e-ISSN 2580 - 0752

BULLETIN OF
GEOLOGY
Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian (FITB)
Institut Teknologi Bandung (ITB)

LATERITISASI PADA KOMPLEKS *MELANGE* AREA WAILUKUM, KABUPATEN HALMAHERA TIMUR

ADITYA RIZKI RAMADHAN[1], NURCAHYO INDRO BASUKI[1], BAMBANG PRIADI[1], BRONTO SUTOPO[2], ABDUL BARI[2]

1. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung (ITB), Jl. Ganesha No.10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia.
2. PT. Aneka Tambang Tbk, Jl. TB Simatupang No. 1, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta

Sari – Penelitian ini dilatarbelakangi oleh adanya endapan laterit yang berasal dari litologi yang berbeda pada Area Wailukum, Daerah Buli, Kabupaten Halmahera Timur. Daerah penelitian merupakan bagian dari IUP PT. Antam UBPN Maluku Utara. Koordinat area penelitian berada di 412.369-413.763 mT dan 89.304-88.384 mU zona 52N, dengan luas area penelitian sebesar 1,4 km^2. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik endapan laterit dan batuan dasar di Area Wailukum. Data yang digunakan berupa DEM, data lapangan, serta data bor. Analisis DEM dan data lapangan digunakan untuk penentuan satuan topografi. Analisis data lapangan bertujuan untuk peta dan penampang geologi. Analisis geostatistik pada data bor yang terdiri dari data *assay* (470 sampel) dan deskripsi bor bertujuan untuk menentukan karakteristik endapan laterit dan batuan dasar dari area penelitian. Berdasarkan hasil analisis petrografi sayatan tipis, didapatkan jenis batuan dasar berupa serpentinit, orthopiroksenit terserpentinisasi sedang dan olivin gabbronorit terserpentinisasi lemah. Kompleks *melange* berupa serpentinit, orthopiroksenit dan olivin gabbronorit dalam bentuk boudinage yang dilingkupi oleh serpentinit berfoliasi. Keberadaan *melange* ini diperkirakan hasil dari proses kolisi. Berdasarkan analisis diagram terner SiO_2-MgO-Fe_2O_3, tipe lateritisasi berupa *dry laterites* dengan pengendapan silika. Endapan laterit terbagi menjadi limonit dan saprolit. Satuan topografi dibagi menjadi *hill slope* dan *lowland basin.* Pada area *hill slope,* terdapat proses longsor yang menyebabkan lebih tipisnya endapan laterit yang terbentuk. Litologi dapat dibagi menjadi litologi yang didominasi gabbro dan litologi yang didominasi serpentinit. Pada litologi yang didominasi gabbro, lateritisasi tidak berlangsung dengan baik dan tidak ditemukan zona bijih. Pada litologi yang didominasi serpentinit, lateritisasi berlangsung dengan baik dan ditemukan zona bijih pada bagian saprolit dan bagian bawah limonit. Ni berada dalam serpentin kaya nikel sehingga Ni berkorelasi positif kuat dengan Co, Fe, MnO, dan Cr_2O_3. Pada area *lowland basin,* terdapat akumulasi hasil longsor yang menyebabkan endapan laterit tebal dan zona bijih berada di limonit.

Kata kunci : Endapan Laterit, Batuan Dasar, *Melange* ,Wailukum, Halmahera Timur.

Abstract *- This research is prompted by the presence of laterite deposit from different lithology in Wailukum Area, Buli Districts, Eastern Halmahera Region The research area is part of PT. Antam UBPN North Maluku IUP. The coordinates of research area are 412.369-413.763 mT and 89.304-88.384 mU zone 52N, and with research area of 1,4 km^2. This research's objective is to determine the characteristics of laterites and bedrock in Wailukum area. Data used in this research are DEM, LIDAR, field data and borehole data DEM and field data analysis are used to determine the topographic unit Field data analysis are used to make geological map and cross section. Geostatistical analysis on borehole data, consist of assay and drill log data (470 sample) are used to determine laterite deposit and bedrock characteristic. Based on petrography analysis, bedrock in Wailukum are serpentinite, moderately serpentinized orthopyroxenite and weakly serpentinized olivine gabbronorite. Melange complex in Wailukum consist of serpentinite, orthopiroxenite and olivine gabbronorite as a boudinage and surrounded by foliatd serpentinite as a matrix. This melange complex predicted as as result of a collisional event. Terniary SiO_2-MgO-Fe_2O_3 diagram analysis shows that type of lateritization is dry laterites with silica deposition. Laterite deposit divided into limonite and saprolite. Topographic unit divided into hill slope and lowland basin. Landslide process in hillslope area causes thin laterite deposit. Lithology in hillslope area are divided into lithology with gabbro domination and lithology with serpentine domination. Lateritization in lithology with gabbro domination are poor lateritization and ore zone are not formed. Latertization in lithology with serpentine domination are good lateritization and ore zone are formed in saprolite and lower part of limonite. Ni is in nickeliferous serpentine which cause Ni has strong positive corellation with Co, Fe, MnO and Cr_2O_3. There is landslide accumulation in lowland basin.which cause thin laterite deposit and ore zone in limonite.*

