

Geologi dan Karakteristik Laterit Nikel Berdasarkan Mineralogi Batuan Dasar dan Geokimia Daerah Routa dan Sekitarnya, Kecamatan Routa, Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara

Erdin Tri Handika^{1)*}, Sutarto¹⁾, Joko Soesilo¹⁾

¹⁾Teknik Geologi, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condong Catur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55283

*erdintrihandika@gmail.com

Abstrak - Bagi Indonesia nikel merupakan komoditas tambang utama yang sampai saat ini masih menjadi komoditas penghasil devisa yang cukup besar bagi Negara. Nikel laterit sendiri terbentuk akibat dari pelapukan dari batuan ultramafik serta pengkayaan pada lapisan tanah yang berada di atas batuan dasar tersebut. Produksi nikel utama di Indonesia sebagian besar berasal dari endapan laterit yang banyak terdapat di Indonesia bagian timur. Penelitian dilakukan di daerah Konawe, Sulawesi Tenggara yang secara geologi tersusun oleh batuan ultramafik berupa peridotit (harzburgit, lherzolit, wehrlit), dunit, websterit, dan lain-lain. Batuan-batuan ultramafik tersebut merupakan batuan dasar yang berpotensi untuk membentuk endapan nikel laterit. Mengetahui karakteristik endapan nikel laterit dilakukan pemetaan permukaan atau *surface mapping*, pemetaan bawah permukaan atau *sub-surface mapping* dengan dilakukan pemboran untuk mengetahui kondisi bawah permukaan, serta pengolahan statistik data berupa data geokimia unsur MgO, SiO₂, Al₂O₃, Fe, Ni, MnO, Co, dan Cr₂O₃. Dari data tersebut diketahui pada daerah penelitian didominasi oleh Satuan Peridotit Rouda dimana memiliki kandungan mineral olivin dan ortho-piroksen berdasarkan analisa petrografi sehingga pengkayaan kadar Ni yang dihasilkan pada zona laterit tinggi. Daerah penelitian terdapat zona laterit yang tebal dan lengkap dimana terdapat zona tanah penutup terdiri dari Top Soil (SO), dan Ferricrete (FE), zona limonit terdiri dari Ferrigenous Zone (FZ), Transported limonite (TL), Limonite (LM), zona saprolit terdiri dari Ferrigenous Saprolite (FS), Saprolite (SP), Rocky Saprolite (RS), Saprolite Rock (SR), zona batuan dasar atau bedrock. Berdasarkan data pemboran terdapat zona limonit yang tebal dengan kandungan mineral berupa hematit, goethit, mangan, maghemit, dan beberapa ditemukan urat silika atau silika boxwork merupakan penciri endapan nikel oksida atau oksida dan pada zona saprolit ditemukan mineral garnierit serta mineral serpentin merupakan penciri endapan nikel laterit hydrous Mg-Silicate. Berdasarkan korelasi data pemboran terdapat zona laterit tebal terbentuk pada morfologi yang datar – landai sedangkan zona laterit tipis terbentuk pada daerah yang miring hingga curam.

Kata Kunci: Rouda, Nikel, Laterit, Karakteristik, Mineral, Batuan Dasar, Geokimia, Sulawesi Tenggara

Abstract - The main nickel production in Indonesia mostly comes from laterite deposits that are widely found in eastern Indonesia. The research was conducted in the Konawe area, Southeast Sulawesi which is geologically composed of ultramafic rocks in the form of peridotite (harzburgite, lherzolite, wehrlite), dunit, websterite, and others. These ultramafic rocks are bedrock that has the potential to form nickel laterite deposits. To find out the characteristics of nickel laterite deposits, surface mapping, subsurface mapping or sub-surface mapping were carried out by drilling to determine the subsurface conditions, and statistical data processing in the form of geochemical data of the elements MgO, SiO₂, Al₂O₃, Fe, Ni, MnO, Co, and Cr₂O₃. From the data, it is known that the research area is dominated by the Rouda Peridotite Unit which has olivine and ortho-pyroxene mineral content based on petrographic analysis so that the enrichment of Ni content produced in the laterite zone is high. The research area has a thick and complete laterite zone where there is a cover soil zone consisting of Top Soil (SO), and Ferricrete (FE), a limonite zone consisting of Ferrigenous Zone (FZ), Transported limonite (TL), Limonite (LM), a saprolite zone consisting of Ferrigenous Saprolite (FS), Saprolite (SP), Rocky Saprolite (RS), Saprolite Rock (SR), bedrock zone. Based on drilling data, there is a thick limonite zone with mineral content in the form of hematite, goethite, manganese, maghemite, and several silica veins or silica boxwork are found which are characteristics of nickel oxide or oxide deposits and in the saprolite zone, garnierite minerals and serpentine minerals are found which are characteristics of hydrous Mg-Silicate nickel laterite deposits. Based on the correlation of drilling data, there is a thick laterite zone formed in flat to sloping morphology, while a thin laterite zone is formed in sloping to steep areas.

Keywords: Rouda, Nickel, Laterite, Characteristics, Mineral, Basement rocks, Geochemical, Northeast Sulawesi

PENDAHULUAN

Nikel merupakan salah satu jenis mineral yang memiliki nilai ekonomis yang sangat tinggi. Saat ini penggunaan logam nikel di berbagai sektor industri di dunia semakin meningkat sehingga membawa pengaruh terhadap perkembangan nikel di Indonesia. Bagi Indonesia nikel merupakan komoditas tambang utama yang sampai saat ini masih menjadi komoditas penghasil devisa yang cukup besar bagi Negara. Dengan suplai 12% dari produksi nikel di dunia, Indonesia menjadi salah satu penghasil nikel terbesar di dunia setelah Rusia. Nikel laterit sendiri terbentuk akibat dari pelapukan dari batuan ultramafik serta pengkayaan pada lapisan tanah yang berada di atas batuan dasar tersebut. Produksi nikel utama di Indonesia sebagian besar berasal dari endapan laterit yang banyak terdapat di Indonesia bagian timur. Keterdapatannya pada daerah tersebut dikarenakan oleh proses tektonik yang kompleks sehingga batuan lantai samudera yang didominasi batuan mafik dan ultramafik dapat tersingkap ke permukaan. Endapan tersebut dikontrol oleh karakteristik mineralogi, batuan dasar, tingkat erosi dan pelapukan, struktur geologi, serta morfologi. Indonesia bagian timur merupakan daerah yang ideal karena memiliki singkapan batuan ultramafik dengan iklim tropis serta struktur geologi yang intens sehingga memungkinkan endapan nikel laterit untuk terbentuk. Penelitian dilakukan di daerah Konawe, Sulawesi Tenggara yang secara geologi tersusun oleh batuan ultramafik berupa peridotit (harzburgit, lherzolit, wehrlit), dunit, websterit, dan lain-lain. Batuan-batuan ultramafik tersebut merupakan batuan dasar yang berpotensi untuk membentuk endapan nikel laterit.

METODE

Data yang digunakan pada penelitian adalah data primer dan data sekunder. Tahapan penelitian pada studi ini terbagi menjadi beberapa tahapan yang akan dijelaskan berikut ini yang terbagi menjadi:

a) Tahap Akuisisi Data

Meliputi tahapan-tahapan yang dilakukan sebelum kegiatan pemetaan serta kegiatan pemetaan. Tahap ini meliputi studi literatur dan penelitian terdahulu, interpretasi peta, rencana lintasan, pengambilan data litologi, data struktur geologi, dokumentasi lapangan, dan data geokimia dari perusahaan.

b) Tahap Analisis Data

Meliputi tahapan-tahapan yang dilakukan pada saat kegiatan analisa. Tahap ini meliputi analisa studio, dan analisa laboratorium. Analisa studio terdiri dari pembuatan peta-peta, analisa struktur geologi, dan analisa statistik geokimia sedangkan analisa laboratorium terdiri dari analisa petrografis, analisa stereografis, analisa profil nikel laterit.

c) Tahap Sintesis Data

Meliputi tahapan-tahapan yang dilakukan setelah kegiatan akuisisi data dan analisis data. Tahap ini meliputi penyusunan laporan yang mencakup keseluruhan informasi dari hasil penelitian.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian dari yang paling tua hingga ke yang paling muda adalah Satuan Peridotit Rوتا yang berumur Kapur, Satuan Serpentin Rوتا yang berumur Kapur, Satuan Konglomerat Rوتا yang berumur Miosen-Pliosen, dan Endapan Aluvial yang berumur Resen.

