

**KARAKTERISTIK ENDAPAN LATERIT NIKEL DAN UNSUR TANAH JARANG  
DI DAERAH PULAU GEBE, HALMAHERA TENGAH, MALUKU UTARA**

**CHARACTERISTICS OF NICKEL LATERITE DEPOSITS AND RARE EARTH ELEMENTS  
IN GEBE ISLAND, CENTRAL HALMAHERA, NORTH MALUKU**

**Rabbani Rafif Abidin<sup>1</sup>, Very Susanto<sup>1</sup>, Sulaeman<sup>2</sup>, dan Hartaja M. Hatta Wicaksono<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung

<sup>2</sup>Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi  
sulaeman.1988@gmail.com

**ABSTRAK**

Nikel laterit merupakan produk pelapukan batuan ultramafik yang memiliki kelimpahan mineral olivin dan ortopiroksen. Geologi di daerah Pulau Gebe, Kabupaten Halmahera Tengah, Provinsi Maluku Utara disusun oleh batugamping yang disetarakan dengan Formasi Waigeo yang memiliki hubungan ketidakselarasan dengan batuan ultramafik di bawahnya sebagai pembawa endapan laterit nikel. Pelapukan pada batuan ultramafik menghasilkan profil dan karakter laterit nikel yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik endapan laterit dan batuan dasar daerah ini serta mengetahui kelimpahan unsur tanah jarang di daerah ini. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa batuan pembawa laterit nikel di daerah ini adalah dunit. Profil endapan laterit nikel di pulau ini terdiri dari *red limonite*, *yellow limonite*, dan saprolit. Zona *red limonite* dicirikan dengan kandungan  $Fe_2O_3$  relatif tinggi dan derajat lateritisasi kuat, zona *yellow limonite* dicirikan dengan kandungan  $Al_2O_3$  relatif tinggi dan derajat lateritisasi lemah hingga kuat, zona saprolit dicirikan dengan kandungan  $MgO$  dan  $SiO_2$  relatif tinggi. Secara umum, pada endapan laterit nikel daerah penelitian menunjukkan pengayaan relatif  $\Sigma REE$  terhadap batuan dasar dan kandungan  $\Sigma LREE$  lebih kaya dibandingkan dengan kandungan  $\Sigma HREE$ . Berdasarkan korelasi spearman, pengontrol utama pengayaan  $\Sigma LREE_{(La-Eu)}$  dan  $\Sigma HREE_{(Gd-Lu)}$  adalah mineral Fe dengan nilai koefisien spearman antara  $\Sigma LREE_{(La-Eu)}$  dan  $\Sigma HREE_{(Gd-Lu)}$  dengan  $Fe_2O_3$  adalah 0,64-0,83. Sedangkan pengontrol utama pengayaan Sc adalah mineral Al dengan nilai koefisien spearman antara Sc dengan  $Al_2O_3$  adalah 0,59.

**Kata kunci:** Laterit nikel, batuan dasar, REE, Pulau Gebe

**ABSTRACT**

*Nickel laterite is a product of weathering of ultramafic rocks that have an abundance of olivine and orthopyroxene minerals. Geology in the Gebe Island, Central Halmahera Regency, North Maluku Province is composed of limestone, which is equivalent to the Waigeo Formation which has an inconsistent relationship with the underlying ultramafic rocks as carriers of laterite nickel deposits. Weathering of ultramafic rocks produces a different profile and character of laterite nickel. This study aims to determine the characteristics of laterite and rocks from the area and to determine the characteristics of rare earth elements. Based on the results of the study, it is known that laterite nickel carriers in the area are dunit. Laterite nickel deposit profile on the island consists of red limonite, yellow limonite, and saprolite. The red limonite zone is characterized by a relatively high  $Fe_2O_3$  content and a strong degree of lateritization; the yellow limonite zone is characterized by a relatively high  $Al_2O_3$  content and a weak to strong lateritization degree; the saprolite zone is characterized by a relatively high  $MgO$  and  $SiO_2$  content. In general, laterite Ni deposits in the study area show relative enrichment of REE to bedrock and LREE content is more abundant than HREE content. Based on the spearman correlation, the main controller of  $LREE_{(La-Eu)}$  and  $HREE_{(Gd-Lu)}$  enrichment is Fe mineral with the spearman coefficient value between  $LREE_{(La-Eu)}$  and  $HREE_{(Gd-Lu)}$  with*

$Fe_2O_3$  is 0,64-0,83. While the main controller of Sc enrichment is Al mineral with the spearman coefficient value between Sc and  $Al_2O_3$  being 0,59.

**Keywords:** Nickle laterite, bedrock, REE, Gebe Island

## PENDAHULUAN

Laterit merupakan produk pelapukan intensif pada kondisi lembab dan hangat di daerah dengan iklim tropis, serta dicirikan dengan kelimpahan mineral lempung kaolinit yang tinggi sama seperti Fe-/Al-Oksida/hidroksida (Robb, 2005). Endapan laterit nikel merupakan hasil pelapukan intensif batuan ultramafik dengan satu atau beberapa horizon tanah, umumnya mengandung nikel, kobalt, dan sedikit skandium (Butt dan Cluzel, 2013). Pulau Gebe diindikasikan memiliki prospek logam nikel dan logam penyertanya (Sulaeman dkk., 2020). Endapan nikel laterit dipertimbangkan sebagai target berpotensi untuk dilakukan eksplorasi *critical metals* (REE, Sc, dan *platinum group elements*) yang terkonsentrasi pada saat terjadi pelapukan batuan dasar dan *secondary enrichment* (Aiglsperger dkk., 2015). Menurut Elias (2002), faktor yang memengaruhi pembentukan endapan laterit nikel adalah iklim, topografi, resapan tektonik, komposisi batuan dasar, dan struktur geologi.

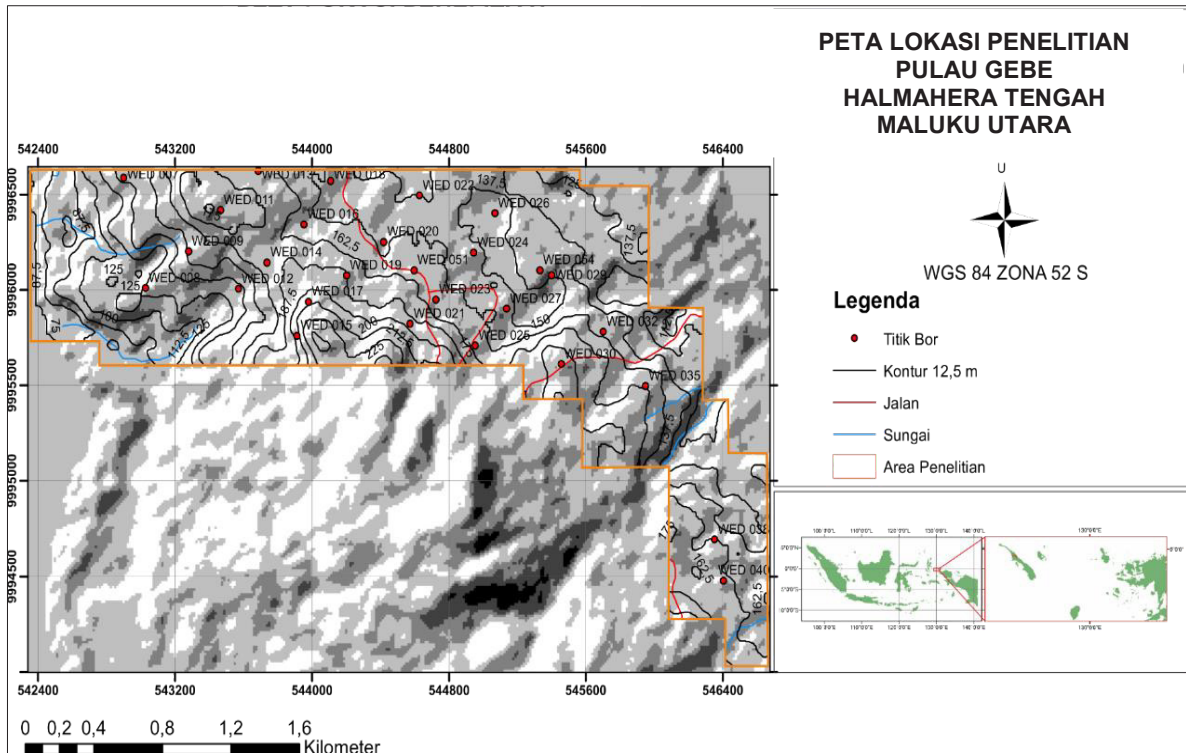
Pulau Gebe merupakan salah satu pulau kecil yang memiliki luas wilayah  $\pm 153$  km<sup>2</sup>. Secara administratif, lokasi penelitian terdapat di daerah Kecamatan Pulau Gebe, Kabupaten Halmahera Tengah, Provinsi Maluku Utara (Gambar 1).

