

**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)**

Agung Rian Pasolon, Asran Ilyas, Sri Widodo*

Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia

**Email: srwd007@yahoo.com*

SARI

Secara regional, daerah penelitian berada pada Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur, khususnya pada Formasi Tomata (Tmpt), dan tersusun atas persebaran batuan beku yang berada pada Kompleks Ultramafik (Ku). Tersingkapnya batuan ultramafik, 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 ini berupa sampel tanah dan batuan serta data pengeboran sebanyak 59 titik. Kandungan mineral pada sampel teridentifikasi berdasarkan hasil analisis *X-ray Diffraction* dan Petrografi, sedangkan pada data pengeboran dilakukan analisis statistik univariat dan bivariat. Berdasarkan hasil analisis didapatkan himpunan mineral berupa goetit, hematit, klorit, dan kuarsa pada zona limonit; antigorit, enstatit, klorit, kuarsa, dan magnetit pada zona saprolit; serta lizardit, enstatit, spinel, dan magnetit 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 korelasi unsur dan senyawa pada zona limonit yaitu Cr vs Mn; SiO₂ vs MgO dan Ca; Ni vs Co dan Cr; Fe vs Co berkorelasi positif sangat kuat hingga kuat, sedangkan Fe vs SiO₂, MgO vs Al; Al vs Ni berkorelasi negatif kuat. Zona saprolit Fe vs Al, Cr, dan Co; Cr vs Mn dan Co; Mn vs Co; SiO₂ vs MgO; Fe vs Mn; Al vs Cr, Mn, dan Co berkorelasi positif sangat kuat hingga kuat, sedangkan Fe vs SiO₂ dan MgO; SiO₂ vs Co; MgO vs Cr dan Co; SiO₂ vs Al, Cr, dan Mn; MgO vs Al dan Mn berkorelasi negatif sangat kuat hingga kuat. Zona batuan dasar Fe vs Cr, Mn, dan Co; Cr vs Mn; Fe vs Al; Co vs Al, Cr, dan Mn berkorelasi positif sangat kuat hingga kuat, sedangkan MgO vs Fe dan Cr berkorelasi negatif kuat.

Kata kunci: Endapan nikel laterit, mineral, unsur dan senyawa, kadar, korelasi.

How to Cite: Pasolon, A.R., Ilyas, A., Widodo, S., 2022. 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. Jurnal Geomine, 10 (1): 01-12.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Article History:

Submit 18 April 2022

Received in from 18 April 2022

Accepted 30 April 2022

Licensed By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



ABSTRACT

Regionally, the study area is located in the Ophiolite Belt of East Sulawesi, particularly in the Tomata Formation (Tmpt), and is composed of igneous rock distribution in the Ultramafic Complex (Ku). The exposed of ultramafic rocks, caused the study area to contain elements of economic value such as nickel. The study aims to identify the constituent minerals, determine the abundance of elements and compounds, as well the correlation of major and minor elements and compounds based on the profile zone of laterite nickel deposits. Study data were in the form of soil and rock samples, and drilling data as many as 59 points. The mineral content of the study 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, enstatite, chlorite, quartz, and magnetite in the saprolite zone; and lizardite, enstatite, spinel, and magnetite in the bedrock zone, with the bedrock type being serpentized 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, where 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 of elements and compounds in the limonite zone are Cr vs Mn; SiO₂ vs MgO and Ca; Ni vs Co and Cr; Fe vs Co positive is very strong to strong correlation, while Fe vs SiO₂, MgO vs Al; Al vs Ni is strong negative correlation. Saprolite zone Fe vs Al, Cr, and Co; Cr vs Mn and Co; Mn vs Co; SiO₂ vs MgO; Fe vs Mn; Al vs Cr, Mn, and Co were very strong to strong positive correlation, while Fe vs SiO₂ and MgO; SiO₂ vs Co; MgO vs Cr and Co; SiO₂ vs Al, Cr, and Mn; MgO vs Al and Mn were very strong to strong negative correlation. Bedrock zones of Fe vs Cr, Mn, and Co; Cr vs Mn; Fe vs Al; Co vs Al, Cr, and Mn were very strong to strong positive correlation, while MgO vs Fe and Cr were strongly negative correlation.

Keywords: *Lateritic nickel deposits, mineral, elements and compounds, grade, correlation.*

PENDAHULUAN

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) (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, yang masuk ke dalam satuan Lembar Bungku. Daerah penelitian memiliki geologi regional yang berada pada Sabuk Ophiolit Sulawesi Timur, dengan satuan batuan berada pada Mandala Sulawesi Timur dengan endapan permukaan yaitu Aluvium (Qa), serta terdapat Formasi Tomata (Tmpt), dan persebaran batuan beku pada Kompleks Ultramafik (Ku) (Kadariusman et al., 2004).

Pembentukan endapan nikel laterit sangat dipengaruhi oleh proses pelapukan pada batuan ultramafik. Hal tersebut berpengaruh terhadap karakteristik profil endapan nikel laterit pada suatu daerah, sehingga akan memiliki perbedaan komposisi mineral dan kimia di setiap zona lateritisasi (Kurniadi *et al.*, 2017; Lintjewas dkk., 2019). Perbedaan karakteristik tersebut dapat diketahui berdasarkan sifat fisik, sifat kimia, serta pengamatan sifat optik untuk menentukan karakteristik endapan nikel laterit pada daerah tersebut (Arifin dkk., 2015). Studi tentang mineralogy dan geokimia endapan laterit di pulau Sulawesi dan Kalimantan telah dilakukan oleh beberapa peneliti (Nurhawaisyah, dkk., 2021; Sufriadin, dkk., 2021; 2020a; 2020b; 2019a; 2019b; 2018) Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada karakteristik mineralogi dan geokimia, dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik

mineral, kelimpahan unsur dan senyawa mayor dan minor, serta menganalisis korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor terhadap unsur dan senyawa lainnya berdasarkan zona profil endapan nikel laterit di daerah penelitian.

METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian berada pada Blok X PT Ang and Fang Brother, *Site* Lalampu, Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah. Penelitian ini dilakukan dengan metode Petrografi dan metode *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk analisis mineralogi, serta analisis korelasi Pearson untuk analisis geokimia. Tahap penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Kegiatan dan pengumpulan data lapangan

Pengumpulan data lapangan terbagi atas dua jenis data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer berupa sampel laterit yang terdiri dari sampel zona limonit, zona saprolit, dan zona *bedrock*. Sedangkan data sekunder berupa *database* pengeboran yang terdiri dari 59 data titik bor dengan 1.327 sampel profil endapan nikel laterit.

Analisis laboratorium

Sampel petrografi dipreparasi menjadi sayatan tipis dan dianalisis di Ruang Preparasi, Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin dengan menggunakan alat Mikroskop Polarisasi tipe Nikon Eclipse LV 100N Pol. Kemudian sampel XRD dipreparasi hingga 200 *mesh* di Ruang Preparasi PT Ang and Fang Brother, dan dianalisis di Laboratorium XRD dan XRF, Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin menggunakan alat XRD tipe Shimadzu Maxima-X XRD 7000.

Pengolahan data

Data hasil analisis laboratorium kemudian diolah menggunakan beberapa *software*, di mana hasil analisis XRD diolah dengan menggunakan *software match!*3 untuk menentukan himpunan mineral yang berada pada zona profil endapan nikel laterit. Sedangkan data pengeboran diolah dengan menggunakan *software microsoft excel* untuk mendapatkan data deskriptif, serta *software IBM SPSS Statistics v.20* untuk menentukan tingkatan, arah, dan klasifikasi korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor berdasarkan zona profil endapan nikel laterit di daerah penelitian.

HASIL PENELITIAN

Profil endapan nikel laterit daerah penelitian

Berdasarkan pengamatan lapangan, maka didapatkan karakteristik profil endapan nikel laterit, di mana *top soil* merupakan zona paling atas pada profil endapan laterit yang memiliki ketebalan 30 cm – 1 m dan memiliki komposisi berupa akar tumbuhan dan humus. Karakteristik zona ini dicirikan dengan warna merah kecoklatan dan memiliki tekstur material yang halus. Zona berikutnya merupakan zona limonit, yang memiliki karakteristik warna merah kecoklatan atau kuning kecoklatan dengan ketebalan yaitu 4 – 16 m pada pengamatan lapangan dan ditemukan beberapa jenis mineral yang terkandung di dalamnya seperti mineral goetit, magnetit, dan mangan.

Zona selanjutnya adalah zona saprolit yang memiliki karakteristik warna kuning kecoklatan dan kuning kehijauan, dengan ketebalan zona yaitu 5 – 15 m, dan terdiri dari material halus hingga kasar serta tekstur batuan asal yang masih terlihat jelas. Zona ini merupakan zona pengkayaan unsur nikel dan memiliki komposisi mineral seperti serpentin dan silikat. Batuan dasar merupakan zona paling bawah pada profil endapan laterit. Pada pengamatan lapangan, batuan dasar ini tergolong batuan beku ultrabasa yaitu batuan peridotit yang telah mengalami proses serpentinisasi dengan karakteristik warna abu-abu hingga kehitaman, tekstur granularitas faneritik, kristalinitas holokristalin, serta struktur yang masif dengan komposisi berupa mineral serpentin, piroksin, dan olivin. Profil endapan nikel laterit pada daerah studi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Profil endapan nikel laterit daerah studi

Karakteristik mineralogi endapan nikel laterit daerah studi

Pengamatan makroskopis pada sampel XC-BR01, XC-BR02, dan XC-BR03 memiliki warna segar adalah abu-abu kehitaman dan warna lapuk adalah kecoklatan, tekstur kristalinitas holokristalin, granularitas faneritik dan relasi equigranular, sedangkan struktur batuan adalah masif. Sampel batuan memiliki komposisi mineral yang terdiri dari kelompok mineral serpentin yang dominan, piroksin, olivin, kaolin, feldspar, dan biotit. Berdasarkan pengamatan fisik pada sampel batuan tersebut, maka diinterpretasikan sampel XC-BR01, XC-BR02, dan XC-BR03 adalah batuan peridotit berdasarkan klasifikasi Travis (1955). Sampel batuan dasar daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