*UMUR GEOLOGI			WARNA & SIMBOL SATUAN BATUAN	SATUAN BATUAN	KETERANGAN
KURUN MASA	ZAMAN				
FANEROZOIKUM	KENO-ZOIKUM	KUATER		Endapan Aluvial	Disusun oleh material lepas yang tertanam kembali
		PLIOSEN		Konglomerat Rوتا	Disusun oleh konglomerat
	MIOSEN-AKHIR	Serpentin Rوتا		Disusun oleh serpentin dan harzburgit terserpentinisasi kuat	
MESO-ZOIKUM	KAPUR	Peridotit Rوتا	Disusun oleh peridotit berupa harzburgit terserpentinisasi sangat lemah-lemah		

*Rusmana, dkk (1993) dan Panggabean, dkk (2011).

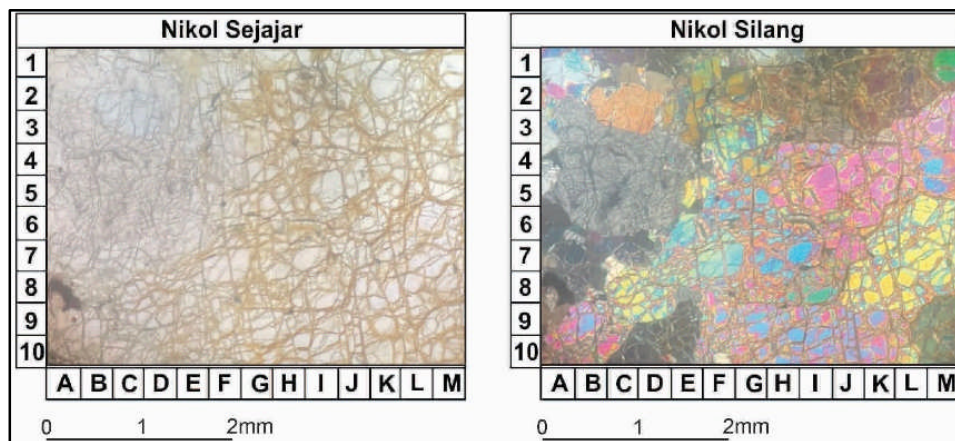
Gambar 1. Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian

- **Satuan Peridotit Rوتا**

Satuan ini memiliki litologi dominan peridotit berupa harzburgit yang beberapa sudah mengalami serpentinisasi khususnya pada bagian yang terdapat *fracture*. Satuan ini memiliki tingkat pelapukan rendah-sedang dan mencakup sekitar 60% dari luasan daerah penelitian. Pada geologi regional, satuan ini termasuk ke dalam kompleks ultramafik pada *East Sulawesi Ophiolite* (ESO) yang memiliki umur Pra-Tersier yaitu pada zaman Kapur. Sayatan tipis batuan pada satuan peridotit Rوتا dapat teramati mineral olivin, orthopiroksen, serpentin, dan mineral opak. Mineral olivin telah terserpentinisasi sebagian, menunjukkan tekstur khusus berupa *mesh structure* dimana ruang antar pecahan olivin terisi oleh mineral serpentin. Mineral opak yang hadir diperkirakan berupa magnetit dan kromit. penamaan litologi harzburgit terserpentinisasi rendah didasarkan pada klasifikasi oleh Streickeisen (1976) yang dimodifikasi. Umur satuan peridotit Rوتا ini didasarkan pada Rusmana (1993) bahwa satuan ini berumur Kapur.



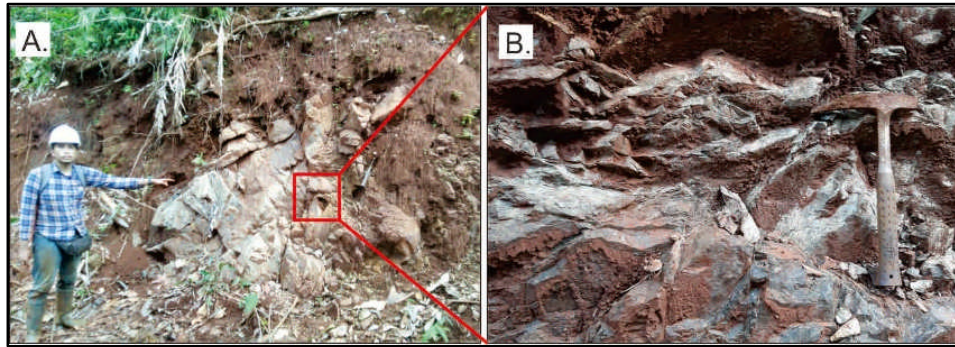
Gambar 2. Foto singkapan harzburgit terserpentinisasi rendah pada LP 35 (kiri) dan foto litologi (kanan)



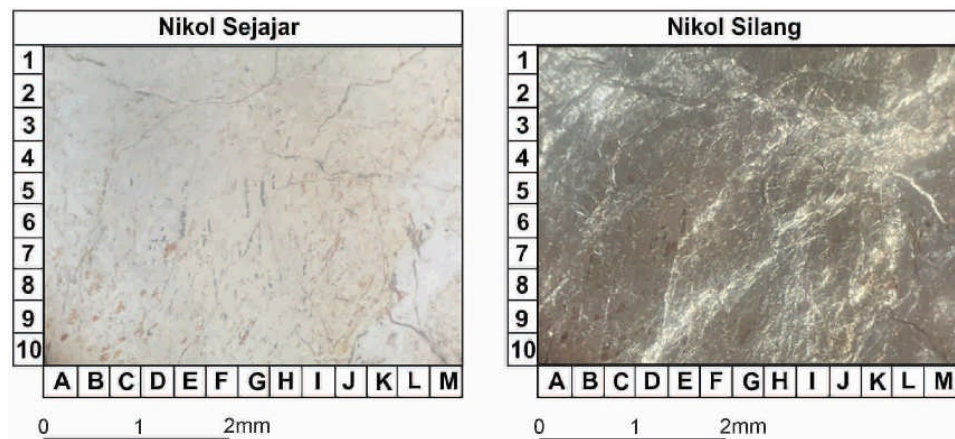
Gambar 3. Sayatan tipis harzburgit terserpentinisasi rendah pada LP 35

- **Satuan Serpentin Rوتا**

Satuan ini memiliki litologi serpentin yang merupakan hasil ubahan dari batuan ultramafik akibat adanya penambahan air dan kenaikan suhu hingga 200°-300° C atau *low hydrothermal metamorphism* yang merubah mineral olivin dan piroksen menjadi mineral serpentin. Satuan ini memiliki tingkat pelapukan rendah-sedang dan mencakup sekitar 5% dari luasan daerah penelitian. Pada geologi regional, satuan ini termasuk ke dalam kompleks ultramafik pada *East Sulawesi Ophiolite* (ESO) yang memiliki umur Pra-Tersier yaitu pada zaman Kapur. Secara petrografis batuan serpentin terlihat keseluruhan mineral telah tergantikan menjadi mineral serpentin dan terlihat juga mineral-mineral opak yang diperkirakan berupa magnetit. Penamaan litologi serpentin didasarkan pada klasifikasi oleh Babineau (2002). Umur satuan serpentin Rوتا didasarkan pada Rusmana (1993) bahwa satuan ini berumur Kapur.



