan residual dan terendapkan pada bagian atas endapan

laterit. Hal ini akan mempengaruhi komposisi mineralogi dan kelimpahan setiap unsur selama proses pelapukan endapan laterit (Ahmad, 2008).

Profil geokimia endapan nikel laterit merupakan gambaran dari suatu kondisi bahwa perilaku atau kecenderungan pola kelimpahan unsur ke arah bawah permukaan yang dipengaruhi oleh proses lateritisasi. Perilaku tersebut dipengaruhi oleh mobilitas unsur dan senyawa pada profil nikel laterit yang diketahui dari tingkat unsur dan senyawa tertentu yang mengalami perpindahan akibat aliran air tanah. Perilaku yang terjadi selama proses lateritisasi berlangsung pada proses pelindian, proses pengayaan supergen, serta residual unsur (Ahmad, 2008).

Analisis geokimia banyak digunakan untuk mengetahui kadar unsur dalam bentuk oksida mayor dan unsur tunggal seperti Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe dan juga menganalisis unsur-unsur minor dan unsur jejak, di antaranya Rb, Sr, Y, Nb, Zr, Cr, Ni, Cu, Zn, Ga, Ba, Pb, Th, La, Ce, Nd, Sm (Wilson, 1989). Lebih dari 99 % batuan terbentuk oleh 11 elemen senyawa utama oksida di antaranya SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , dan P_2O_5 (Best, 2003). Masing-masing zona profil nikel laterit ini mempunyai komposisi kimia unsur dan senyawa mayor dengan kandungan lebih besar dari 5% serta unsur dan senyawa minor dengan kandungan yang umumnya kurang dari 3%. Senyawa kimia mayor berupa MgO , FeO , SiO_2 , Al_2O_3 serta unsur dan senyawa minor berupa Ni, Co, Cr_2O_3 , MnO , CaO (Ahmad, 2006).

2.6 Analisis Statistik Univariat dan Bivariat

Analisis statistik univariat merupakan analisis statistika deskriptif yang dilakukan pada unsur dan senyawa terhadap variabel tunggal dan penggambaran karakteristik unsur dan senyawa dalam bentuk histogram. Analisis statistik bivariat berupa analisis korelasi yang digunakan untuk menentukan hubungan atau kekerabatan karakteristik distribusi unsur dan senyawa satu terhadap unsur dan senyawa lainnya. Analisis statistik

univariat dan bivariat dilakukan untuk memperoleh gambaran perilaku sebaran unsur dan senyawa (Faisal dkk., 2020).

Analisis statistik univariat menggunakan analisis statistik deskriptif yang terdiri dari nilai statistik berupa nilai minimum, nilai maksimum, mean, median, modus, standar deviasi, dan koefisien variasi serta disajikan dalam bentuk tabel. Metode penelitian deskriptif adalah metode yang digunakan untuk mengetahui nilai variabel mandiri atau lebih tanpa membuat perbandingan atau menggabungkan antara variabel satu dengan yang lainnya. Analisis bivariat berupa asosiatif yang bertujuan untuk membagi unsur dan senyawa ke dalam beberapa kelompok asosiasi unsur dan senyawa dengan cara melihat hubungan kekerabatan secara spasial. Penelitian asosiatif merupakan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui hubungan dua variabel atau lebih (Sugiyono, 2018). Salah satu metode yang digunakan pada analisis bivariat adalah metode koefisien korelasi Pearson. Metode koefisien korelasi Pearson bertujuan untuk menilai tingkat kekerabatan dari dua unsur dan senyawa atau lebih yang dinyatakan ke dalam koefisien Pearson (Ghazali dkk., 1986). Rumus dalam menentukan koefisien korelasi Pearson dinyatakan pada Rumus 2.1 (Sugiyono, 2018).

$$r_{xy} = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \sqrt{n \sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan:

- r_{xy} = Koefisien korelasi Pearson r
- n = Banyak pasangan nilai x dan y
- $\sum XY$ = Jumlah dari hasil kali nilai x dan y
- $\sum X$ = Jumlah nilai x
- $\sum Y$ = Jumlah nilai y
- $\sum X^2$ = Jumlah dari kuadrat nilai x
- $\sum Y^2$ = Jumlah dari kuadrat nilai y

Dalam penggunaan koefisien korelasi Pearson, perlu dilakukan dasar pengambilan keputusan sebelum melihat besaran nilai korelasi. Di mana, dasar pengambilan keputusan dilakukan dengan menguji signifikansi hubungan untuk kesalahan 0,05. Berikut ini merupakan rumus uji signifikansi koefisien korelasi Pearson dinyatakan pada Rumus 2.2 (Sugiyono, 2018).

$$t = \frac{r \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan:

- t = Nilai signifikansi
- r = Koefisien korelasi Pearson r
- n = Banyak data

Uji signifikansi memiliki taraf kesalahan sebesar 0,05 dengan ketentuan apabila nilai signifikansi kurang dari 0,05 maka berkorelasi, sedangkan jika nilai signifikansi lebih dari 0,05 maka tidak berkorelasi. Apabila hasil signifikansi yang didapatkan adalah 0,05 maka perlu dilakukan perbandingan koefisien korelasi Pearson terhadap nilai r tabel. Di mana, apabila nilai korelasi Pearson lebih dari nilai r tabel maka berkorelasi, dan apabila nilai korelasi Pearson kurang dari r tabel maka tidak berkorelasi (Sugiyono, 2018).

Berdasarkan interpretasi terhadap koefisien korelasi Pearson, Sugiyono (2018) membaginya dalam beberapa interval, seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Interval koefisien korelasi Pearson r (Sugiyono, 2018).

Interval Koefisien Korelasi (r)	Tingkat Hubungan
0,80 – 1,000	Sangat Kuat
0,60 – 0,799	Kuat
0,40 – 0,599	Sedang
0,20 – 0,399	Rendah
0,00 – 0,199	Sangat Rendah