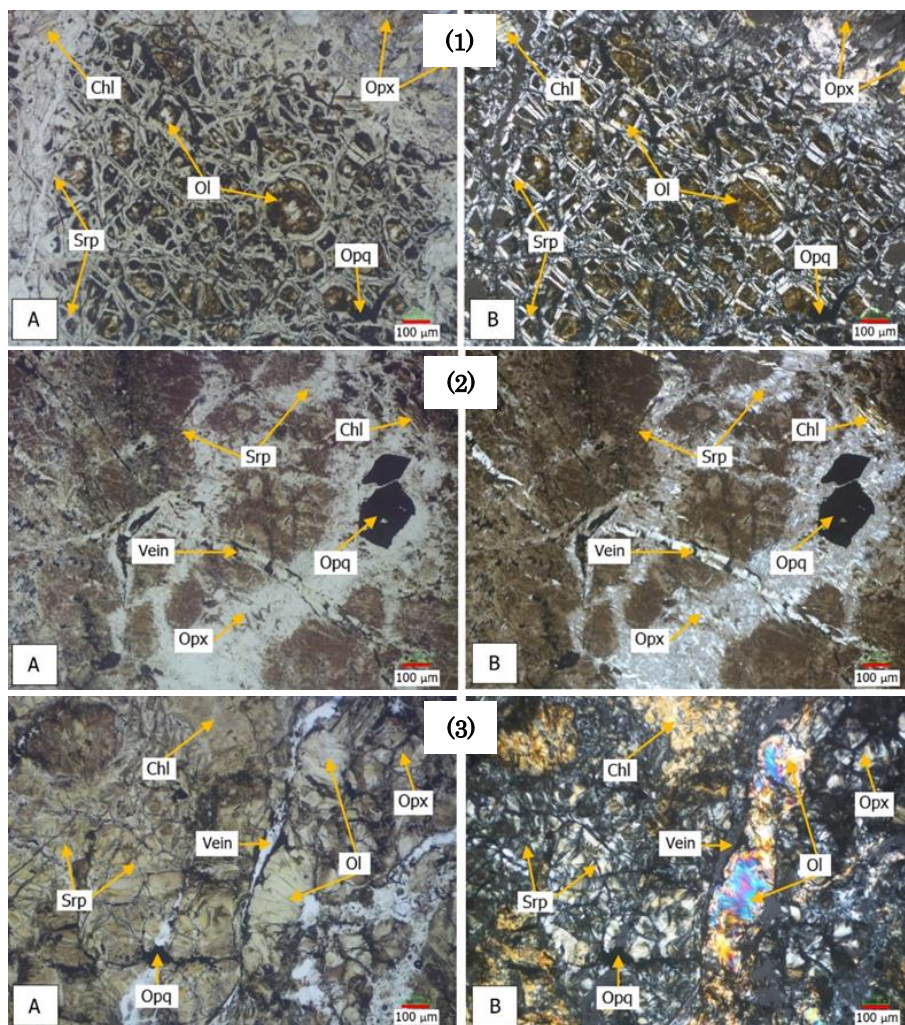


Gambar 2. Sampel batuan dasar daerah penelitian. (A) XC-BR01; (B) XC-BR02; (C) XC-BR03

Pengamatan mikroskopis pada sayatan tipis menunjukkan warna absorsi transparan pada nikol sejajar dan warna interferensi abu-abu kecoklatan pada nikol silang, memiliki tekstur granularitas faneritik, kristalinitas holokristalin, bentuk subhedral – anhedral, relasi equigranular, serta komposisi mineral terdiri dari serpentin, olivin, mineral opak, ortopiroksin, dan klorit.

Hasil pengamatan mikroskopis pada ketiga sampel *bedrock* seperti pada Gambar 3, dapat diindikasikan batuan penyusun daerah penelitian telah mengalami proses serpentinisasi

sedang hingga tinggi, yang mengubah mineral-mineral utama seperti olivin dan piroksin menjadi mineral serpentin. Sampel batuan dasar yang telah mengalami proses serpentinisasi tinggi yaitu XC-BR02 yang telah mengurai mineral olivin secara keseluruhan serta mineral piroksin yang terlapukkan namun masih dapat ditemukan. Kemudian pada sampel XC-BR01 memperlihatkan struktur jaring (*mesh structur*) yang menunjukkan mineral olivin telah mengalami proses alterasi lemah terhadap mineral serpentin dan mengikat mineral olivin tersebut. Pada sampel XC-BR02 dan XC-BR03 memperlihatkan mineral opak yang mengisi rekahan dan berasosiasi dengan mineral serpentin. Berdasarkan analisis petrografi, maka dapat diinterpretasikan batuan dasar daerah penelitian merupakan batuan harzburgit terserpentinisasi (kelompok peridotit) menurut klasifikasi Streckeisen (1976).

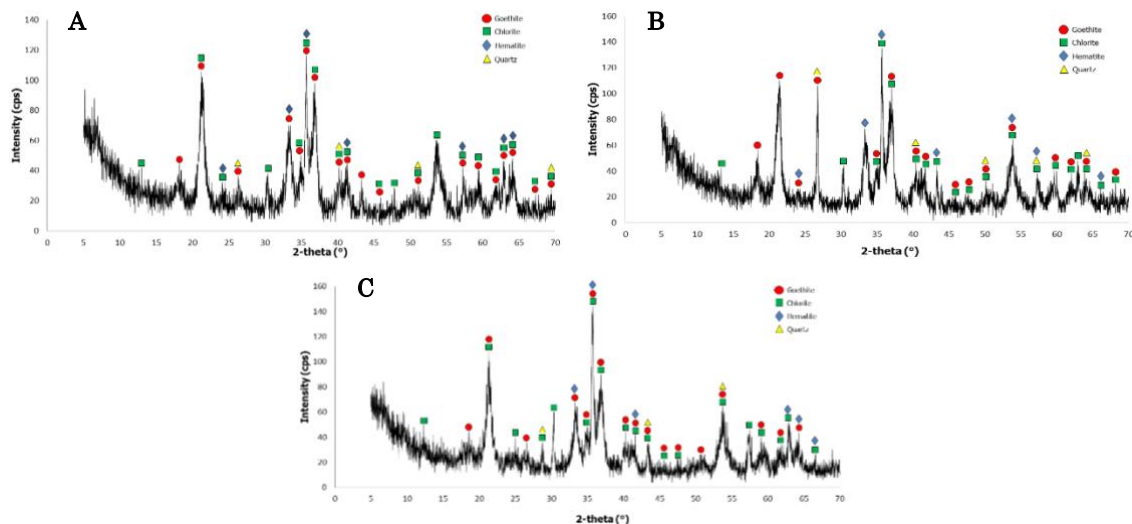


Gambar 3. Fotomikrograf sayatan tipis batuan dasar (1) sampel XC-BR01; (2) sampel XC-BR02; (3) sampel XC-BR03, di mana (A) Fotomikrograf nikol sejajar; (B) Fotomikrograf nikol silang. Keterangan: srp = serpentin, ol = olivin, chl = klorit, opq = opak, opx = ortopiroksin.