Di daerah Pulau Gebe terdapat profil laterit yang terdiri dari *top soil*, *red limonite*, *yellow limonite*, saprolit dan batuan asal. Perbedaan karakteristik suatu daerah endapan laterit nikel, berhubungan dengan adanya perbedaan komposisi mineralogi batuan asalnya dan zona lateritisasi.

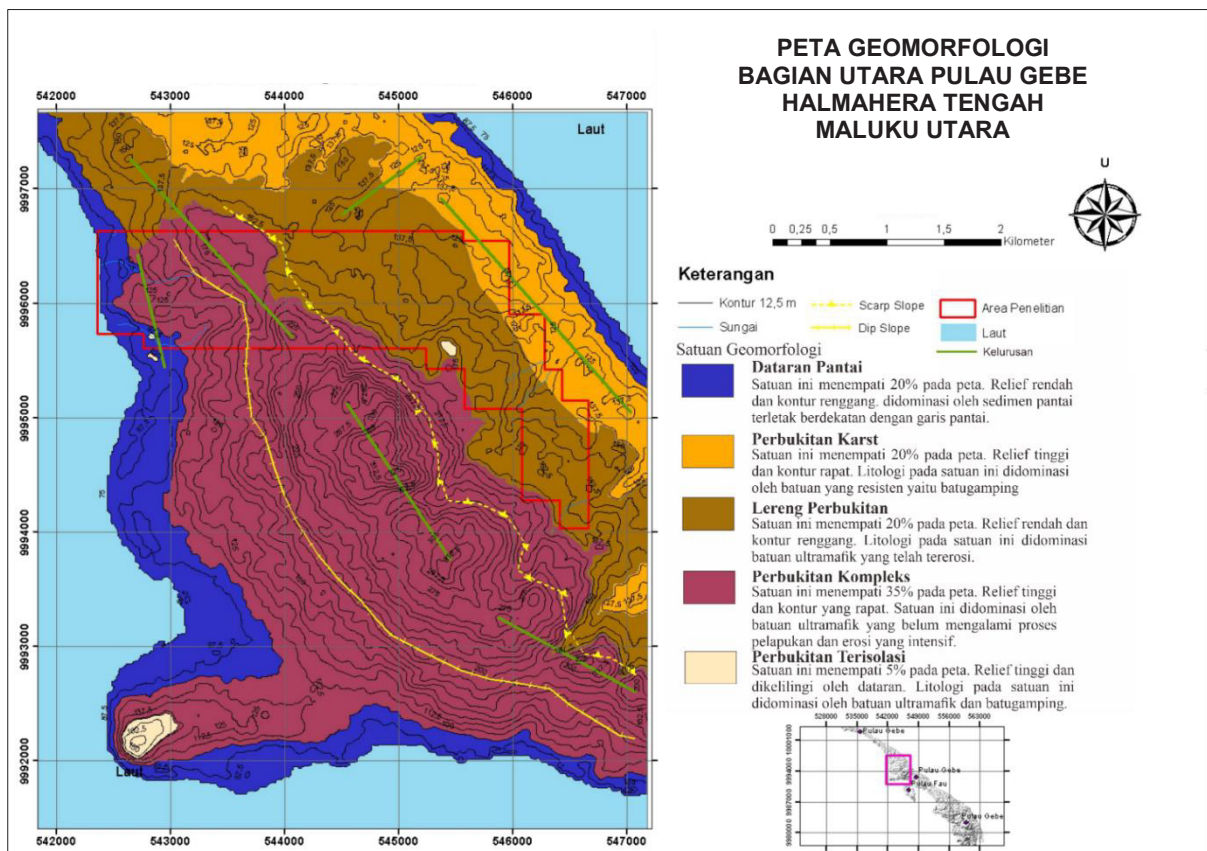
Pulau Gebe termasuk dalam fisiografi Maluku Utara (van Bemmelen, 1949). Fisiografi Maluku utara terbagi menjadi tiga, yaitu sabuk vulkanik (*volcanic belts*), sabuk non-vulkanik (*non-volcanic belts*) dan *ridges* (van Bemmelen, 1949). Pulau Gebe termasuk dalam *volcanic belts* dan terdapat kompleks *basement* batuan ultramafik-mafik.

Morfologi daerah Pulau Gebe berdasarkan klasifikasi Brahmantyo (2006) terdiri dari satuan dataran pantai, satuan perbukitan karst, satuan lereng perbukitan, satuan perbukitan kompleks, dan satuan perbukitan terisolasi. Pada morfologi satuan perbukitan kompleks ditemukan batuan ultramafik, yaitu dunit, harzburgit, dan olivin gabronorit (Gambar 2).

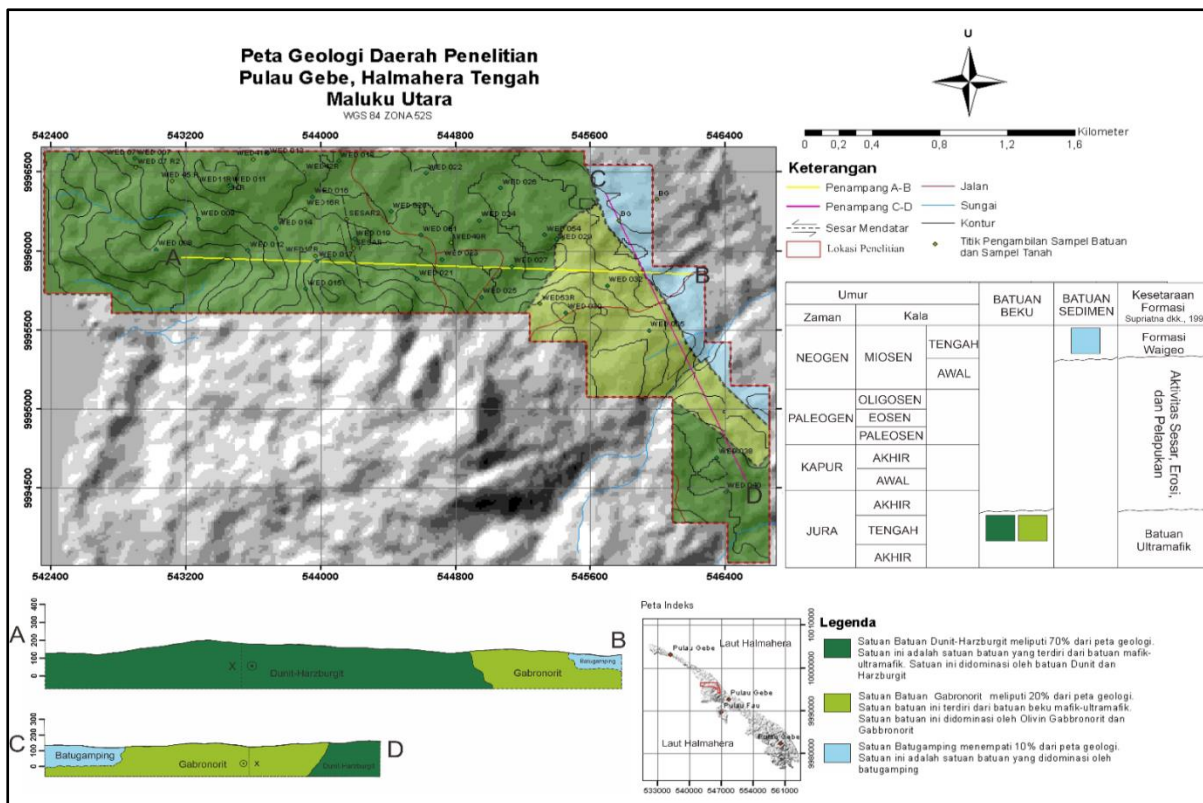
Berdasarkan peta geologi Pulau Gebe (Supriatna dkk., 1995), daerah penelitian disusun oleh batugamping yang disetarakan dengan Formasi Waigeo berumur Miosen Tengah, sementara satuan batuan dunit-harzburgit dan olivin gabronorit disetarakan dengan batuan ultramafik berumur Yura (Gambar 3). Proses pelapukan batuan ultramafik berpengaruh terhadap karakteristik dan profil laterit nikel. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik endapan laterit nikel dan batuan dasar daerah penelitian serta mengetahui hubungan karakteristik endapan laterit nikel dengan kelimpahan unsur tanah jarang. Dengan demikian, hal ini dapat membantu dalam penentuan metode pengolahan/pemurnian endapan laterit nikel tersebut dan mendapatkan mineral ikutannya yang bernilai ekonomis.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian



Gambar 2. Peta geomorfologi daerah penelitian



Gambar 3. Peta geologi daerah penelitian

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini terbagi atas dua tahap, yaitu kegiatan lapangan dan kegiatan laboratorium. Kegiatan lapangan berupa pengamatan geologi dan pengeboran. Pengamatan geologi dilakukan dengan pengambilan sampel batuan dan data morfologi. Pengeboran yang dilakukan berupa pengeboran tangan sebanyak 28 titik untuk pengambilan sampel laterit (Gambar 1). Tujuan pengambilan sampel ini untuk mengetahui penyebaran laterit dan kadar senyawa geokimia pada setiap lubang bor.