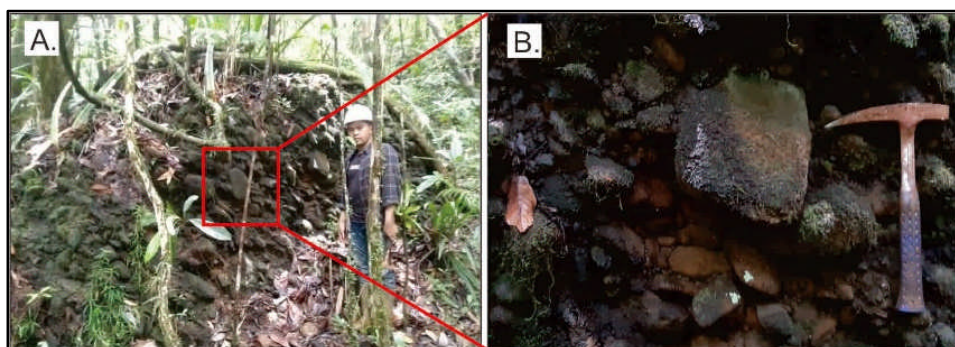
Gambar 4. Foto singkapan serpentinit pada LP 20 (kiri) dan foto litologi (kanan)



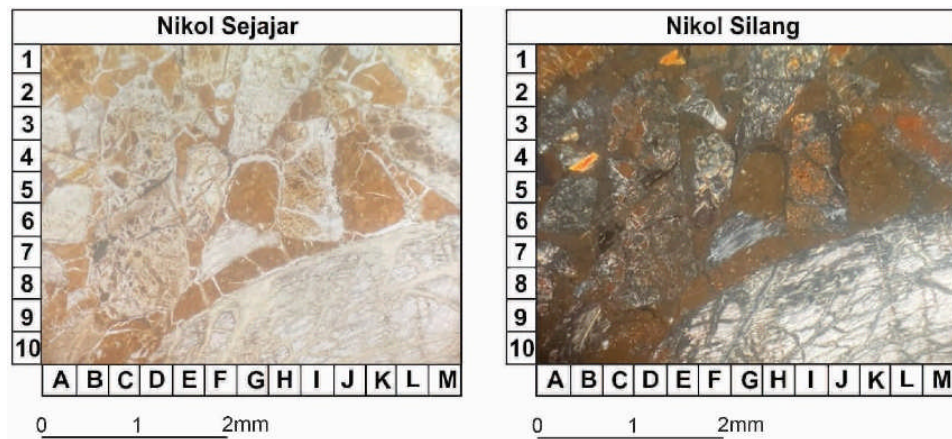
Gambar 5. Sayatan tipis serpentinit pada LP 20

- **Satuan Konglomerat Routa**

Satuan ini memiliki litologi dominan berupa konglomerat ultramafik. Satuan ini merupakan hasil dari pelapukan batuan ultramafik sebelumnya yang terendapkan kembali. Satuan ini memiliki tingkat pelapukan tinggi dan mencakup sekitar 33% daerah penelitian. Satuan ini termasuk kedalam Molasa Sulawesi (*Celebes Molasse*) menurut Surono dan Sukarna (1995) dalam H. Panggaeban dan Surono (2011) memiliki umur Miosen-Pliosen serta terendapkan secara tidak selaras terhadap Kompleks Ultramafik. Secara petrografis batuan konglomerat terlihat pada fragmennya yang memiliki komposisi mineral dan batuan ultramafik dimana terdapat *lithic*, peridotit, mineral olivin, mineral piroksen, dan mineral opak. Mineral olivin telah terserpentinisasi sebagian, menunjukkan tekstur khusus berupa *mesh structure* dimana ruang antar pecahan olivin terisi oleh mineral serpentin. Mineral opak yang hadir diperkirakan berupa magnetit dan kromit. Penamaan litologi konglomerat merupakan *lithic wacke* didasarkan pada didasarkan pada klasifikasi oleh Pettijohn (1975) yang dimodifikasi.



Gambar 6. Foto singkapan konglomerat pada LP 86 (kiri) dan foto litologi (kanan)



Gambar 7. Sayatan tipis konglomerat pada LP 86

- **Satuan Endapan Aluvial**

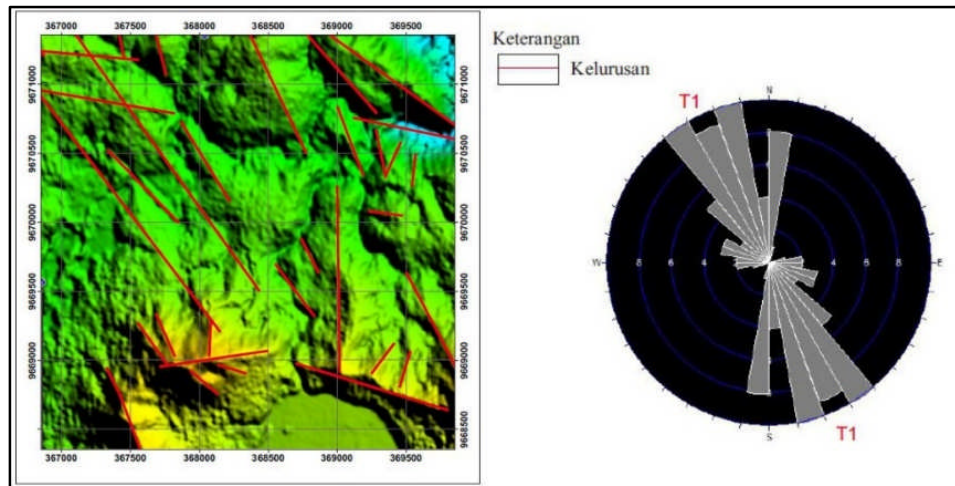
Satuan ini terdiri dari material lepas hasil rombakan batuan asal dan menempati 2% dari luasan peta.



Gambar 8. Foto endapan aluvial pada LP 8

Struktur Geologi

Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian terdapat empat jenis struktur yaitu kekar tarik berisi mineral serpentin. Kekar gerus dengan orientasi baratlaut-tenggara dan utara-selatan. Selain itu terdapat shear dan gash fracture dengan arah umum dari shear fracture adalah $N131^{\circ}E/80^{\circ}$ dan gash fracture adalah $N226^{\circ}E/58^{\circ}$, yang merupakan bagian dari Sesar Rounta 1 dengan nama reverse right slip fault, kemudian terdapat Sesar Rounta 2 dengan nama left slip fault memiliki nilai shear fracture $N192^{\circ}E/71^{\circ}$ dan gash fracture $N134^{\circ}E/76^{\circ}$, serta terdapat struktur geologi yang diperkirakan yaitu sesar turun.



Gambar 9. Tegasan utama daerah penelitian

Karakteristik Laterit Nikel Berdasarkan Mineralogi Batuan Dasar dan Geokimia

1) Mineralogi Batuan Dasar Daerah Penelitian

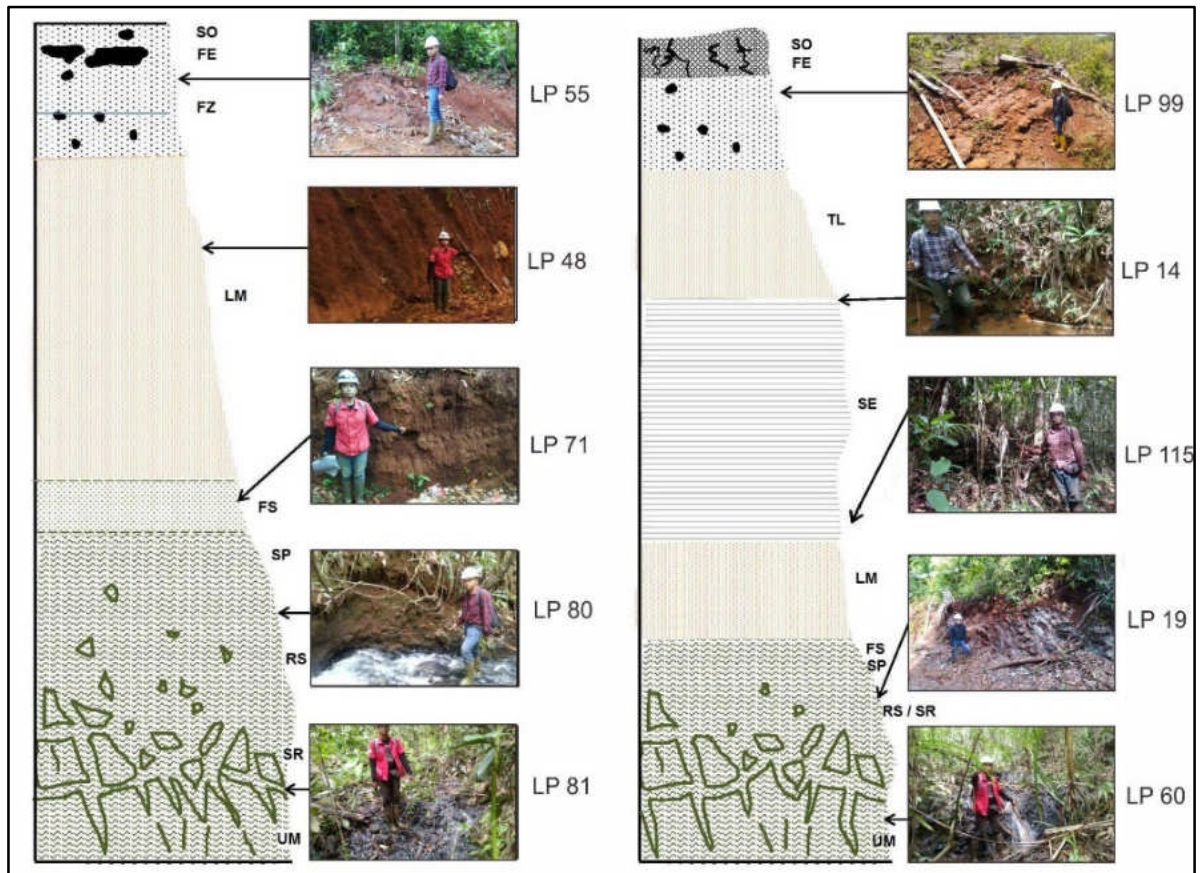
Pada dasarnya kadar Ni sangat dipengaruhi oleh mineralogi batuan dasarnya. Pada daerah penilitan terdiri dari batuan ultramafik berupa peridotit, batuan metamorf berupa serpentinit, serta batuan sedimen berupa konglomerat monomineralik ultramafik yang tersusun dari mineral utama yaitu olivin dan piroksen, serta mineral ubahan berupa mineral serpentin yaitu lizardit, antigorit. Mineral olivin dan piroksen memiliki kadar Ni seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi *Ferromagnesian Silicates* (Matano, 2019)