Pengujian dengan menggunakan analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan terhadap tiga sampel limonit, tiga sampel saprolit, dan tiga sampel *bedrock*. Berikut ini merupakan uraian hasil analisis XRD pada setiap zona profil endapan nikel laterit:

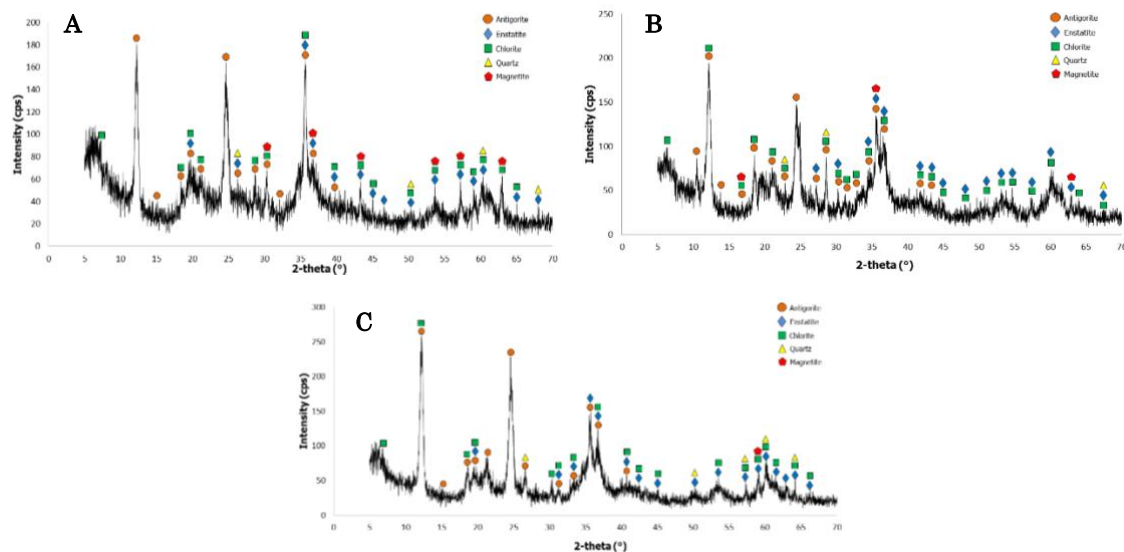
Komposisi mineral hasil data XRD pada sampel zona limonit terdiri dari mineral goetit, klorit, hematit, dan kuarsa. Zona ini didominasi oleh kelompok mineral oksida hidroksida yaitu hematit dan goetit, serta mineral klorit. Klorit merupakan mineral sekunder yang terbentuk dari proses alterasi oleh suhu dan tekanan dari mineral-mineral mafik seperti piroksin (mineral

utama batuan asal) dan mineral hematit. Mineral hematit terbentuk dari hasil dekomposisi mineral serpentin ketika proses pelapukan berlangsung. Kemudian mineral goetit terbentuk dari proses oksidasi mineral hematit akibat air tanah yang bersifat asam serta penambahan ion OH^- . Kehadiran mineral goetit dapat mengindikasikan pembentukan nikel pada zona saprolit. Selain itu, mineral kuarsa hadir dalam presentasi yang kecil dan terbentuk dari pengendapan air tanah jenuh silika akibat proses penguapan. Hasil analisis XRD pada zona limonit dapat dilihat pada Gambar 4.



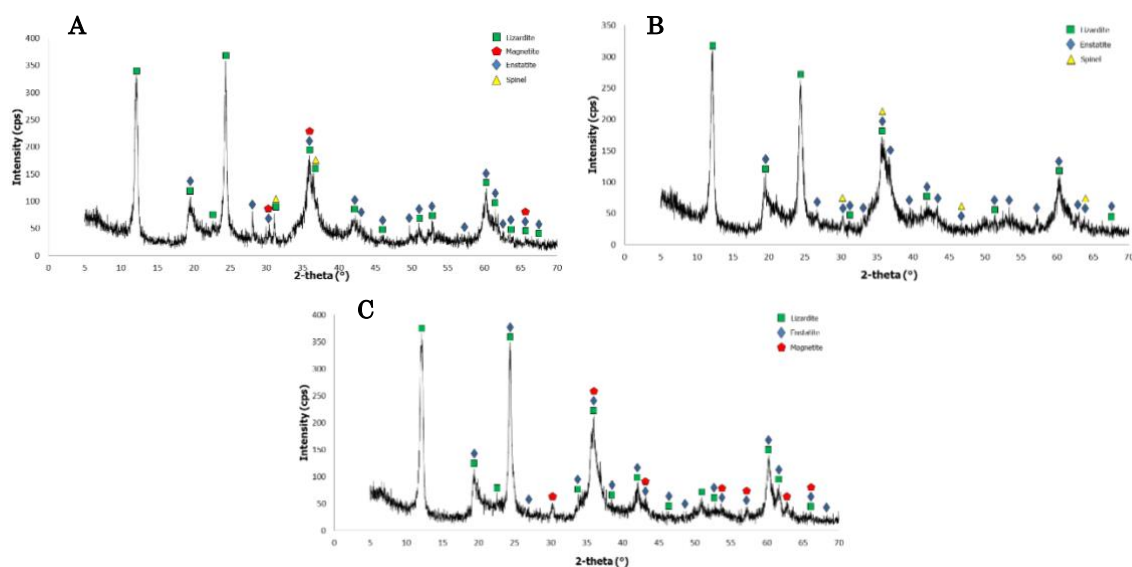
Gambar 4. Difraktogram keterdapatan mineral pada sampel zona limonit. (A) XC-LM01; (B) XC-LM02; (C) XC-LM03