Kegiatan laboratorium berupa analisis XRF (*X-ray Fluorescence*), AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*), ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry*), dan analisis petrografi yang dilakukan di laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi. Analisis petrografi dilakukan terhadap sampel batuan untuk mengetahui jenis dan kandungan mineral pada batuan asal daerah penelitian.

Analisis ICP-OES dilakukan untuk mengetahui senyawa dan unsur minor serta kandungan unsur tanah jarang pada setiap profil endapan laterit nikel daerah penelitian. Analisis ini dilakukan pada zona *red limonite*, *yellow limonite*, dan saprolit dengan jumlah sampel 100 buah.

Analisis XRF dilakukan untuk mengetahui kadar senyawa mayor pada setiap profil endapan laterit nikel. Analisis XRF dilakukan pada zona *red limonite*, *yellow limonite*, dan saprolit dengan jumlah sampel 100.

**HASIL DAN PEMBAHASAN Geologi Daerah Penelitian**

Morfologi daerah penelitian termasuk ke dalam satuan lereng perbukitan dan satuan dataran rendah. Satuan lereng perbukitan memiliki karakteristik kontur yang agak rapat dan memiliki kemiringan lereng 8°-55°, sedangkan satuan dataran rendah memiliki karakteristik kontur yang relatif renggang dan memiliki kemiringan lereng datar hingga landai (0°-4°).

Stratigrafi daerah penelitian, berurutan dari tua ke muda tersusun dari dua satuan, yaitu Satuan Batuan Ultramafik dan Satuan Batugamping yang masing-masing satuan batuan merupakan bagian dari Formasi Batuan Ultramafik dan Formasi Waigeo (Supriatna dkk. 1995). Satuan batuan yang terdapat di daerah penelitian dibagi menjadi tiga satuan, yaitu Satuan Dunit-Harzburgit, Satuan Gabronorit, dan Satuan Batugamping ( Gambar 3).

Analisis petrografi dilakukan pada sampel batuan WED 20M 052 R1 dan WED 20M 044 R (Gambar 4).

**Karakteristik Endapan Nikel Laterit pada Daerah Pulau Gebe**

Pada daerah penelitian terdapat profil laterit sebagai berikut (Gambar 5):

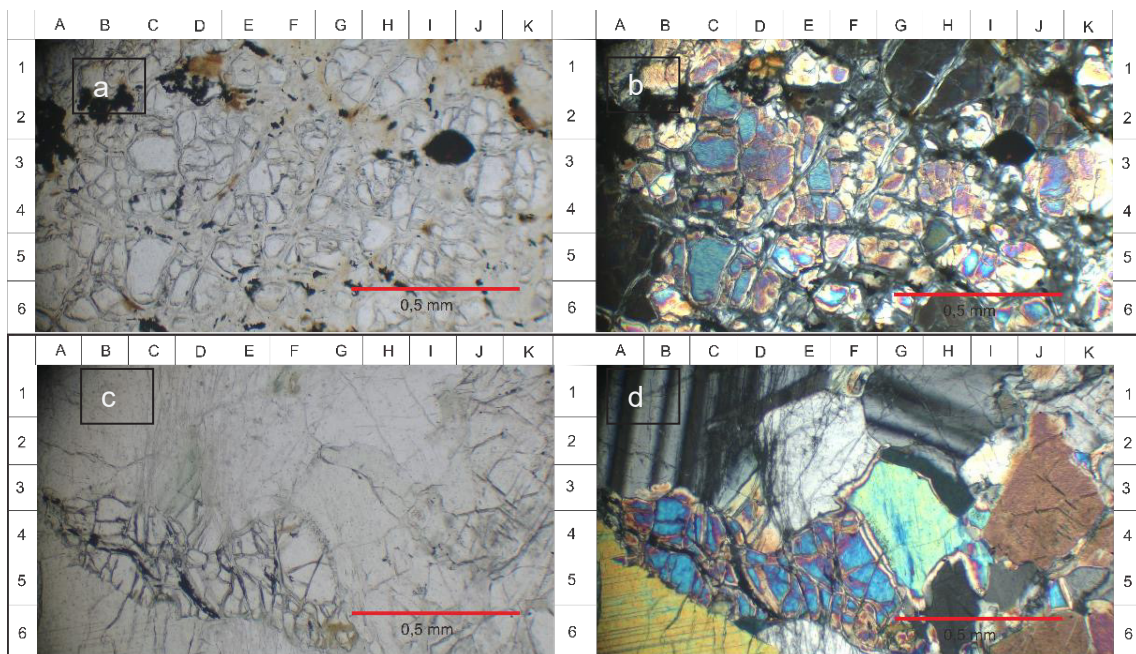
1. *Red Limonite*

Secara deskriptif, limonit merah berwarna merah kecoklatan, telah mengalami pelapukan intensif, sehingga memiliki butiran lepas dengan ukuran butir lempungan-lanau.

Pada umumnya, bagian atas *red limonite* adalah *top soil*. Lapisan laterit ini mengandung senyawa dan unsur mayor SiO<sub>2</sub> 5,18-44%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 12,31-71,94%, MgO 0,05-20,13%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,37-30,3% (Gambar 6), dan unsur minor Ni 0,02-1,16%, Co 0,01-0,15%, MnO 0,15-1,8%, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,04-1,01% (Gambar 7).

2. *Yellow Limonite*

Secara deskriptif, limonit kuning memiliki warna kuning kemerahan-kuning kecoklatan, telah mengalami pelapukan intensif, memiliki butiran yang lepas, butir berukuran lempungan-lanau. Lapisan laterit ini umumnya berada di bawah *red limonite* atau dapat langsung menjadi bagian atas profil laterit. Lapisan laterit ini mengandung senyawa dan unsur mayor SiO<sub>2</sub> 7,33-46,62%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10,18-69,41%, MgO 0,02-14,21%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3,8-18,23% (Gambar 6), dan unsur minor Ni 0,01-1,21%, Co 0,01-0,14%, MnO 0,18-1,5%, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,02-1,07% (Gambar 7)

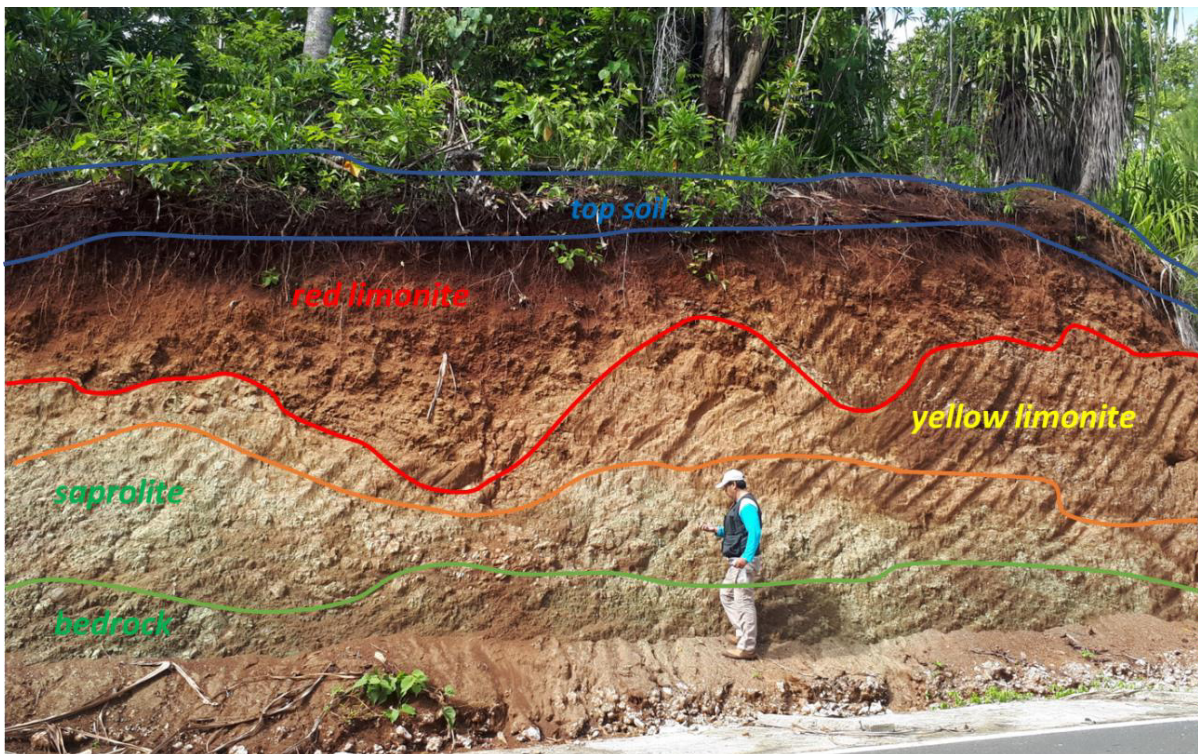


**Gambar 4.** a) Analisis petrografi nikol sejajar batuan dunit terserpentinisasi dengan mineral olivin (D3), antigorit (H1), dan mineral opak (I3) b) Analisis petrografi nikol bersilang batuan dunit terserpentinisasi dengan mineral olivin (D3), antigorit (H1), dan mineral opak (I3) c) Analisis petrografi nikol sejajar batuan olivin gabronorit dengan mineral olivin (E5), plagioklas (C1), enstantit (B6), dan augit (J3) d) Analisis petrografi nikol bersilang batuan olivin gabronorit dengan mineral olivin (E5), plagioklas (C1), enstantit (B6), dan augit (J3)