	Olivine	Ortho-pyroxene	Cli-no-pyroxene
SiO ₂	40	55 – 62	50 – 53
TiO ₂	0.02 – 0.05	0.02 – 0.05	0.1 – 0.6
Al ₂ O ₃	0.4 – 0.6	1.7 – 3.2	3 – 4
Cr ₂ O ₃	0.02 – 0.2	0.6	0.8 – 0.9
Fe ₂ O ₃	All iron reported as FeO		
FeO	8 – 10	5 – 6	2.5 – 4.0
MnO	0.12 – 0.16	0.1	0.1
NiO	0.3 – 0.5	0.06 – 0.1	0.05 – 0.07
CoO	0.01 – 0.02	0.006	0.003
MgO	47 – 51	32 – 35	18 – 22
CaO	0.04 – 0.07	1 – 2	17 – 22

2) Profil Fisik Daerah Penelitian

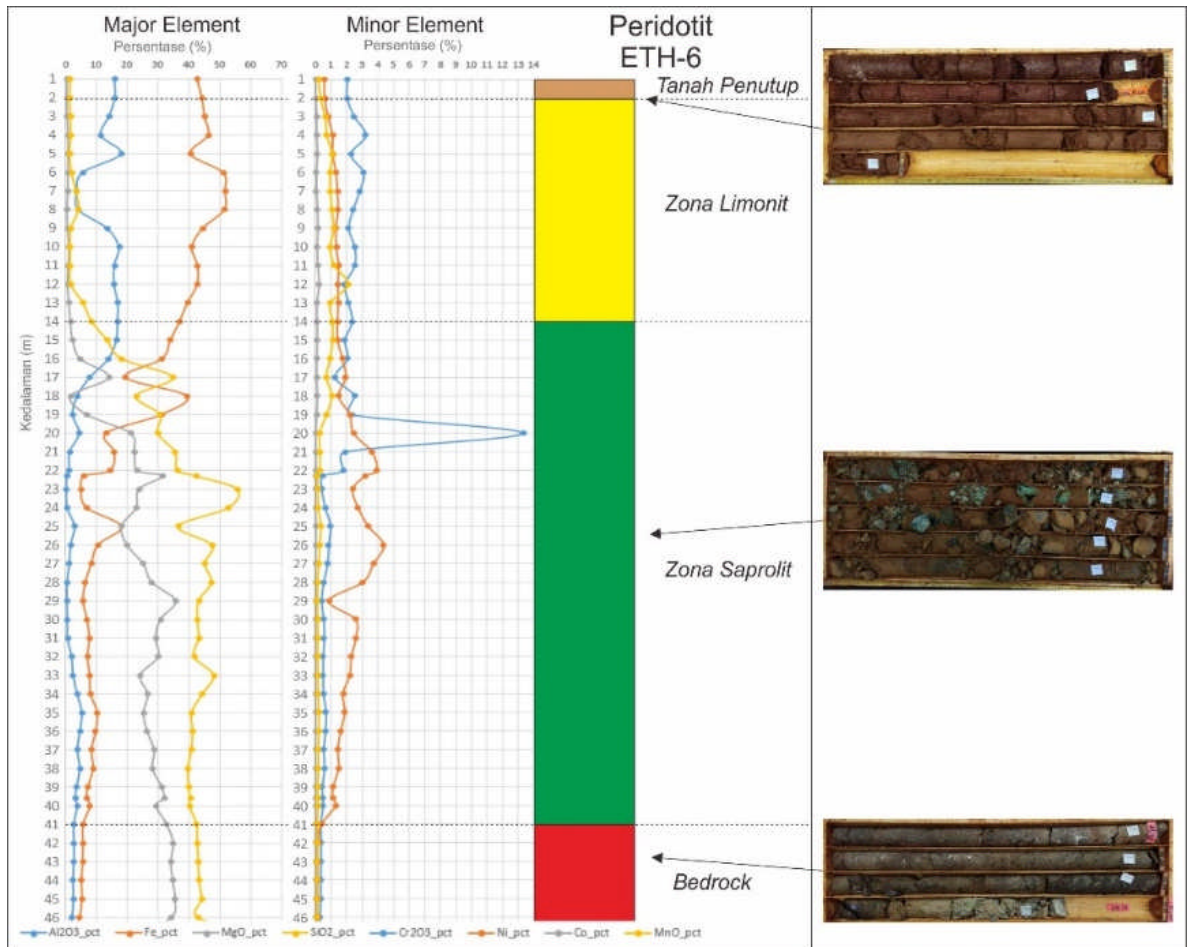
Berdasarkan data pemetaan permukaan dan data bawah permukaan yang berupa data bor, didapatkan profil laterit yang terbentuk di daerah penelitian berupa sepuluh lapisan profil laterit yang berkembang pada daerah penelitian dari yaitu Zona Tanah Penutup mencakup Top Soil (SO) dan Ferricrete (FE), Zona Limonit mencakup Ferrigenous Zone (FZ), *Transported limonite* (TL), dan Limonite (LM), Zona Saprolit mencakup Ferrigenous Saprolite (FS), Saprolite (SP), Rocky Saprolite (RS), dan Saprolite Rock (SR), dan Zona Batuan Dasar atau bedrock (BR).



Gambar 10. Profil fisik laterit pada daerah penelitian

3) Profil Geokimia Daerah Penelitian

Studi khusus penelitian menggunakan parameter geokimia yang membandingkan antara unsur mayor yaitu Fe, Al₂O₃, SiO₂, dan MgO serta unsur minor yaitu Ni, Co, MnO dan Cr₂O₃ dan mengetahui unsur logam dari masing-masing zona laterit yang terbentuk dari kandungan mineralnya. Profil geokimia dibuat pada tiap titik bor untuk mengetahui tingkat mobilitas unsur pada saat proses lateritisasi serta mengetahui kadar unsur logam dari mineral yang terbentuk pada masing-masing zona berdasarkan data *logging*.