Hasil analisis sampel pada zona saprolit memiliki karakteristik mineral yang terdiri dari mineral antigorit, enstatit, klorit, kuarsa, dan magnetit. Pada zona ini, didominasi oleh kelompok mineral serpentin yaitu antigorit yang memiliki presentasi yang cukup besar pada sampel XC-SP01, XC-SP02, dan XC-SP03. Mineral antigorit merupakan mineral hasil ubahan hidrotermal dari mineral primer yaitu olivin dan piroksin, sedangkan mineral enstatit (bagian kelompok mineral ortopiroksin) juga memiliki presentasi komposisi yang cukup besar. Kehadiran mineral-mineral tersebut yang mengindikasikan keterdapatan unsur nikel yang melimpah pada zona ini. Selain itu, mineral klorit, kuarsa, dan magnetit memiliki presentasi komposisi yang cukup kecil pada zona saprolit ini. Hasil analisis XRD pada zona saprolit dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Difraktogram keterdapatan mineral pada sampel zona saprolit. (A) XC-SP01; (B) XC-SP02; (C) XC-SP03

Hasil analisis sampel pada zona *bedrock* memiliki karakteristik mineral yang terdiri dari lizardit, magnetit, enstatit, dan olivin. Pada zona ini, didominasi oleh kelompok mineral serpentin yaitu lizardit dan kelompok mineral piroksin yaitu enstatit. Kehadiran kelompok mineral olivin yaitu spinel dan mineral magnetit memiliki komposisi yang kecil. Oleh karena itu, batuan dasar di lokasi penelitian diindikasikan telah mengalami proses serpentinisasi sedang hingga tinggi. Hal tersebut berkaitan dengan analisis petrografi, di mana sebagian besar batuan mengalami proses serpentinisasi yang mengubah mineral utama seperti olivin dan piroksin menjadi mineral serpentin. Kehadiran mineral magnetit berasal dari proses alterasi hidrotermal mineral enstatit sebagai mineral primer, dan mineral magnetit berasosiasi dengan mineral hematit dan ilmenit. Hasil analisis XRD pada zona batuan dasar dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Difraktogram keterdapatan mineral pada sampel zona *bedrock*. (A) XC-BR01; (B) XC-BR02; (C) XC-BR03

Karakteristik geokimia endapan nikel laterit daerah penelitian

Analisis geokimia digunakan untuk mengetahui kadar unsur dan senyawa mayor dengan kandungan unsur lebih dari 5% seperti MgO, SiO₂, Fe, dan Al, serta unsur minor dengan kandungan unsur kurang dari 3% seperti Ni, Co, Cr, Mn, dan Ca berdasarkan Ahmad (2006). Penyajian data deskriptif disajikan dalam bentuk tabel dan analisis korelasi yang di dasarkan pada tingkat hubungan unsur dan senyawa, serta merujuk dari buku statistik oleh Sugiyono (2018), di mana membagi tingkatan koefisien korelasi menjadi lima jenis tingkatan yaitu sangat kuat (0,80 – 1,00), kuat (0,60 – 0,79), sedang (0,40 – 0,59), rendah (0,20 – 0,39), dan sangat rendah (0,00 – 0,19). Sedangkan arah koefisien korelasi terbagi atas dua yaitu korelasi positif (0,00 – 1,00) dan korelasi negatif (0,00 – -1,00). Korelasi positif mengindikasikan peningkatan atau penurunan kadar unsur dan senyawa yang selaras, sedangkan korelasi negatif mengindikasikan peningkatan suatu unsur dan senyawa akan berbanding terbalik terhadap unsur dan senyawa lainnya. Penelitian ini difokuskan pada korelasi dengan tingkatan sangat kuat hingga kuat. Berikut merupakan hasil data geokimia setiap zona profil endapan nikel laterit di daerah penelitian. Data deskriptif unsur dan senyawa mayor dan minor zona limonit diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data deskriptif unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona limonit

Parameter	Unsur dan Senyawa Mayor (%)				Unsur Minor (%)				
	Fe	SiO ₂	MgO	Al	Cr	Ni	Mn	Ca	Co
Minimum	36,79	1,83	0,38	7,98	1,52	0,55	0,34	0,01	0,07
Maksimum	49,20	12,21	5,37	15,21	3,63	1,11	1,80	0,88	0,11
Mean	44,85	5,05	1,45	11,33	2,23	0,81	0,79	0,06	0,09
Median	45,23	4,57	0,98	11,42	2,22	0,80	0,79	0,02	0,09
Modus	36,79	2,99	0,92	9,57	2,06	0,72	0,81	0,01	0,09
StDev	2,33	2,29	1,08	1,64	0,33	0,12	0,21	0,12	0,01
CoefVar	0,05	0,45	0,75	0,14	0,15	0,15	0,27	2,08	0,07