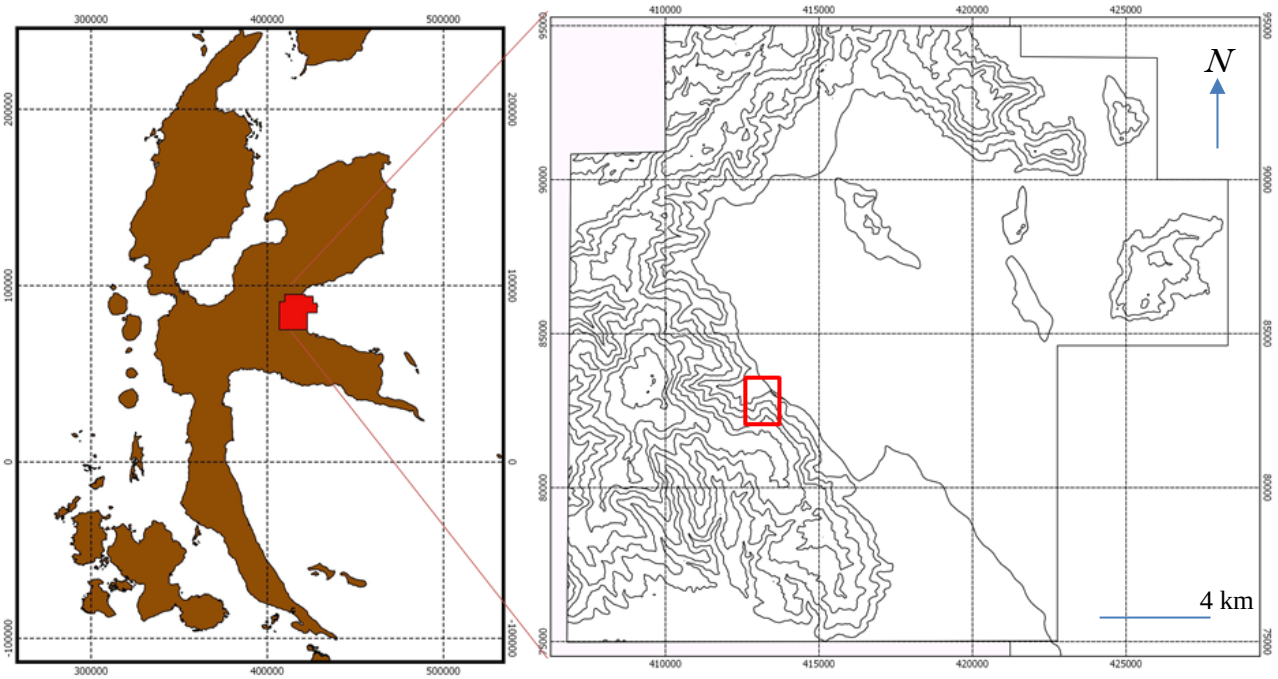
Key word *: Laterite deposit, Bedrock, Melange, Wailukum, Eastern Halmahera.*

1. PENDAHULUAN

Litologi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi lateritisasi (Ahmad, 2006). Keberadaan berbagai macam litologi dalam kompleks *mélange* di area penelitian menjadi latar belakang penelitian ini. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh faktor litologi dalam proses lateritisasi yang akan dijelaskan dalam karakteristik batuan dasar dan endapan laterit.