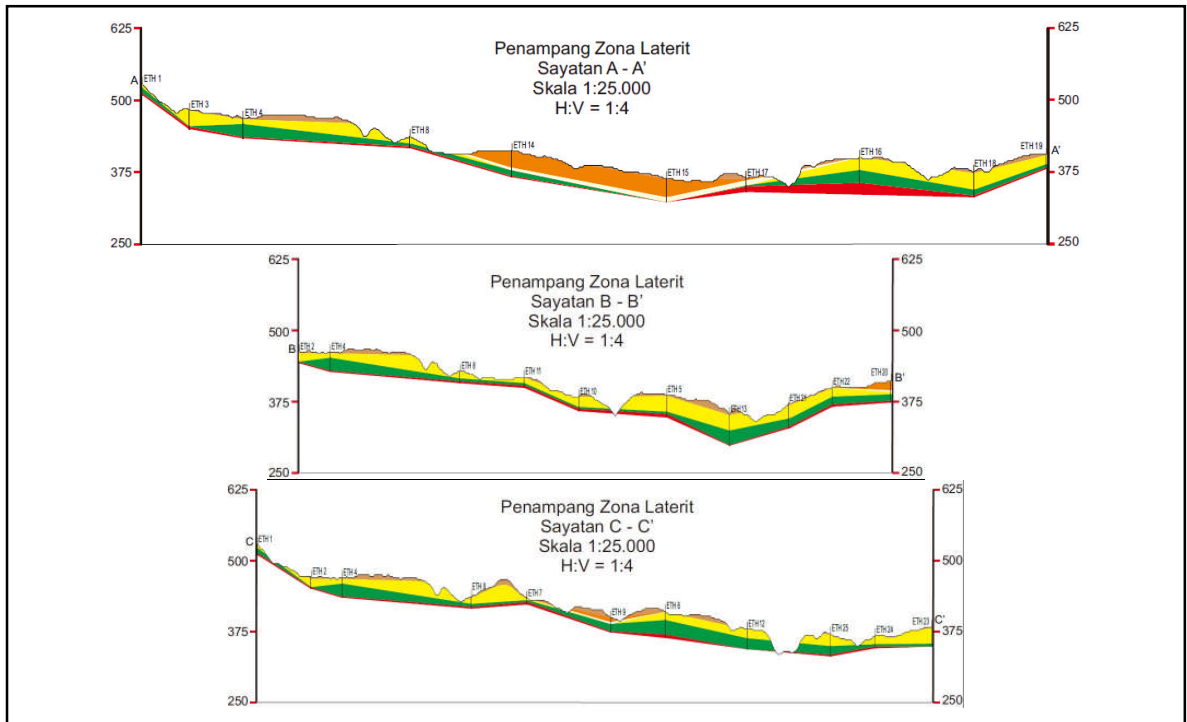


Gambar 11. Profil geokimia beserta data *logging core*

Terlihat pada zona tanah penutup unsur Fe membentuk unsur logam besi(III) oksida atau ferri oksida akibat proses oksidasi pada keadaan oksida yang sangat ekstrim ditandai dengan hadirnya mineral hematit yang mengubah warna pada zona ini menjadi warna coklat kemerahan seperti karat. Pada zona limonit unsur Fe membentuk unsur logam besi(III) oksida-hidroksida atau ferri oksihidroksida akibat proses oksidasi dan hidrasi pada keadaan oksida, kemudian terdapat unsur logam Ni, Co, MnO, Cr₂O₃ yang mulai meningkat kadarnya seiring berjalannya kedalaman ditandai dengan hadirnya mineral hematit, goethit, limonit, mangan, maghemit, kobalt, dan magnetit. Pada zona saprolit Unsur Fe membentuk unsur logam besi(III) oksida - hidroksida atau ferri oksihidroksida yang mulai berubah menjadi unsur besi(II) oksida atau ferro oksida akibat proses reduksi ditandai dengan hadirnya mineral olivin, piroksen, kromit, magnetit, kemudian terdapat unsur MgO, SiO₂ dan Ni yang mulai meningkat kadarnya akibat proses pengkayaan atau *supergen enrichment* yang ditandai hadirnya mineral serpentin dan garnierit yang mengisi rekahan.

4) Korelasi Profil Geokimia Data Bor Nikel Laterit Daerah Penelitian

Terlihat pada penampang A-A' terlihat *transported limonite* berkembang pada daerah cekungan atau daerah yang memiliki morfologi rendah dibandingkan sekitarnya dikarenakan hasil pelapukan maupun erosi batuan sebelumnya tertransportasi dan terendapkan kembali. Pada penampang A-A' titik bor ETH-1 serta penampang C-C' titik bor ETH-7 terlihat bahwa zona laterit yang dihasilkan tipis dan zona limonit tidak berkembang dengan baik pada topografi yang curam dikarenakan air permukaan tidak terpenetrasi secara baik pada batuan dan mengalir begitu saja di permukaan atau *runoff*, serta batuan tersebut mudah mengalami erosi. Pada penampang B-B' dapat dilihat zona limonit dan zona saprolit berkembang secara baik dikarenakan faktor topografi yang datar – landai, dimana air dapat terpenetrasi secara baik kedalam batuan dan memecah unsur-unsur pada batuan tersebut sehingga proses laterisasi berjalan dengan baik dan didapatkan zona laterit yang lengkap.



Gambar 12. Penampang korelasi antar titik bor

5) Perbandingan Kadar Unsur Mayor (Fe, Al₂O₃, SiO₂, dan MgO) dan Unsur Minor (Ni, Co, MnO, dan Cr₂O₃) Pada Setiap Satuan Batuan

Terdapat 140 titik bor yang sudah dianalisa menggunakan data bor dan data geokimia. Berdasarkan data bor, secara umum didapat 3 jenis batuan dasar atau bedrock yaitu peridotit pada 115 titik bor, konglomerat pada 24 titik bor, dan serpentinit pada 1 titik bor. Berdasarkan data geokimia unsur yang digunakan yaitu unsur mayor (Fe, Al₂O₃, SiO₂, dan MgO) dan unsur minor (Ni, Co, MnO, dan Cr₂O₃).

Tabel 2. Kandungan geokimia pada Satuan Peridotit Routa

PERIDOTIT								
LITOLOGI	Ni	Co	MnO	Cr ₂ O ₃	Fe	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO
SO	0.415	0.034	0.269	2.842	42.767	16.374	2.348	0.743
FE	0.327	0.020	0.173	3.074	45.787	14.422	1.380	0.529
FZ	0.524	0.050	0.450	2.897	43.729	15.374	1.894	0.712
LM	0.907	0.081	0.840	2.863	42.932	13.144	4.260	0.950
FS	1.219	0.084	1.020	2.444	34.748	11.437	23.703	3.717
SP	1.412	0.055	0.636	1.804	24.736	8.044	38.075	19.089
RS	1.310	0.035	0.384	1.269	16.573	5.401	41.543	23.360
SR	0.986	0.013	0.160	0.543	7.896	2.617	43.221	30.205
BR	0.262	0.010	0.129	0.412	6.303	2.139	42.410	34.927
TL	0.859	0.088	0.853	3.120	41.425	12.518	6.916	2.814

Tabel 3. Kandungan geokimia pada Satuan Konglomerat Routa

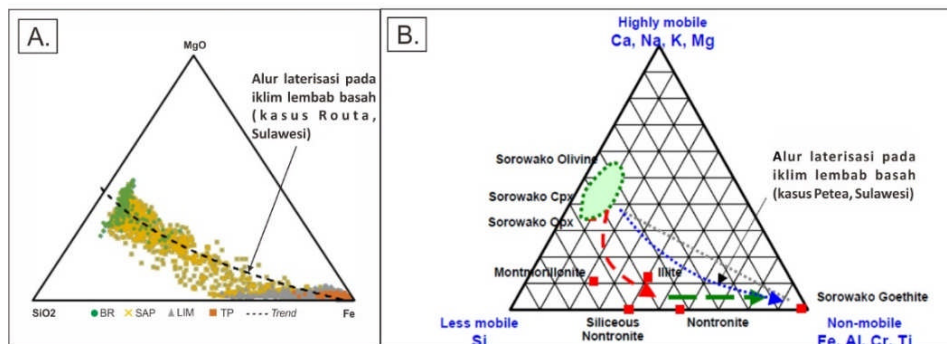
KONGLOMERAT								
LITOLOGI	Ni	Co	MnO	Cr ₂ O ₃	Fe	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO
SO	0,402	0,050	0,253	3,183	43,389	15,513	1,997	0,531
FE	0,340	0,087	0,230	3,010	44,827	11,697	1,630	0,463
FZ	0,580	0,085	0,511	3,404	44,695	13,444	1,393	0,478
LM	0,941	0,097	0,927	2,700	39,888	12,339	5,944	1,068
FS	1,515	0,075	0,598	1,886	27,859	8,335	36,206	7,571
SP	1,252	0,035	0,455	1,304	17,270	5,353	36,984	9,543
RS	0,855	0,020	0,232	0,810	11,020	4,225	47,317	20,868
SR	0,813	0,019	0,204	0,693	10,231	3,682	44,104	34,789
BR	0,422	0,019	0,181	0,762	10,020	3,075	41,931	27,807
TL	0,608	0,055	0,534	1,681	26,032	8,145	19,927	10,490