Tabel 2. Korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona limonit

Korelasi	Klasifikasi Unsur dan Senyawa	Parameter Tingkat Korelasi				
		Sangat Kuat (0,8 - 1)	Kuat (0,6 - 0,79)	Sedang (0,4 - 0,59)	Rendah (0,2 - 0,39)	Sangat Rendah (0 - 0,19)
Positif	Mayor vs Mayor	-	SiO ₂ vs MgO	-	-	-
	Mayor vs Minor	-	Fe vs Co; SiO ₂ vs Ca	Fe vs Cr; Fe vs Mn; Ni vs MgO	Ni vs SiO ₂ ; MgO vs Ca	-
	Minor vs Minor	Cr vs Mn	Ni vs Cr; Cr vs Co; Mn vs Co	Ni vs Mn; Ni vs Co	-	-
Negatif	Mayor vs Mayor	-	Fe vs SiO ₂ ; MgO vs Al	Fe vs MgO	SiO ₂ vs Al	-
	Mayor vs Minor	-	Ni vs Al	Fe vs Ca; Al vs Cr	SiO ₂ vs Co; MgO vs Co; Al vs Mn	-
	Minor vs Minor	-	-	-	-	-

Hasil nilai koefisien korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona limonit ditunjukkan pada Tabel 2, di mana unsur Cr vs Mn memiliki arah korelasi positif dengan tingkat korelasi yang sangat kuat. Selain itu, unsur dan senyawa SiO₂ vs MgO dan Ca; Ni vs Co dan Cr; serta Co vs Fe, Cr, dan Mn juga memiliki arah korelasi positif dengan tingkat korelasi yang kuat pada zona limonit. Unsur dan senyawa Fe vs SiO₂, MgO vs Al, serta Al vs Ni memiliki arah korelasi negatif dan parameter tingkat korelasi yang kuat pada zona limonit.

Tabel 3. Data deskriptif unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona saprolit

Parameter	Unsur dan Senyawa Mayor (%)				Unsur Minor (%)				
	Fe	SiO ₂	MgO	Al	Cr	Ni	Mn	Ca	Co
Minimum	6,89	7,06	3,17	1,42	0,58	0,79	0,12	0,02	0,01
Maksimum	45,91	42,82	30,07	9,98	4,69	2,45	2,69	3,52	0,11
Mean	20,93	30,60	17,46	3,71	1,73	1,57	0,60	0,53	0,04
Median	19,98	32,46	18,62	3,55	1,52	1,53	0,45	0,42	0,04
Modus	6,89	31,07	18,70	3,62	1,27	1,51	0,42	0,26	0,04
StDev	9,42	8,58	6,42	1,75	0,91	0,28	0,52	0,52	0,02
CoefVar	0,45	0,28	0,37	0,47	0,53	0,18	0,87	0,99	0,51

Tabel 4. Korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona saprolit

Korelasi	Klasifikasi	Parameter Tingkat Korelasi				
	Unsur dan Senyawa	Sangat Kuat (0,8 - 1)	Kuat (0,6 - 0,79)	Sedang (0,4 - 0,59)	Rendah (0,2 - 0,39)	Sangat Rendah (0 - 0,19)
Positif	Mayor vs Mayor	Fe vs Al	SiO ₂ vs MgO	-	-	-
	Mayor vs Minor	Fe vs Cr; Fe vs Co	Fe vs Mn; Al vs Cr; Al vs Mn; Al vs Co	-	SiO ₂ vs Ca	-
	Minor vs Minor	Cr vs Mn; Cr vs Co; Mn vs Co	-	-	-	-
Negatif	Mayor vs Mayor	Fe vs SiO ₂ ; Fe vs MgO	SiO ₂ vs Al; MgO vs Al	-	-	-
	Mayor vs Minor	SiO ₂ vs Co; MgO vs Cr; MgO vs Co	SiO ₂ vs Cr; SiO ₂ vs Mn; MgO vs Mn	-	-	-
	Minor vs Minor	-	-	-	-	-

Data deskriptif unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona saprolit ditunjukkan pada Tabel 3. Korelasi unsur dan senyawa pada zona saprolit (Tabel 4) menunjukkan bahwa unsur dan senyawa Fe vs Al, Cr, Co, dan Mn; Cr vs Mn dan Co; Mn vs Co; SiO₂ vs MgO; serta Al vs Cr, Mn, dan Co memiliki arah korelasi positif dengan parameter tingkat korelasi yang kuat hingga sangat kuat. Selanjutnya unsur dan senyawa Fe vs SiO₂ dan MgO; SiO₂ vs Co, Al, Cr, dan Mn; serta MgO vs Cr, Co, dan Mn memiliki arah korelasi negatif dengan parameter tingkat korelasi yang kuat hingga sangat kuat pada zona saprolit.

Tabel 5. Data deskriptif unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona *bedrock*

Parameter	Unsur dan Senyawa Mayor (%)				Unsur Minor (%)				
	Fe	SiO ₂	MgO	Al	Cr	Ni	Mn	Ca	Co
Minimum	5,21	28,51	20,45	0,34	0,38	0,24	0,11	0,02	0,01
Maksimum	18,93	43,87	32,56	5,54	1,02	1,36	0,28	2,00	0,04
Mean	8,04	38,01	27,85	1,60	0,67	0,64	0,16	0,43	0,02
Median	7,70	38,67	28,32	1,44	0,65	0,61	0,15	0,37	0,01
Modus	6,63	37,82	29,80	1,42	0,57	0,59	0,14	0,37	0,01
StDev	2,12	2,70	2,54	0,69	0,12	0,24	0,03	0,36	0,00
CoefVar	0,26	0,07	0,09	0,43	0,18	0,38	0,21	0,83	0,27