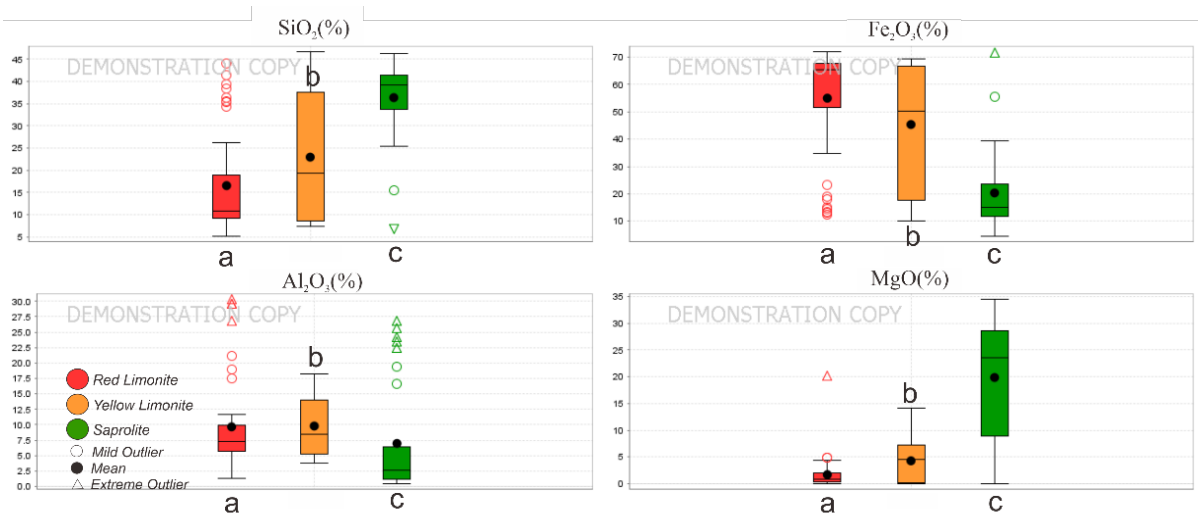
3. Saproilit

Secara deskriptif, saproilit memiliki warna hijau-hijau kecoklatan, berbutir lepas, memiliki ukuran butir lempung-pasir, telah mengalami tingkat pelapukan sedang, karena masih terdapat tekstur dan struktur *bedrock*. Masih terlihat butiran mineral yang masih tersisa. Pada beberapa titik masih terlihat tekstur dari mineral prismatic. Lapisan laterit ini berada di atas batuan dasar dan berada di bawah

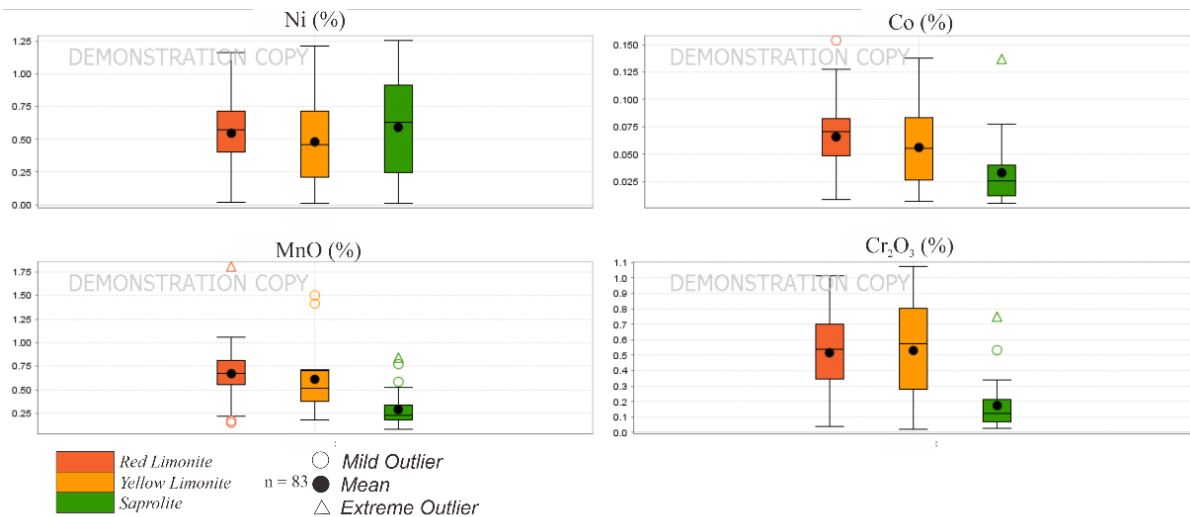
lapisan *red limonite* atau *yellow limonite*. Lapisan laterit ini mengandung senyawa dan unsur mayor  $\text{SiO}_2$  6,75-46,27%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  4,54-71,57%,  $\text{MgO}$  0,05-34,47%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0,46-26,88% (Gambar 6), dan unsur minor Ni 0,01-1,25%, Co 0,006-0,137%, MnO 0,08-0,84%,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  0,03-0,75% (Gambar 7).



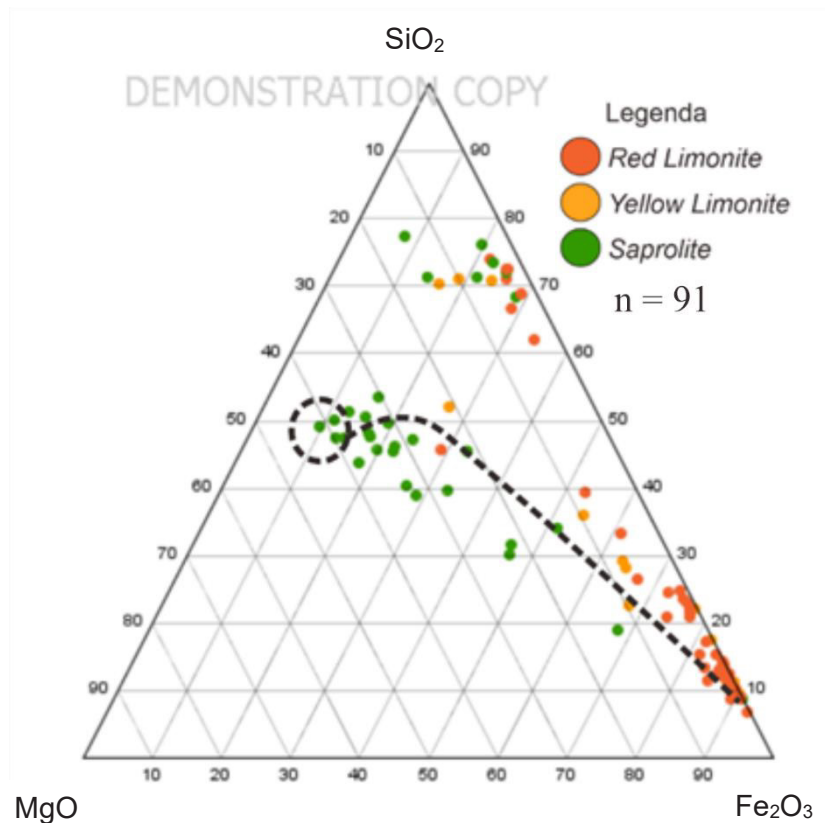
Gambar 5. Profil laterit nikel di Pulau Gebe, Halmahera Tengah, Maluku Utara (WED20M011S)