Intrepetasi mengenai karakterisitik endapan laterit dan batuan dasar area penelitian hanya dibatasi oleh ketersediaan data berupa data lapangan, DEM (*Digital Elevation Model*), dan data bor yang meliputi deskripsi bor dan *assay*. Karakteristik batuan dasar meliputi jenis batuan dasar, intensitas serpentinisasi, dan pengaruh struktur geologi. Karakteristik endapan laterit meliputi profil laterit, lateritisasi, faktor topografi & faktor litologi. Zona bijih didefinisikan sebagai zona dengan kadar Ni ≥1%.

Secara administratif, lokasi penelitian terletak di Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara. Lokasi penelitian dapat dilihat di **Gambar 1** Daerah penelitian merupakan daerah konsesi UBP Nikel Maluku Utara PT. ANTAM Tbk. dan koordinat area Wailukum berada 412.369 - 413.763 mT dan 89.304 - 88.384 mU (UTM Zona 52 N), dengan luas daerah 1,4 km^2.



Gambar 1. Lokasi area penelitian ditunjukan oleh kotak merah.

2. DATA DAN METODOLOGI

Data yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang didapatkan langsung dari lapangan. Data sekunder merupakan data yang didapatkan dari pihak PT. ANTAM Tbk.

Data primer berupa data persebaran batuan dan sampel batuan. Sampel batuan akan dilakukan Analisis sayatan tipis untuk mengetahui jenis batuan, tekstur dan intensitas serpentinisasinya. Kemudian. Persebaran batuan akan dipetakan sehingga menghasilkan peta geologi area penelitian.

Data sekunder berupa data DEM dan data bor. Data DEM didapatkan dari USGS dan data bor didapatkan dari laboratorium PT. Antam Tbk. Unit Geomin. Data bor berupa data pada 23

DOI: 10.5614/bull.geol.2020.4.1.3

titik bor dengan 2 titik bor berupa data foto, drilllog, unsur mayor (Fe_2O_3, Fe, SiO_2, CaO, MgO dan Al_2O_3) dan unsur minor (Ni, Co, MnO, Cr_2O_3). 20 titik bor berupa data, unsur mayor (Fe_2O_3, Fe, SiO_2, CaO, MgO dan Al_2O_3) dan unsur minor (Ni, Co, MnO, Cr_2O_3) serta 1 titik bor berupa data, unsur mayor (Fe_2O_3, Fe, SiO_2, CaO, MgO dan Al_2O_3) dan unsur minor (MnO, Cr_2O_3). Data DEM akan diolah untuk mengetahui kemiringan lereng area penelitian, sehingga dapat dibagi menjadi beberapa satuan topografi. Setiap satuan topografi akan dianalisis mengenai faktor yang mempengaruhi lateritisasi.

Pada setiap satuan topografi akan dianalisis pengaruh faktor litologi dalam lateritisasi. Karakterisitik batuan dasar dan endapan laterit akan dirangkum dalam model skematik endapan laterit - batuan dasar Area Wailukum. Zona bijih merupakan zona dengan kadar Ni>1%.

Unsur yang terdapat dalam endapan laterit dapat ditentukan korelasinya. Terdapat beberapa jenis metoda korelasi. Penentuan jenis metoda korelasi berdasarkan karakteristik data. Data *assay* pada Area Wailukum (Gambar 6.2) bersifat monotonik, sehingga metode korelasi yang digunakan adalah metode korelasi *spearman*. Fungsi monotonik merupakan fungsi yang salah satu variabelnya tidak dipengaruhi oleh kenaikan atau penurunan variabel lainnya.

Matriks korelasi *spearman* akan menentukan nilai r_s dari pasangan unsur yang ada dan disajikan dalam bentuk tabel. Rentang nilai r_s yaitu dari (-1) - 1. Nilai $-1 \leq r_s < 0$ merupakan korelasi negatif yang menunjukan hubungan monotonic negatif. Nilai $0 < r_s \leq 1$ merupakan korelasi positif yang menunjukan hubungan monotonic positif. Serta nilai $r_s=0$ menunjukan tidak ada korelasi antara kedua unsur. Menurut Myers (2003) secara matematis, nilai r_s dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\boldsymbol{rs = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2-1)}}$$

3. GEOLOGI REGIONAL PULAU HALMAHERA

Apandi & Sudana (1980) membagi fisiografi Pulau Halmahera dan sekitarrnya menjadi 3 bagian yaitu Mandala Halmahera Timur, Halmahera Barat, dan Busur Kepulauan Gunungapi Kuarter (**Gambar 2**).