Tabel 4. Kandungan geokimia pada Satuan Serpentin Rota

SERPENTINIT								
LITOLOGI	Ni	Co	MnO	Cr2O3	Fe	Al2O3	SiO2	MgO
SO	0.71	0.07	0.54	2.48	46.62	12.67	2.73	0.71
FZ	0.770	0.100	0.870	2.320	45.740	12.165	2.530	0.785
LM	0.894	0.091	1.300	2.337	42.604	13.610	5.166	0.954
FS	1.065	0.050	0.640	2.020	29.070	11.250	23.670	5.375
SP	1.260	0.050	0.560	2.060	25.110	10.400	28.120	7.780
SR	0.920	0.010	0.160	0.550	7.720	3.305	42.815	31.610
BR	0.333	0.010	0.135	0.438	6.668	2.513	42.053	35.503

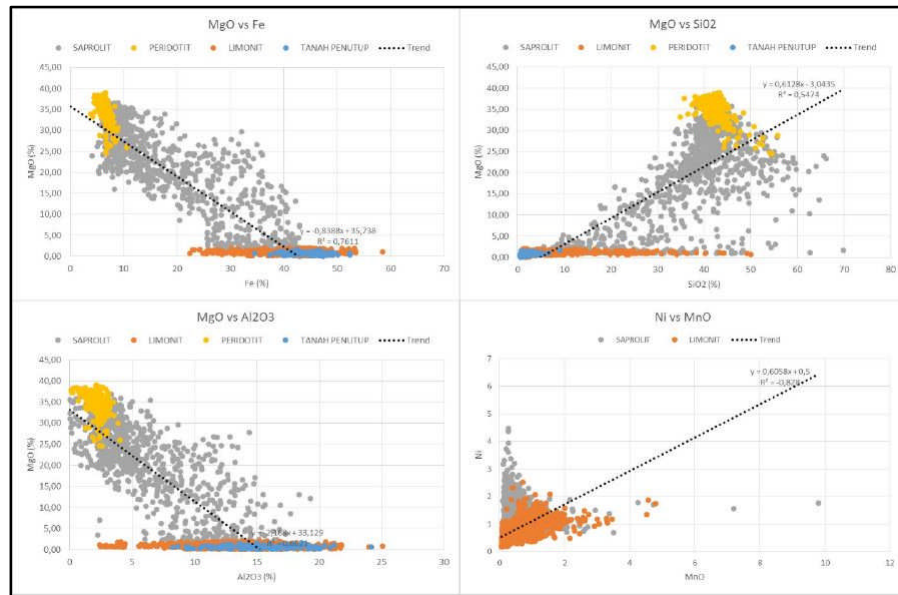
6) Analisis Statistik Triplot dan Scatter Plot Data Geokimia

Berdasarkan analisis triplot atau *ternary plot* ini peneliti menggabungkan tiga satuan batuan tersebut, yaitu terdapat Satuan Peridotit Rota, Satuan Konglomerat Rota, dan Satuan Serpentin Rota. Berdasarkan analisis statistik triplot data geokimia unsur mayor MgO vs SiO₂ vs Fe, secara umum pada daerah penelitian didapatkan hasil berupa endapan laterit yang terbentuk pada daerah yang beriklim dan bertanah basah mengacu pada penelitian Ahmad (2008) dimana memiliki garis *trend* yang sama dengan penelitian tersebut.



Gambar 13. (A.) Grafik triplot atau ternary plot MgO vs SiO₂ vs Fe merupakan grafik pada daerah penelitian (B.) merupakan grafik pada daerah Sorowako mengacu Ahmad, 2008.

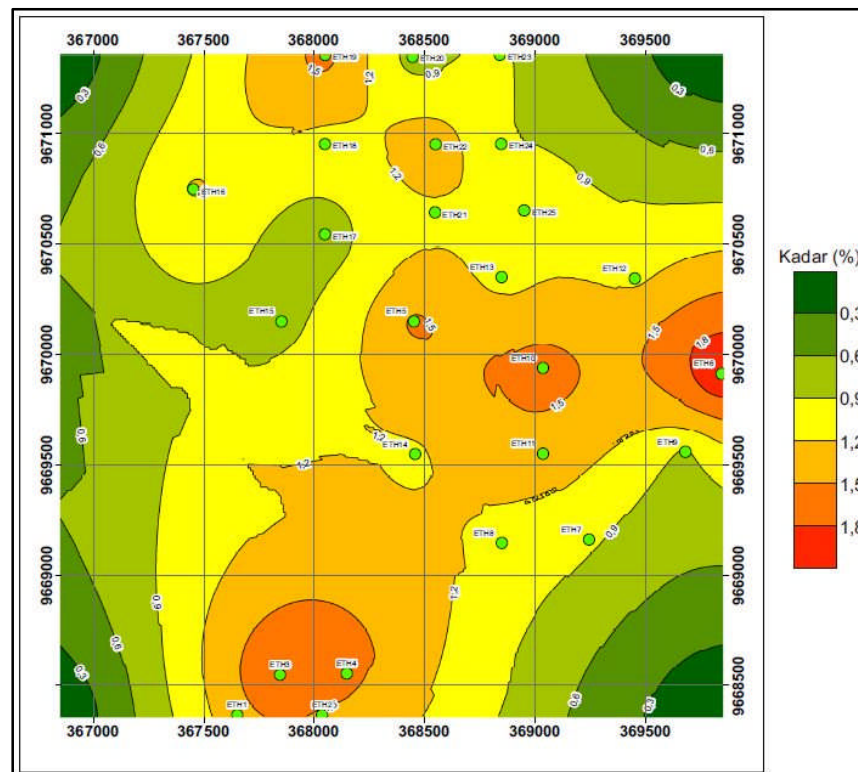
Terlihat pada analisis statistik *scatter plot* geokimia peneliti mengambil contoh sampel pada Satuan Peridotit Rota dikarenakan satuan batuan ini yang mendominasi pada daerah penelitian. Analisis statistik *scatter plot* dilakukan guna didapaknya informasi mengenai kandungan geokimia pada profil nikel laterit sehingga bisa ditarik kesimpulan terkait karakteristik endapan nikel laterit. Hubungan antara geokimia dan karakteristik endapan nikel laterit dapat dilihat pada profil geokimia data bor yang dibuat pada tiap satuan batuan serta perbandingan kadar unsur mayor dan unsur minor.



Gambar 14. Grafik *scatter plot* MgO vs unsur mayor (Fe, SiO₂, dan Al₂O₃) serta Ni vs MnO pada Satuan Peridotit Rوتا

7) Persebaran Unsur Ni Pada Nikel Laterit

Peta anomali kadar unsur Ni daerah telitian dibuat berdasarkan parameter unsur Ni pada 25 titik bor. Berdasarkan peta anomali kadar unsur Ni diatas terlihat kadar unsur Ni tinggi terdapat pada 3 bagian yaitu pada bagian utara, timur, dan selatan daerah telitian. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain batuan dasar, morfologi, air tanah.