Gambar 6. Boxplot senyawa mayor pada setiap profil laterit



Gambar 7. Boxplot senyawa dan unsur minor pada setiap profil laterit

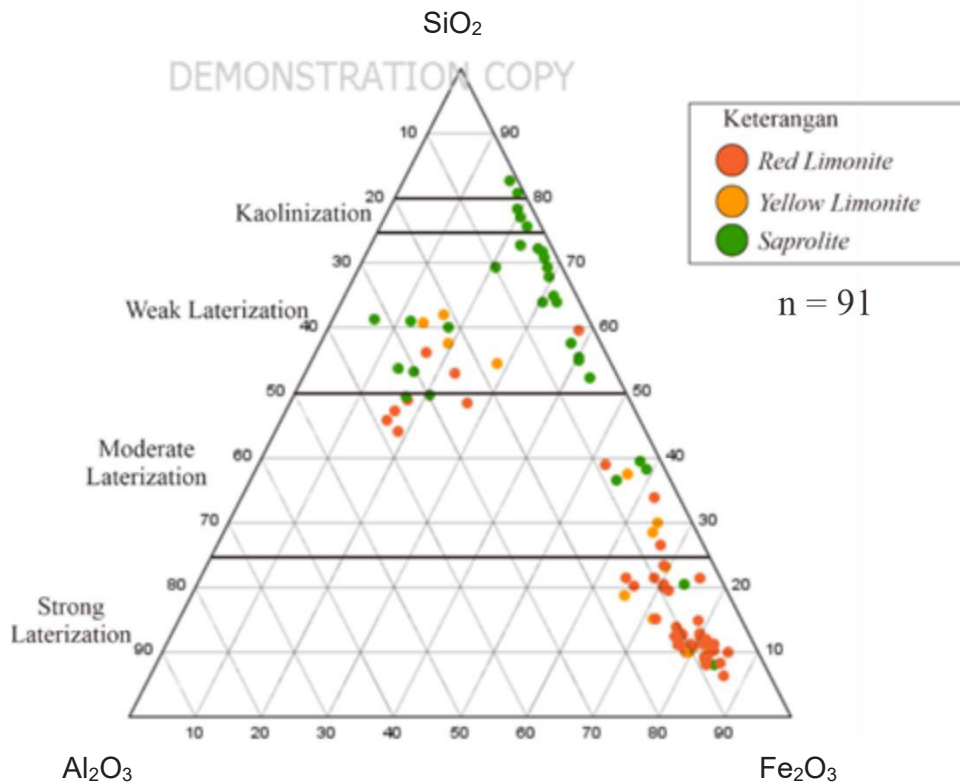


Gambar 8. Diagram terner SiO<sub>2</sub>, MgO, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> daerah penelitian

Hasil penggambaran dalam diagram terner SiO<sub>2</sub>, MgO, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> area penelitian menunjukkan (Gambar 8) bahwa, lingkaran hitam diperkirakan sebagai komposisi batuan asal yang berada di daerah penelitian melalui pendekatan dengan komposisi zona saprolit. Batuan asal telah mengalami perubahan mineral olivin

menjadi mineral serpentin (serpentinisasi). Serpentinisasi tersebut ditunjukkan oleh garis putus-putus dan menunjukkan terjadinya pengurangan senyawa MgO.

Setiap zona laterit berada pada daerah penelitian mengalami proses lateritisasi yang berbeda (Gambar 9).



**Gambar 9.** Diagram terner SiO<sub>2</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> daerah penelitian (Schellmann, 1986)

Zona saprolit profil laterit daerah penelitian dominan mengalami proses kaolinisasi sampai lateritisasi lemah. Zona limonit kuning profil daerah penelitian dominan mengalami proses lateritisasi lemah sampai lateritisasi sedang. Sedangkan zona limonit merah profil laterit daerah penelitian telah mengalami proses lateritisasi sedang sampai lateritisasi kuat (Gambar 9).

Berdasarkan diagram terner Aleva (1994), zona limonit merah pada daerah penelitian dapat diklasifikasikan sebagai *ferrite* dan *kaolinitic ferrite*. Zona limonit kuning dan zona saprolit pada daerah penelitian dapat diklasifikasikan sebagai *ferritic kaolinite* dan *kaolinite* (Gambar 10).

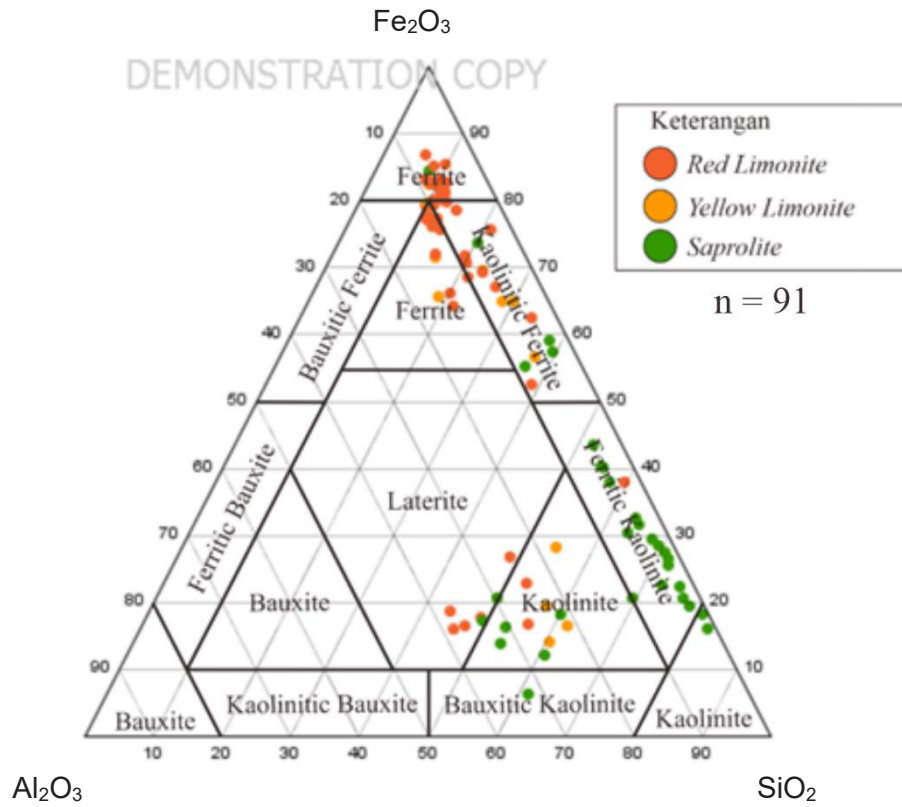
Hubungan antara polinomial orde 3 antara Fe terhadap SiO<sub>2</sub> menunjukkan persamaan Fe-SiO<sub>2</sub> termasuk dalam fungsi monotonik. Oleh sebab itu, hubungan antarunsur pada endapan laterit nikel memenuhi fungsi monotonik. Jika fungsi monotonik telah terpenuhi, maka dapat memakai metode korelasi spearman untuk mengetahui hubungan antara unsur-unsur

yang terdapat pada endapan laterit nikel. Hal tersebut menunjukkan bahwa nikel laterit daerah penelitian telah mengalami tahap lanjut, yaitu pengendapan silika (Gambar 11).

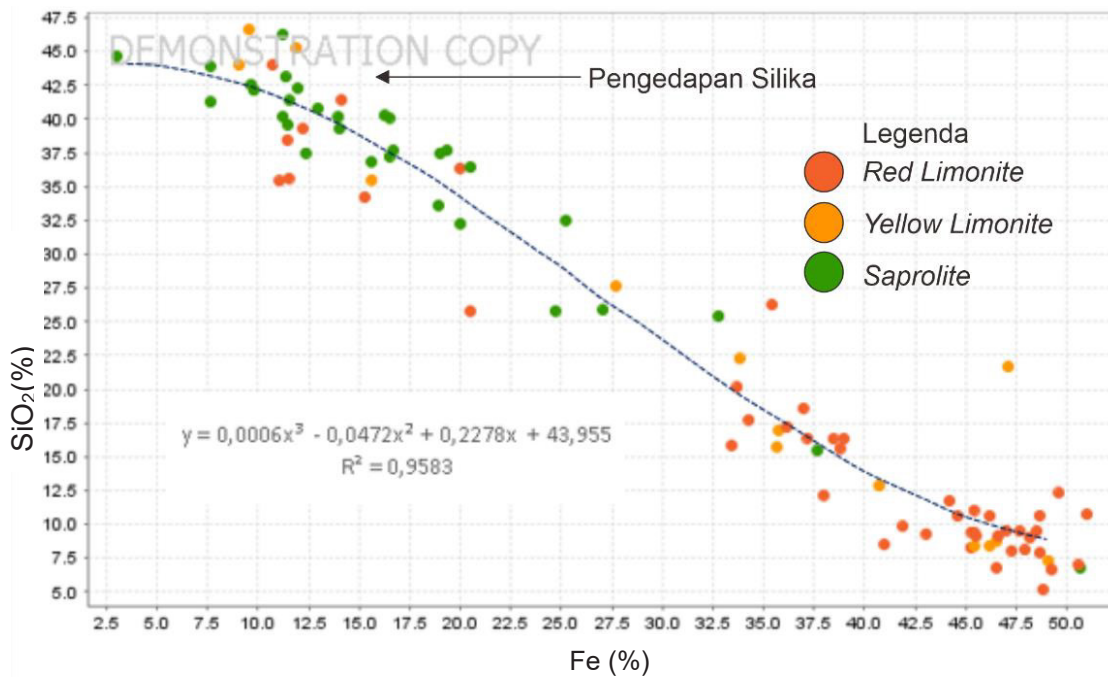
Setelah dilakukan korelasi spearman (Tabel-tabel 1, 2, dan 3) antara unsur Ni dengan senyawa mayor dan senyawa minor serta unsur minor pada lubang bor WED 20M 029S, WED 20M 030S, dan WED 20M 011 S dapat diketahui bahwa unsur Ni pada daerah penelitian memiliki korelasi positif dengan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, dan MnO. Hal tersebut mengindikasikan bahwa endapan laterit nikel pada daerah penelitian termasuk dalam endapan laterit nikel tipe oksida.