Mandala Halmahera Timur meliputi lengan timur laut, lengan tenggara, dan beberapa pulau kecil di sebelah timur Pulau Halmahera. Morfologi mandala ini terdiri dari pegunungan berlereng terjal dan torehan sungai yang dalam, serta sebagian mempunyai morfologi karst. Area ini terdapat pegunungan curam dengan titik tertinggi di Bukit Saolat yang mencapai 1508 mdpl. Area dataran hanya ditemui pada muara sungai seperti muara Sungai Sangaji dan dataran di sekitar pantai. Batuan dasar area ini berupa kompleks ofiolit dan sedimen laut dalam berumur Mesozoik, terimbrikasi dengan sedimen berumur Paleogen dan di bagian atasnya diendapkan sedimen klastik marin dan karbonat berumur Neogen (Sukamto et al., 1981 dalam Darman & Sidi, 2000). Batuan dasar dari lengan timur laut terdiri dari *dismembered ultrabasic-basic rocks complex* dengan *variable low grade metamorphic overprint* dan terinterkalasi dengan sedimen Mesozoik dan Eosen.

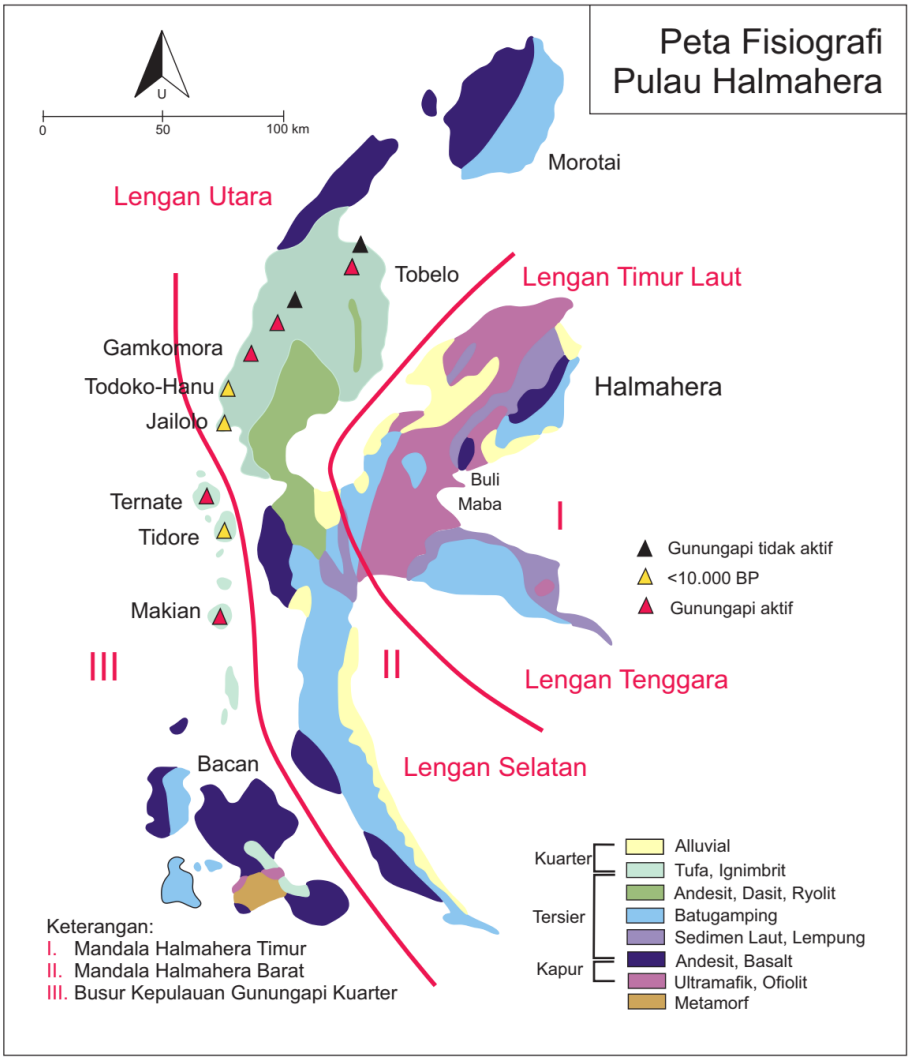
Mandala Halmahera Barat meliputi lengan utara dan lengan selatan Halmahera. Morfologi mandala berupa perbukitan agak terjal dan perbukitan karst. Terdapat endapan gunungapi yang berumur Oligosen.