Tabel 6. Korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona *bedrock*

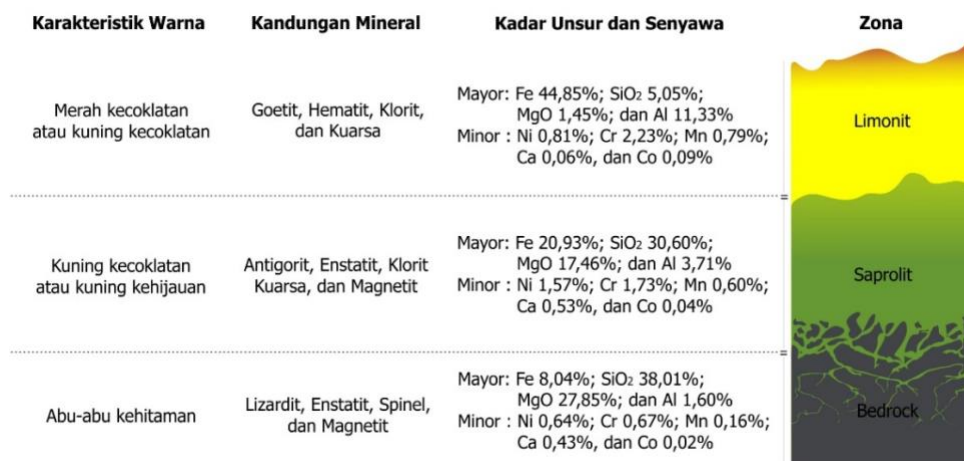
Korelasi	Klasifikasi	Parameter Tingkat Korelasi				
	Unsur dan Senyawa	Sangat Kuat (0,8 - 1)	Kuat (0,6 - 0,79)	Sedang (0,4 - 0,59)	Rendah (0,2 - 0,39)	Sangat Rendah (0 - 0,19)
Positif	Mayor vs Mayor	-	Fe vs Al	SiO ₂ vs MgO	-	-
	Mayor vs Minor	Fe vs Cr; Fe vs Mn; Fe vs Co	Al vs Co	Al vs Cr; Al vs Mn	Fe vs Ca; Al vs Ca	-
	Minor vs Minor	Cr vs Mn	Cr vs Co; Mn vs Co	-	Ni vs Cr; Cr vs Ca; Mn vs Ca	-
Negatif	Mayor vs Mayor	-	Fe vs MgO	Fe vs SiO ₂ , MgO vs Al	SiO ₂ vs Al	-
	Mayor vs Minor	-	MgO vs Cr	MgO vs Mn; MgO vs Ca; MgO vs Co	MgO vs Ni	-
	Minor vs Minor	-	-	-	-	-

Tabel 5 memperlihatkan data deskriptif unsur dan senyawa mayor dan minor pada zona *bedrock*. Hasil korelasi pada zona *bedrock* (Tabel 6), memperlihatkan unsur dan senyawa Fe vs Cr, Mn, Co dan Al; Al vs Co; Cr vs Mn dan Co; serta Mn vs Co memiliki arah korelasi positif dengan tingkat korelasi yang kuat hingga sangat kuat pada zona *bedrock*. Sedangkan unsur dan senyawa Fe vs MgO dan MgO vs Cr memiliki arah korelasi negatif dengan tingkat korelasi yang kuat pada zona *bedrock*.

Hasil karakteristik geokimia profil laterit dapat diinterpretasikan sifat dan perilaku unsur dan senyawa mayor dan minor yang dipengaruhi oleh proses laterisasi. Berdasarkan data deskriptif seperti pada Tabel 1, 3, dan 5 memperlihatkan unsur dan senyawa mayor dan minor yang memiliki mobilitas tinggi akan mengalami peningkatan kadar berdasarkan profil endapan nikel laterit. Unsur dan senyawa tersebut adalah SiO₂, MgO, dan Ca. Kemudian unsur dan senyawa mayor dan minor yang mengalami proses residual unsur akan mengalami penurunan kadar berdasarkan profil endapan nikel laterit. Unsur tersebut adalah Fe, Cr, dan Al. Selanjutnya unsur yang mengalami proses pengayaan supergen paling signifikan adalah unsur Ni. Hal tersebut terjadi dikarenakan unsur tersebut tidak mendapatkan suplai air tanah yang memiliki sifat asam sehingga unsur tersebut akan terakumulasi pada zona saprolit.

Berdasarkan hasil analisis mineralogi dan geokimia profil endapan nikel laterit di Blok X PT Ang and Fang Brother, *Site* Lalampu, Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali,

Provinsi Sulawesi Tengah, maka profil endapan nikel laterit berdasarkan karakteristik warna, kandungan mineral, dan kadar unsur serta senyawa mayor dan minor dapat digambarkan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Sketsa karakteristik profil endapan nikel laterit di daerah penelitian