Jika dilihat pada grafik *downhole* pada daerah yang didominasi oleh batuan dunit dan grafik *downhole* pada daerah yang didominasi oleh batuan olivin gabronorit (Gambar 12), kandungan nikel pada daerah yang didominasi oleh batuan dunit lebih kaya dibandingkan dengan kandungan nikel pada daerah yang didominasi oleh batuan olivin gabronorit.





Gambar 10. Diagram terner  $SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3$  daerah penelitian (Aleva, 1994)



Gambar 11. Grafik  $Fe-SiO_2$  daerah penelitian menunjukkan fungsi monotonik

**Tabel 1.** Matriks korelasi spearman lubang bor WED 20M 030S

	Ni	Co	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO
Ni	1							
Co	0,6	1						
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,8	0,9	1					
SiO <sub>2</sub>	-0,8	-0,6	-0,7	1				
MgO	-0,9	-0,5	-0,6	0,9	1			
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5	0,7	0,5	-0,6	-0,3	1		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,9	0,7	0,6	-0,9	-0,8	0,8	1	
MnO	0,125	0,825	0,7	-0,025	0,075	0,475	0,225	1

**Tabel 2.** Matriks korelasi spearman lubang bor WED 20M 029S

	Ni	Co	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO
Ni	1							
Co	-0,8	1						
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8	-0,6	1					
SiO <sub>2</sub>	-1	0,8	-0,8	1				
MgO	0,8	-1	0,6	-0,8	1			
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8	-0,6	1	-0,8	0,6	1		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,8	0,4	-0,4	0,8	-0,4	-0,4	1	
MnO	0	-0,4	0,4	0	0,4	0,4	0,6	1

**Tabel 3.** Matriks korelasi spearman lubang bor WED 20M 011S

	Ni	Co	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO
Ni	1							
Co	0,9	1						
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1	0,9	1					
SiO <sub>2</sub>	-0,6	-0,3	-0,6	1				
MgO	0,1	0,5	0,1	0,3	1			
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1	-0,3	0,1	-0,7	-0,7	1		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-1	-0,9	-1	0,6	-0,1	-0,1	1	
MnO	0,9	1	0,9	-0,3	0,5	-0,3	-0,9	1

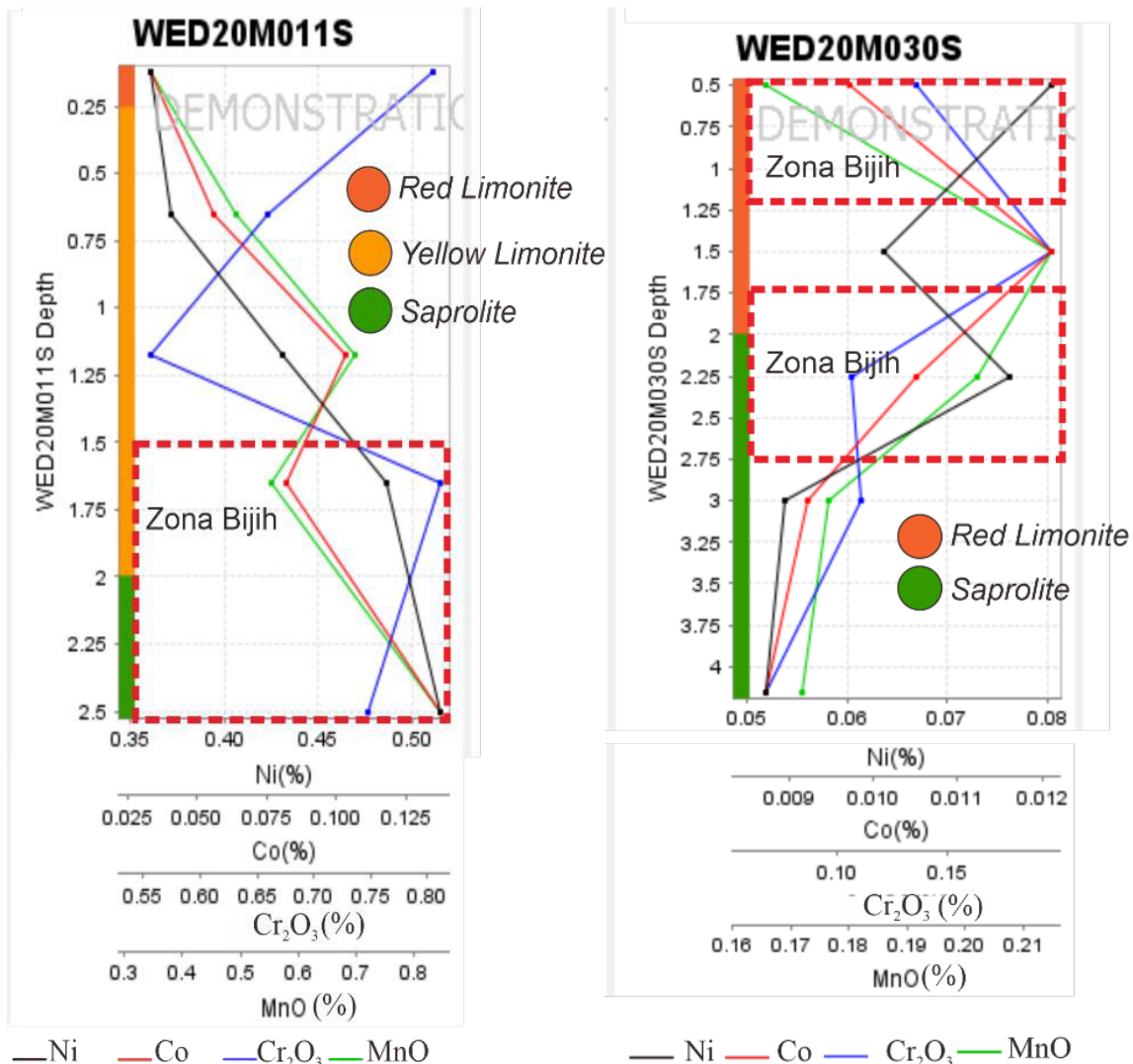
Keterangan

Korelasi Positif

rs	Keterangan
0-0,19	Sangat Lemah
0,2-0,39	Lemah
0,4-0,59	Sedang
0,6-0,79	Kuat
0,8-1	Sangat Kuat

Korelasi Negatif

rs	Keterangan
0-(-0,19)	Sangat Lemah
(-0,2)-(-0,39)	Lemah
(-0,4)-(-0,59)	Sedang
(-0,6)-(-0,79)	Kuat
(-0,8)-(-1)	Sangat Kuat



**Gambar 12.** Grafik *downhole* WED 20M 011S daerah yang didominasi batuan dunit dan grafik *downhole* WED 20M 030S daerah yang didominasi batuan olivin gabronorit

**Karakteristik Unsur Tanah Jarang di Daerah Pulau Gebe**

Pada endapan laterit nikel daerah penelitian yang berasal batuan dasar dunit terserpentinisasi dan olivin gabronorit menunjukkan karakteristik kandungan *rare earth element* (REE) (Gambar 13, Gambar 14,) dan dapat dirangkum sebagai berikut:

- Zona *red limonite* menunjukkan kandungan unsur tanah jarang,  $\Sigma$ REE(La-Lu) 83,18-291,27 ppm yang terdiri dari  $\Sigma$ LREE (*ligh REE*) 42,31-154,32 ppm dan  $\Sigma$ HREE (*heavy REE*) 40,87-141,80 ppm. Kelompok LREE terdiri atas La 0,14-5,81 ppm, Ce 13,62-68,71 ppm, Pr 17,57-98,46 ppm, Nd 0,36-6,69 ppm, Sm 3,17-13,33 ppm, dan

Eu 1,14-2,61 ppm. Sedangkan HREE terdiri atas Gd 21,72-100,12 ppm, Tb 1,27-8,56 ppm, Dy 0,49-11,67 ppm, Ho 0,08-3,47 ppm, Er 0,76-3,53 ppm, Tm 0,55-2,95 ppm, Yb 4,65-7,10 ppm, dan Lu 5,29-17,49 ppm serta Y 4,04-22,84 ppm dan Sc 19,30-70,40 ppm (Gambar 10 dan Gambar 11).