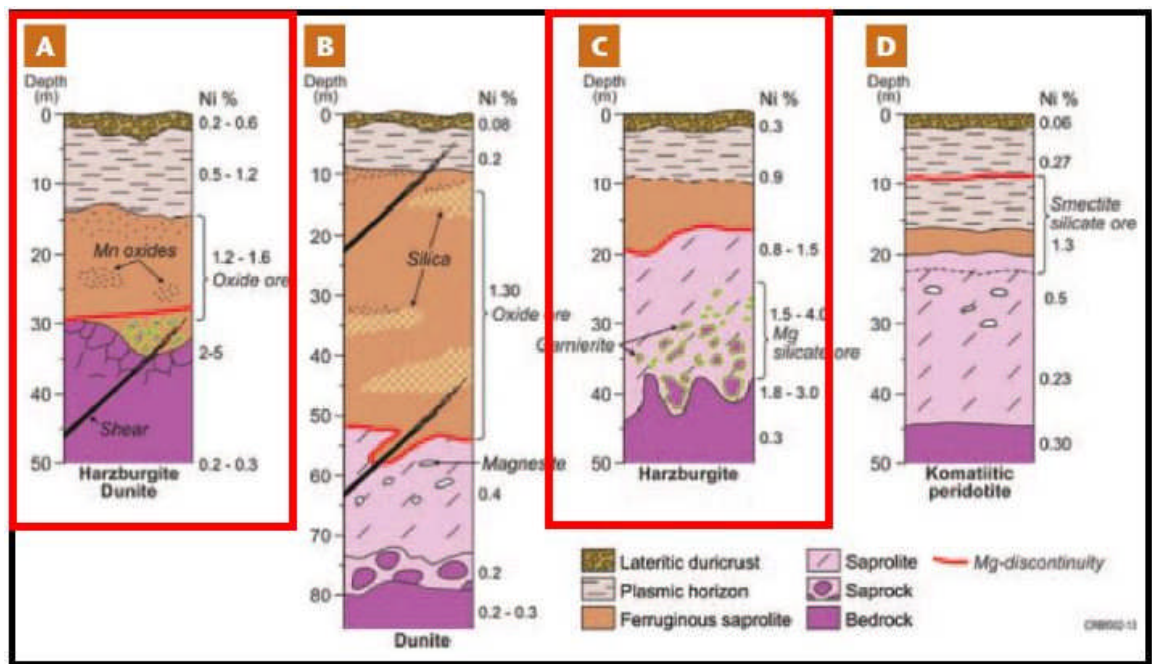


Gambar 15. Peta anomali kontur kadar unsur Ni pada daerah telitian

8) Karakteristik Endapan Nikel Laterit Daerah Penelitian

Karakteristik endapan nikel laterit daerah penelitian dikontrol oleh beberapa faktor, antara lain: mineralogi batuan dasar, mobilitas unsur, iklim, topografi, muka air tanah, dan intensitas rekahnya. Berikut adalah beberapa karakteristik laterit pada daerah penelitian, yaitu:

- Persentase kehadiran mineral olivin, piroksen, dan serpentin pada batuan dasar mempengaruhi karakteristik endapan nikel laterit. Peridotit menghasilkan karakteristik fisik laterit yang cenderung coklat kekuningan dan coklat kemerahan akibat pelepasan unsur Fe dan pelapukan mineral olivin menjadi goethit maupun limonit. Semakin meningkat tingkat serpentinisasinya, karakteristik fisik laterit lebih cenderung berwarna coklat kehijauan hingga hijau kekuningan pada serpentin.
- Hampir semua profil laterit yang bernilai ekonomis pada daerah penelitian dihasilkan dari batuan peridotit dan konglomerat dikarenakan batuan dasar pada daerah penelitian didominasi oleh satuan peridotit roud dengan luasan 60% dan satuan konglomerat roud dengan luasan 35% memiliki kandungan mineral yang mendominasi yaitu mineral olivin dan piroksen. Sehingga nikel laterit pada daerah penelitian memiliki kandungan nikel yang ekonomis dengan nilai kadar >1,2% dilihat dari data peta persebaran kadar unsur Ni dan data profil geokimia serta analisis geokimia pada penelitian ini.
- Karakteristik laterit pada daerah penelitian dikontrol oleh topografi dan struktur geologi berupa sesar dan kekar. Ketika topografinya relatif miring-curam serta tidak dikontrol oleh struktur geologi, maka air akan run off dan terjadi erosi pada bagian luar batuan sehingga penetrasi air ke batuan dasar tidak berjalan maksimal. Berbeda dengan topografi yang landai-agak miring serta dikontrol oleh struktur geologi berupa sesar maupun kekar, air akan melakukan penetrasi ke batuan dasar dengan maksimal lalu terjadi proses pengkayaan bijih pada nikel pada rekahan-rekahan batuan sehingga pada topografi landai laterit yang terbentuk cenderung lebih tebal daripada laterit pada topografi yang curam. Pada daerah penelitian dicirikan oleh tebalnya zona limonit dan zona saprolit sehingga berdasarkan Ahmad (2008) karakter pada daerah penelitian terdapat pada daerah landai-miring.
- Karakteristik laterit pada daerah penelitian memiliki iklim yang lembab basah mengacu pada analisis statistik triplot atau ternary plot dimana memiliki garis trend atau pola laterisasi yang sama dengan penelitian Ahmad (2008) di Sorowako.
- Karakteristik laterit daerah penelitian memiliki karakteristik *Unserpentinised Type* dimana laterit yang berkembang berupa *limonite ore* yang tebal dengan zona saprolit yang memiliki banyak bongkah serta terdapat *iron cap* atau *ferricrete* di beberapa tempat mencirikan *Unserpentinised Type*
- Karakteristik endapan nikel laterit pada daerah penelitian termasuk kedalam tipe endapan nikel laterit *oxide* dan *hydrous Mg silicate*, dimana tipe endapan nikel laterit ini bisa terbentuk pada iklim lembab basah berdasarkan reliefnya. Kedua tipe endapan ini juga dicirikan dengan batuan dasarnya berupa peridotit-harzburgit serta hadirnya mineral *oxide* berupa hematit, maghemit, kobalt, manganit, mangan, goethit, dan limonit pada zona limonit yang merupakan penciri tipe endapan nikel laterit *oxide* serta terdapat mineral *hydrous* berupa mineral garnierit pada zona saprolit yang merupakan penciri tipe endapan nikel laterit *hydrous Mg silicate* menurut Butt & Cluzel (2013) (Gambar 18.).



Gambar 16. Karakteristik endapan nikel laterit pada batuan ultramafik (A) oksida, (B) sebagian silika oksida, (C) hydrous Mg-silicate, dan (D) lempung silikat (Butt & Cluzel, 2013).

- Berdasarkan data assay terlihat bahwa pengkayaan unsur MgO terdapat pada batuan dasar atau bedrock serpentin dengan nilai rata-rata kadar 35,5%, kemudian diikuti peridotit dengan nilai rata-rata kadar 34,9% dan zona saprolite rock konglomerat dengan nilai rata-rata kadar 34,7%. Pengkayaan unsur Fe terjadi pada zona tanah penutup dengan nilai rata-rata kadar 46,6% pada satuan serpentin, kemudian diikuti pada satuan peridotit dengan nilai rata-rata kadar 45,7% dan pada satuan konglomerat dengan nilai rata-rata kadar 44,8%. Pengkayaan unsur SiO₂ terjadi pada zona saprolit dengan nilai rata-rata kadar 47,3% pada satuan konglomerat, kemudian diikuti pada satuan peridotit dengan nilai rata-rata kadar 43,2% dan pada satuan serpentin dengan nilai rata-rata kadar 42,8%. Pengkayaan unsur Al₂O₃ terjadi pada profil bagian atas dengan nilai rata-rata kadar 16,3% pada satuan peridotit, kemudian diikuti pada satuan konglomerat dengan nilai rata-rata kadar 15,5% dan pada zona limonit satuan serpentin dengan nilai rata-rata kadar 13,6%. Pengkayaan unsur Ni terjadi pada zona saprolit dengan nilai rata-rata kadar 1,5% pada satuan konglomerat, kemudian diikuti pada satuan peridotit dengan nilai rata-rata kadar 1,4% dan pada satuan serpentin dengan nilai rata-rata kadar 1,2%. Pengkayaan unsur MnO terjadi pada zona limonit dengan nilai rata-rata kadar 1,3% pada satuan serpentin, kemudian diikuti pada ferruginous saprolite satuan peridotit dengan nilai rata-rata kadar 1% dan pada satuan konglomerat dengan nilai rata-rata kadar 0,9%. Pengkayaan pada unsur Co terjadi pada bagian atas profil laterit dengan nilai rata-rata kadar 0,1% pada satuan serpentin, kemudian diikuti pada satuan konglomerat dengan nilai rata-rata kadar 0,09% dan pada satuan peridotit dengan nilai rata-rata kadar 0,08%. Pengkayaan unsur Cr₂O₃ terjadi pada profil laterit bagian atas dengan nilai rata-rata kadar 3,4% pada satuan konglomerat, kemudian diikuti satuan peridotit dengan nilai rata-rata kadar 3% dan pada satuan serpentin dengan nilai rata-rata kadar 2,4%.
- Terlihat pada geokimia data bor terdapat perpotongan unsur Fe dan SiO₂ dimana menunjukkan batas muka air tanah menurut Ahmad (2008), jika muka air tanah dangkal maka limonit yang dihasilkan tipis sehingga proses oksidasi tidak berjalan, sebaliknya jika letak muka air tanah dalam maka limonit yang dihasilkan cenderung tebal sehingga proses oksidasi berjalan dimana unsur Fe teroksidasi dan menghasilkan ferri oksida.