KESIMPULAN

Karakteristik mineral pada zona limonit didominasi oleh kelompok mineral oksida hidroksida yaitu goetit dan hematit, serta terdapat klorit dan kuarsa dalam jumlah yang kecil. Pada zona saprolit didominasi oleh mineral kelompok serpentinit yaitu antigorit, selain itu terdapat mineral enstatit dengan komposisi yang besar, mineral klorit, serta kuarsa dan magnetit dalam jumlah yang kecil. Pada zona batuan dasar didominasi oleh mineral lizardit, mineral utama yaitu spinel dan enstatit, serta terdapat mineral magnetit. Kelimpahan unsur dan senyawa mayor dan minor pada profil endapan nikel laterit memiliki nilai kadar yang bervariasi. Di mana kadar senyawa mayor seperti SiO₂ dan MgO, serta unsur minor Ca akan meningkat ke arah bawah profil endapan nikel laterit, dan kadar unsur mayor seperti Fe dan Al, serta unsur minor seperti Cr, Mn, dan Co akan menurun ke arah bawah profil endapan nikel laterit, sedangkan Ni meningkat hingga saprolit. Korelasi unsur dan senyawa mayor dan minor memiliki korelasi yang kuat hingga sangat kuat dengan nilai r antara 0,60 – 0,79 (kuat) dan 0,80 – 1,00 (sangat kuat). Pada zona limonit unsur dan senyawa yang berkorelasi yaitu Cr vs Mn (positif sangat kuat), SiO₂ vs MgO dan Ca; Ni vs Co dan Cr; serta Co vs Fe, Cr, dan Mn (positif kuat), sedangkan Fe vs SiO₂, MgO vs Al, serta Al vs Ni (negatif kuat). Pada zona saprolit unsur dan senyawa yang berkorelasi yaitu Fe vs Al, Cr, dan Co; Cr vs Mn dan Co; Mn vs Co (positif sangat kuat), SiO₂ vs MgO; Fe vs Mn; Al vs Cr, Mn, dan Co (positif kuat), sedangkan Fe vs SiO₂ dan MgO; SiO₂ vs Co; MgO vs Cr dan Co (negatif sangat kuat), SiO₂ vs Al, Cr, dan Mn; serta MgO vs Al dan Mn (negatif kuat). Pada zona *bedrock* unsur dan senyawa yang berkorelasi yaitu Fe vs Cr, Mn, dan Co; Cr vs Mn (positif sangat kuat), Fe vs Al; Co vs Al, Cr, dan Mn (positif kuat), sedangkan MgO vs Fe dan Cr (negatif kuat).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada PT Ang and Fang Brother yang telah memberikan kesempatan dalam melakukan penelitian, terkhusus Bapak Ir. Daniel Ganna, ST., IPP dan Bapak Rexcy Pari Rape, ST. yang telah membimbing selama kegiatan penelitian.

PUSTAKA

- Ahmad, W. 2006. *Fundamentals of Chemistry, Mineralogy, Weathering Processes, and Laterites Formations*. PT. INCO.
- Arifin, M., Widodo, S., dan Anshariah. 2015. *Karakteristik Endapan Nikel Laterit pada Blok X PT Bintang Delapan Mineral Kecamatan Bahodopi Kabupaten Morowali Provinsi Sulawesi Tengah*. Jurnal Geomine, 1, 35 – 45.
- Kadarusman, A., Miyashitab, S., Maruyamaa, S., Parkinsonc, C, D., and Ishikawad, A. 2004. *Petrology, Geochemistry and Paleogeographic Reconstruction of The East Sulawesi Ophiolite, Indonesia*. Tectonophysics, 392, 55 – 83.
- Kurniadi, A., Rosana, F, M., Yuningsih, T, E., dan Pambudi, L. 2017. *Karakteristik Batuan Asal Pembentukan Endapan Nikel Laterit Di Daerah Madang dan Serakaman Tengah*. Padjadjaran Geoscience Journal, 1(2).
- Lintjewas, L., Setiawan, I., dan Kausar, A. Al., 2019. *Profil Endapan Nikel Laterit di Daerah Palangga, Provinsi Sulawesi Tenggara*. Riset Geologi Dan Pertambangan, 29(1), 91 – 104.
- Nurhawaisyah, S.R., Jafar, N., Bakri, S., Artiningsih, A., Widodo, S., 2021. *A petrographic study of bauxite of Kenco area, Landak District, West Kalimantan Province*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 921, 1-8.
- Streckeisen, A. 1976. *To Each Plutonic Rock Its Proper Name*. Earth Science Reviews. 12, 1 – 33.
- Sufriadin, Sri Widodo, Meinarni Thamrin, Akane Ito, Tsubasa Otake. 2021. *The Latowu Ultramafic Rock-Hosted Iron Mineralization in the Southeastern Arm Sulawesi, Indonesia: Characteristics, Origin, and Implication for Beneficiation*. International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology. 11, 987-993.
- Sufriadin, Widodo, S., Nur, I., Ilyas, A., Ashari, M.Y., 2020a. *Extraction of Nickel and Cobalt from Sulawesi Limonite Ore in Nitric Acid Solution at Atmospheric Pressure*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 875, 1-6.
- Sufriadin, Widodo, S., Thamrin, M., Maulana, A., Ito, A., Otake, T., 2020b. *The nature of ultramafic rocks from Sulawesi, Indonesia and their suitability for CO₂ sequestration*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 589, 1-8.
- Sufriadin, Widodo, S., Trianto, M., 2019a. *Beneficiation of Lateritic Iron Ore from Malili Area, South Sulawesi, Indonesia Using Magnetic Separator*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 619, 1-7.
- Sufriadin, Widodo, S., Mantung, M., 2019b. *Beneficiation Study of Iron Ore from Pakke area of Bontocani Subdistrict, Bone Regency of South Sulawesi, Indonesia Using Roasting and Magnetic Separation Methods*. International Journal of Engineering and Science Applications, 2, 67-71.
- Sufriadin1, Widodo, S., Ito, A., Otake, T., Sanematsu, K., 2018. *Geochemical study of ultramafic rocks from Latowu area of North Kolaka, Southeast Sulawesi and its implication for CO₂ sequestration*. Journal of degraded and mining lands management, 5, 1403-1408.
- Sugiyono. 2018. *Metode Penelitian Bisnis, Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Tonggiroh, A., Suharto., dan Mustafa, M. 2012. Analisis Pelapukan Serpentin dan Endapan Nikel Laterit Daerah Palangga Kabupaten Konawe Selatan Sulawesi Tenggara (pp. 1 – 6)
- Travis, R. B. 1955. *Classification of Rock*. Colorad School of Mines, Fourth Edition. 50(1), 1 – 98.