- Zona *yellow limonite* menunjukkan kandungan unsur tanah jarang (REE),  $\Sigma$ REE 42,04-279,31 ppm yang terdiri atas  $\Sigma$ LREE 14,91-151,54 ppm dan  $\Sigma$ HREE 27,13-132,86 ppm. Kelompok LREE terdiri atas La 1,24-11,42 ppm, Ce 2,17-97,54 ppm, Pr 9,19-93,01 ppm, Nd 0,24-13,58 ppm, Sm 1,36-12,72 ppm, Eu 0,94-2,97 ppm. Sedangkan HREE terdiri atas Gd

11,88-96,75 ppm, Tb 0,86-7,84 ppm, Dy 0,13-12,09 ppm, Ho 0,18-5,05 ppm, Er 0,83-4,40 ppm, Tm 0,76-1,98 ppm, Yb 3,27-8,35 ppm, dan Lu 8,39-15,86 ppm serta Y 3,66-32,33 ppm dan Sc 5,6-48,6 ppm (Gambar 13 dan Gambar 14)

- Zona saprolit menunjukkan kandungan unsur tanah jarang (REE),  $\Sigma\text{REE}$  47,19-282,44 ppm yang terdiri atas  $\Sigma\text{LREE}$  19,71-153,58 ppm dan  $\Sigma\text{HREE}$  27,48-132,66 ppm. Kelompok LREE terdiri atas La 0,31-9,48 ppm, Ce 2,46-76,25 ppm, Pr 3,13-99,37 ppm, Nd 0,15-8,26 ppm, Sm 2,73-12,38 ppm, Eu 0,92-2,46 ppm. Sedangkan HREE terdiri atas Gd 9,04-95,06 ppm, Tb 0,28-7,93 ppm, Dy 0,15-5,86 ppm, Ho 0,28-1,71 ppm, Er 2,83-6,98 ppm, Tm 0,51-1,64 ppm, Yb 3,40-6,72 ppm, Lu 5,59-14,17 ppm serta Y 3,68-28,29 ppm dan Sc 3,50-47,80 ppm (Gambar 13 dan Gambar 14)

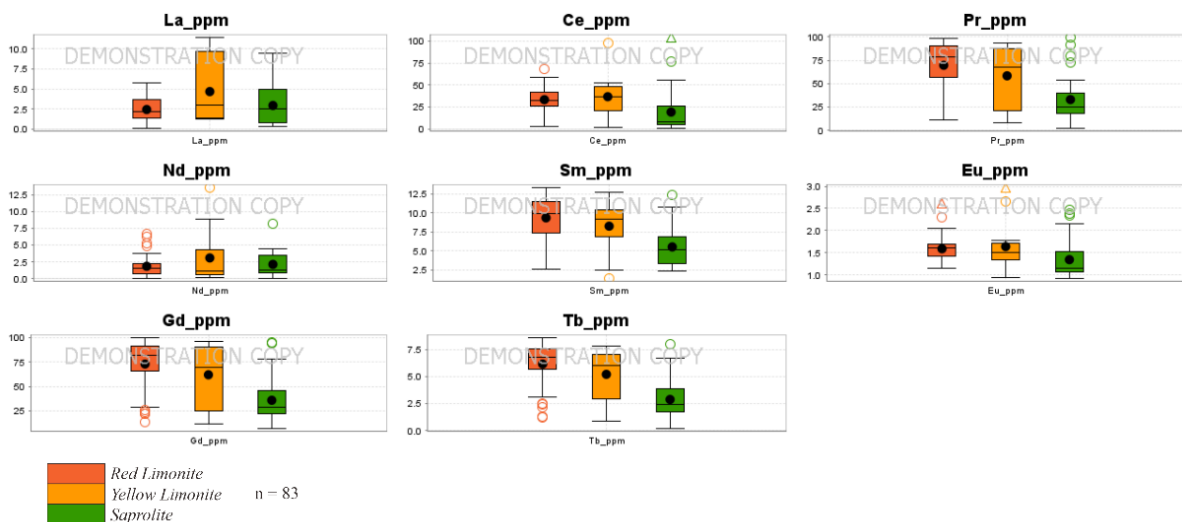
Analisis korelasi spearman dilakukan untuk mengetahui perilaku unsur REE terhadap unsur REE lain, senyawa mayor, dan unsur minor serta mineral yang berpotensi untuk membawa REE pada endapan laterit nikel daerah penelitian. Analisis korelasi spearman dilakukan pada dua kelompok besar REE, yaitu  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$  dan  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$  terhadap terhadap satu sama lain, unsur Sc, unsur Y unsur mayor, dan unsur minor (Tabel 4 dan Tabel 5) dengan hasil sebagai berikut:

- Berdasarkan Tabel 4, korelasi antara  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$ ,  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ , Sc, dan Y pada area penelitian menunjukkan korelasi positif sangat lemah hingga sangat kuat dan korelasi negatif sangat lemah. Korelasi positif sangat kuat ditunjukkan antara  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$  dengan  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ . Korelasi positif kuat ditunjukkan oleh unsur Sc dengan  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$ . Korelasi positif sedang ditunjukkan oleh unsur Sc dengan  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ . Korelasi positif lemah ditunjukkan oleh unsur Sc dengan unsur Y.

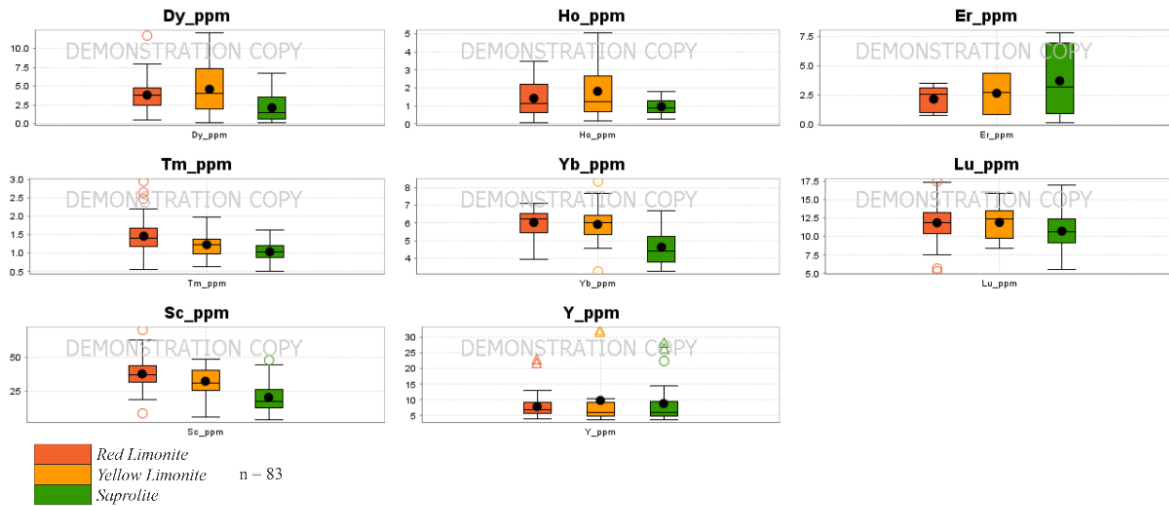
Korelasi positif sangat lemah ditunjukkan oleh unsur Y dengan  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$ . Sedangkan untuk korelasi negatif sangat lemah ditunjukkan oleh unsur Y dengan  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ .

- Berdasarkan Tabel 5, korelasi antara  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$ ,  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ , Sc, dan Y dengan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menunjukkan korelasi negatif sangat lemah (-0,2), korelasi positif sedang (0,45), korelasi positif kuat (0,64-0,76), dan korelasi positif sangat kuat (0,83). Hal ini menunjukkan bahwa mineral dominan Fe memiliki peran penting dalam pengayaan REE, khususnya  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ . Sedangkan mineral Fe tidak terlalu memiliki peran terhadap pengayaan unsur Y.
- Berdasarkan Tabel 5, korelasi antara  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$ ,  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ , Sc, dan Y dengan  $\text{SiO}_2$  menunjukkan korelasi negatif sedang hingga sangat kuat (-0,48 hingga 0,8) dan korelasi positif lemah (0,23). Hal ini menunjukkan  $\text{SiO}_2$  memiliki peran yang tidak terlalu signifikan dalam pengayaan unsur Y dan tidak memiliki peran dalam pengayaan  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$ ,  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ , dan Sc.
- Berdasarkan Tabel 5, korelasi antara  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$ ,  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ , Sc, dan Y dengan MgO menunjukkan korelasi negatif sangat lemah hingga kuat ((-0,7)-(-0,01)). Hal ini menunjukkan bahwa MgO tidak memiliki peran dalam pengayaan REE.
- Berdasarkan Tabel 5, korelasi antara  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$ ,  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ , Sc, dan Y dengan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  menunjukkan korelasi positif sangat lemah hingga sedang (0,09-0,59). Hal ini menunjukkan bahwa mineral Al (contoh: kaolinit) memiliki peran terhadap pengayaan REE, khususnya Sc (0,59).