PENUTUP

Berdasarkan mineralogi batuan dasarnya karakteristik laterit pada daerah telitian memiliki karakteristik *Unserpentinised Type* dimana pada batuan dasar memiliki tingkat serpentinisasi yang rendah – sangat rendah ditandai mineral serpentin yang sedikit pada batuan peridotit-harzburgit serta laterit yang berkembang berupa limonite ore yang tebal dengan zona saprolit yang memiliki banyak bongkah serta terdapat iron cap atau ferricrete. Berdasarkan mineralogi zona lateritnya karakteristik endapan nikel laterit pada daerah penelitian termasuk kedalam tipe endapan nikel laterit oxide dan hydrous

Mg silicate. Tipe endapan nikel laterit oxide dicirikan hadirnya mineral oxide berupa hematit, maghemit, kobalt, magenit, mangan, goethit, dan limonit serta kadar Ni yang ekonomis pada zona limonit merupakan penciri tipe endapan nikel laterit oxide. Tipe endapan nikel laterit hydrous Mg silicate dicirikan mineral garnierit serta kadar Ni yang ekonomis pada zona saprolit merupakan penciri tipe endapan nikel laterit hydrous Mg silicate.

Berdasarkan peta anomali kadar unsur Ni, terlihat persebaran kadar unsur Ni berdasarkan data geokimia unsur Ni dan batuan dasarnya pada daerah telitian dimana batuan dasar peridotit memiliki kadar Ni yang tinggi bisa mencapai >1,5%. Pada batuan dasar serpentinit memiliki kadar Ni yang rendah – sedang dengan nilai 0,9% – 1,5%. Pada batuan dasar konglomerat memiliki kadar Ni yang tidak ekonomis atau sangat rendah – sedang dengan nilai 0,6% - 1,5%.

Berdasarkan data mineralogi dan geokimia zona laterit didapatkan pada zona tanah penutup membentuk unsur logam besi(III) oksida atau ferri oksida akibat proses oksidasi pada keadaan oksida yang sangat ekstrim ditandai dengan hadirnya mineral hematit yang mengubah warna pada zona ini menjadi warna coklat kemerahan seperti karat. Pada zona limonit membentuk unsur logam besi(III) oksida-hidroksida atau ferri oksihidroksida akibat proses oksidasi dan hidrasi pada keadaan oksida, kemudian terdapat unsur logam Ni, Co, MnO, Cr₂O₃ yang mulai meningkat kadarnya seiring berjalannya kedalaman ditandai dengan hadirnya mineral hematit, goethit, limonit, mangan, maghemit, kobalt, dan magnetit. Pada zona saprolit membentuk unsur logam besi(III) oksida-hidroksida atau ferri oksihidroksida yang mulai berubah menjadi unsur besi(II) oksida atau ferro oksida akibat proses reduksi ditandai dengan hadirnya mineral olivin, piroksen, kromit, magnetit, kemudian terdapat unsur MgO, SiO₂ dan Ni yang mulai meningkat kadarnya akibat proses pengkayaan atau supergen enrichment yang ditandai hadirnya mineral serpentinit dan garnierit yang mengisi rekahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, W. (2008). *Nickel Laterite: Fundamentals Of Chemistry, Mineralogy Weathering Processes, Formation And Exploration*. Vale Inco - VITSL.
- Asfar, S., Erick, S. 2019. Karakteristik Batuan Ultrabasa Pada Kompleks Ofiolit Desa Paka Indah, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia* pp 24-37.
- Babineau, J. (2002). *Field Determination of Serpentinization at Sorowako*. Sorowako: PT. VALE Inco.
- Bemmelen, R.W. Van, 1949, *The Geology Of Indonesia vol.II*, Martinus Nijhoff, The Hague.
- Boldt, Jr., 1967. *The Winning Of Nickel*. Princenton, New Jersey D. Van Nostard Co. Inc.
- Brand, N.W., Butt, C.R.M., Elias, M., 1998. Nickel laterites: classification and features. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics 17*: pp 81-88
- Cluzel, D. 2013. Nickel Laterite Ore Deposits: Weathered Serpentinites. *Elements Vol. 9* pp 123-128.
- Cornwall, H. R. (1966). *Nickel Deposits of North America*. Washington: U.S Department Of The Interior.
- Djauhari Noor, 2017. Perhitungan Cadangan Nikel Dengan Metoda Area Of Influence Derah Uko-Uko, Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Propinsi Sulawesi Tenggara, *Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan*. Bogor.
- Elias, M. 2002. Nickel Laterite Deposits - Geological Overview, Resources, and Exploitation. *CODES Special Publication 4*, pp 205-220
- Evans, B. W. (2004). The Serpentinite Multisystem Revisited: Chrysotile Is Metastable. *International Geology Review, Vol. 46*, 479-506.
- Freyssinet, P., C.R.M Butt, R.C Morris, dan P Piantone, 2005. Ore-Forming Processes Related to Lateritic Weathering, *Economic Geology 100th Anniversary volume*, pp 681-722
- Golightly, J.P. 2010. Progress in Understanding The Evolution of Nickel Laterites. *Society of Economic Geologist Special Publications Vol. 15*. pp 1-25
- Kadarusman, Ade, Sumio Miyashita, Shigenori Maruyama, Christopher D. Parkinson dan Akira Ishikawa, 2004. Petrology, geochemistry and paleogeographic reconstruction of the East Sulawesi Ophiolite, Indonesia , *Elsevier, Tectonophysics No. 382* h. 55-83
- Moss, S.J. and Wilson, M.E.J., 1998, Biogeographic implications of the Tertiary palaeogeographic evolution of Sulawesi and Borneo, in Hall, R. and Holloway, J.D., eds., Biogeography and Geological Evolution of SE Asia, *Backhuys Publishers, Leiden*, pp 133-163.
- Panggabean, H., Surono, 2011. Tektono-Stratigrafi Bagian Timur Sulawesi, *J.S.D.G.Vol. 21, No. 5* h. 239-248
- Raivel, R., Firman, F., 2020. Karakteristik Endapan Nikel Laterit di Bawah Molasa Sulawesi Daerah Tinanggea, Sulawesi Tenggara, *Jurnal GEOMining Vol. 1. No. 1* h. 25-37

- Rickard, M.J. 1972. Fault Classification: Discussion. *Geological Society of America Bulletin*, No.83, pp 2545-2545.
- Rusmana, E., Simandjuntak, T.O., Supandjono, J.B., Koswara, A., 1993, *Peta Geologi Lembar Lasusua - Kendari, Sulawesi, skala 1: 250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G), Bandung.
- Samodra, S.B., Surjono, S.S, Setyowiyoto, J., Suryanto, W., 2016. Evolusi Geomorfik Matarombeo Dari Cekungan Mesozoikum Menjadi Pegunungan Holosen, *KURVATEK, Vol. 1. No. 1.* pp 42-48.
- Streckeisen, A. (1976). To Each Plutonic Rocks Its Proper Name. *Earth-Science Reviews*, 1-33.
- Sukaesih. (2015). Atlas Mineral dan Batuan Endapan Nikel. *ESDM*
- Surono. 2010. *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi*. Publikasi Khusus, Badan Geologi, KESDM, 161h.
- Verstappen, H. T. (1985). *Applied Geomorphology*. New York: Elsevier.
- Williams, H., Turner, F. J., & Gilbert, C. M. (1954). *Petrography. An Introduction to the Study of Rocks in Thin Sections*. San Fransisco: Freeman & Co.
- Zakaria, Zulfialdi dan Sidarto. 2015. Aktivitas Tektonik di Sulawesi dan Sekitarnya Sejak Mesozoikum Hingga Kini Sebagai Akibat Interaksi Aktivitas Tektonik Lempeng Tektonik Utama di Sekitarnya, *J.G.S.M. Vol.16, No.3*, h. 115-127