- Berdasarkan Tabel 5, korelasi antara  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$ ,  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ , dan Sc dengan MnO menunjukkan korelasi positif lemah sampai kuat (0,33-0,71). Hal ini menunjukkan bahwa mineral Mn memiliki tidak terlalu mengontrol pengayaan unsur Sc (0,33) tetapi lebih mengontrol  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$  dan  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$  (0,56-0,71). Sedangkan korelasi Y dengan MnO menunjukkan korelasi negatif sangat kuat (-1,00). Hal ini menunjukkan mineral Mn tidak memiliki peran terhadap pengayaan unsur Y.
- Berdasarkan Tabel 5, korelasi antara  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$  dengan Ni menunjukkan korelasi positif sangat lemah (0,15). Hal ini menunjukkan bahwa mineral Ni (contoh: garnierit) tidak terlalu berpengaruh terhadap pengayaan  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ . Sedangkan korelasi antara  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$ , Sc, dan Y dengan Ni menunjukkan korelasi negatif sangat lemah hingga lemah ((-0,33)-(-0,07)). Hal ini menunjukkan mineral Ni tidak memiliki peran dalam pengayaan unsur  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$ , Sc, dan Y.
- Berdasarkan Tabel 5, korelasi antara  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$ ,  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ , dan Sc dengan Co menunjukkan korelasi positif lemah hingga kuat (0,32-0,75). Hal ini menunjukkan bahwa mineral Co memiliki peran terhadap kelimpahan  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$ ,  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ , dan Sc, khususnya  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ . Sedangkan korelasi Y dengan Co menunjukkan korelasi negatif sangat lemah. Hal ini menunjukkan bahwa mineral Co tidak memiliki peran terhadap pengayaan unsur Y.
- Berdasarkan Tabel 5, korelasi antara  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$ ,  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ , dan Sc dengan  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  menunjukkan korelasi positif sedang hingga kuat (0,46-0,72). Hal ini menunjukkan bahwa mineral Cr memiliki pengaruh drastis terhadap pengayaan  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$ ,  $\Sigma\text{HREE}_{(\text{Gd-Lu})}$ , dan Sc, khususnya  $\Sigma\text{LREE}_{(\text{La-Eu})}$ . Sedangkan korelasi unsur Y dengan  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  menunjukkan korelasi negatif lemah (-0,20). Hal ini menunjukkan bahwa mineral Cr tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap pengayaan Y.



**Gambar 13.** Boxplot unsur tanah jarang (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb) pada profil laterit area penelitian



Gambar 14. Boxplot unsur tanah jarang (Sc, Y, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) pada profil laterit area penelitian

Tabel 4 Matriks korelasi spearman Sc, Y, ΣLREE, ΣHREE, ΣREE pada endapan laterit area penelitian

	Sc	Y	ΣLREE <sub>(La-Eu)</sub>	ΣHREE <sub>(Gd-Lu)</sub>	ΣREE <sub>(La-Lu)</sub>
Sc	1,00				
Y	0,29	1,00			
ΣLREE <sub>(La-Eu)</sub>	0,62	0,12	1,00		
ΣHREE <sub>(Gd-Lu)</sub>	0,58	-0,06	0,89	1,00	
ΣREE <sub>(La-Lu)</sub>	0,62	0,02	0,97	0,97	1,00

Tabel 5. Matriks korelasi Sc,Y, ΣLREE, ΣHREE, ΣREE dengan unsur mayor dan minor pada endapan laterit area penelitian

	Sc	Y	ΣLREE <sub>(La-Eu)</sub>	ΣHREE <sub>(Gd-Lu)</sub>	ΣREE <sub>(La-Lu)</sub>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,45	-0,20	0,64	0,83	0,76
SiO <sub>2</sub>	-0,48	0,23	-0,60	-0,80	-0,73
MgO	-0,73	-0,01	-0,64	-0,68	-0,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,59	0,35	0,24	0,09	0,18
MnO	0,33	-1,00	0,58	0,71	0,67
Ni	-0,33	-0,19	-0,07	0,15	0,04
Co	0,32	-0,16	0,59	0,75	0,70
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,46	-0,20	0,57	0,72	0,68

Keterangan Korelasi Positif		Keterangan Korelasi Negatif	
rs	Keterangan	rs	Keterangan
0-0,19	Sangat Lemah	0-(-0,19)	Sangat Lemah
0,2-0,39	Lemah	(-0,2)-(-0,39)	Lemah
0,4-0,59	Sedang	(-0,4)-(-0,59)	Sedang
0,6-0,79	Kuat	(-0,6)-(-0,79)	Kuat
0,8-1	Sangat Kuat	(-0,8)-(-1)	Sangat Kuat

**KESIMPULAN**

Pada daerah Pulau Gebe, secara umum memiliki profil laterit, yaitu zona *red limonite*, *yellow limonite*, dan *saprolite*. Setiap profil endapan memiliki karakteristik yang berbeda seperti zona *red limonite* dicirikan dengan warna merah kecoklatan serta kandungan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> relatif tinggi. Zona *yellow limonite* dicirikan dengan kuning kemerahan sampai kuning kecoklatan dan memiliki kandungan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> relatif tinggi. Zona *saprolite* dicirikan dengan warna hijau kekuningan sampai hijau terang dan memiliki kandungan MgO dan SiO<sub>2</sub> relatif tinggi. Kandungan Ni pada daerah yang didominasi batuan dunit lebih dibandingkan dengan kandungan Ni pada daerah yang didominasi batuan olivin gabronorit. Kelimpahan REE pada endapan laterit nikel di daerah penelitian dominan mengalami pengayaan residual, yaitu peningkatan kandungan dari zona *saprolite* ke zona *red limonite*, kecuali unsur Y.

Dengan diketahuinya karakteristik endapan laterit nikel pada kegiatan ini, dapat memberikan pertimbangan dalam penentuan metode pengolahan/pemurnian endapan laterit nikel tersebut, sehingga dalam pengolahannya/pemurniannya dapat dilakukan dengan lebih efisien.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada (Alm) Bambang Priadi atas bimbingan dan masukan dalam proses analisis dan penulisan artikel ilmiah ini. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih juga kepada Tim Eksplorasi dan Tim Laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi yang telah membantu dalam proses analisis sampel dan semua pihak yang telah banyak membantu sehingga penulisan makalah ini dapat diselesaikan.

**DAFTAR PUSTAKA**

Aiglsperger, T., J. A. Proenza, J., F. Lewis, M. Labrador, M. Svojtka, Rojas-Puron, A., F. Longo, dan J. Durisova, (2015). Critical metals (REE, Sc, PGE) in Ni laterites from Cuba and the Dominican Republic. *Ore Geology Reviews*, **73**, 127-147.

Aleva, G. J. J. (1994): Laterites: concepts, geology, morphology and chemistry. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC).

Butt, C. R., dan D. Cluzel, (2013): Nickel laterite ore deposits: weathered serpentinites. *Elements*, **9**(2), 123-128.

Brahmantyo, B., dan B. Salim, (2006): Klasifikasi Bentuk Muka Bumi (Landform) untuk Pemetaan Geomorfologi pada Skala 1: 25.000 dan Aplikasinya untuk Penataan Ruang, *Jurnal Geoaplika*, **1**, 071-078.

Elias, M. (2002): Nickel laterite deposits-geological overview, resources, and exploitation, *Giant ore deposits: Characteristics, genesis, and exploration. CODES Special Publication*, **4**, 205-220.

Robb, L. (2005): Introduction to Ore Forming Processes, UK: Blackwell Publishing.

Schellmann, W. (1986): A new definition of laterite, *Memoirs of the Geological Survey of India*, **120**, 1-7.

Sulaeman, H., M., H. Wicaksono, R., S. Nugraha, F. Firmansyah, dan A. Suparmin, (2020): Prospeksi Nikel dan Mineral Pengikutnya di Pulau Gebe, Kabupaten Halmahera Tengah, Maluku Utara. Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

Supriatna, S., A. S. Hakim, dan T. Apandi, (1995): Peta Geologi Lembar Waigeo, Irian Jaya. Badan Geologi.

van Bemmelen, R. W. (1949): *The Geology of Indonesia, Vol I-A, General Geology*, Government Print, The Hague Netherland.

Diterima	: 18 Februari 2022
Direvisi	: 7 Juni 2022
Disetujui	: 27 Agustus 2022