Mendala Busur Kepulauan Gunungapi Kuarter meliputi pulau-pulau kecil di sebelah barat pulau Halmahera. Deretan pulau ini membentuk suatu busur kepulauan gunungapi. Sebagian pulaunya mempunyai kerucut gunung api yang masih aktif.

Menurut Hall (2012) Pulau Halmahera pada awalnya berada di sebelah utara bagian Pulau Papua (**Gambar 3**). Kemudian pada Oligosen akhir, Sesar Sorong membawa bagian timur Pulau Halmahera menuju barat yang merupakan bagian dari Lempeng *East*

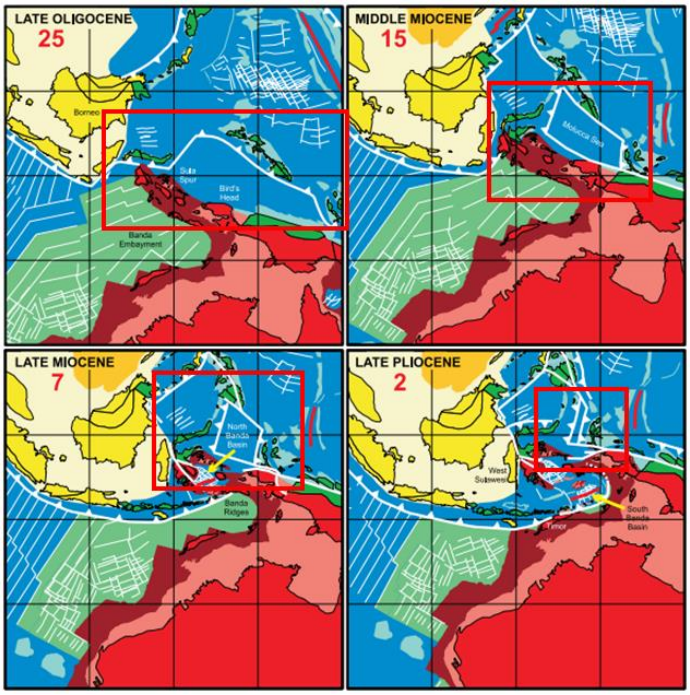
Mindanao (Hall, 2002). Lalu pada Miosen Akhir, terbentuk dua buah subduksi dibagian barat dan timur serta dibagian utara dan selatan terdapat sesar geser. Keberadaan sesar-sesar ini memisahkan Lempeng Laut Maluku. Subduksi pada bagian barat dan timur Lempeng Laut Maluku ini terus berlangsung, sehingga Lempeng Laut Maluku pada Miosen akhir berukuran lebih kecil. Proses subduksi ini pula yang membuat Lempeng *East Mindanao* patah dan terkolisikan terhadap lempeng tersebut (Hall, 2002). Pada saat ini, subduksi telah berakhir dan menyisakan sesar naik pada bagian barat Halmahara dan timur lengan utara Sulawesi.

Persebaran litologi di lengan Halmahera timurlaut, seperti pada **Gambar 4**, yang dikemukakan oleh Turdjaja dkk (2011), area penelitian berada di komplek batuan ultrabasa. Menurut Sukamto et al. (1980) dalam Darman dan Sidi, (2000), Ofioit di lengan timur tidak didominasi oleh batuan ultrabasa. Walaupun batuan terlihat berbeda antar area, kompleks batuan dasar terdiri dari 30% batuan ultrabasa. Batuan beku basa plutonik berlimpah dan berasosiasi dengan batuan beku basa vulkanik, *greenschist*, *amphibolit* dan *rare blueschist.* Sedimen laut dalam termasuk *red radiolarian chert* dan *red mudstones.* Pengangkatan ofiolit dimulai dari jurasik yang ditandai pengendapan Formasi Gau yang merupakan endapan laut dalam hingga awal Eosen yang ditandai oleh pengendapan Formasi Gledogan yang merupakan endapan laut dangkal seperti pada **Gambar 5**.

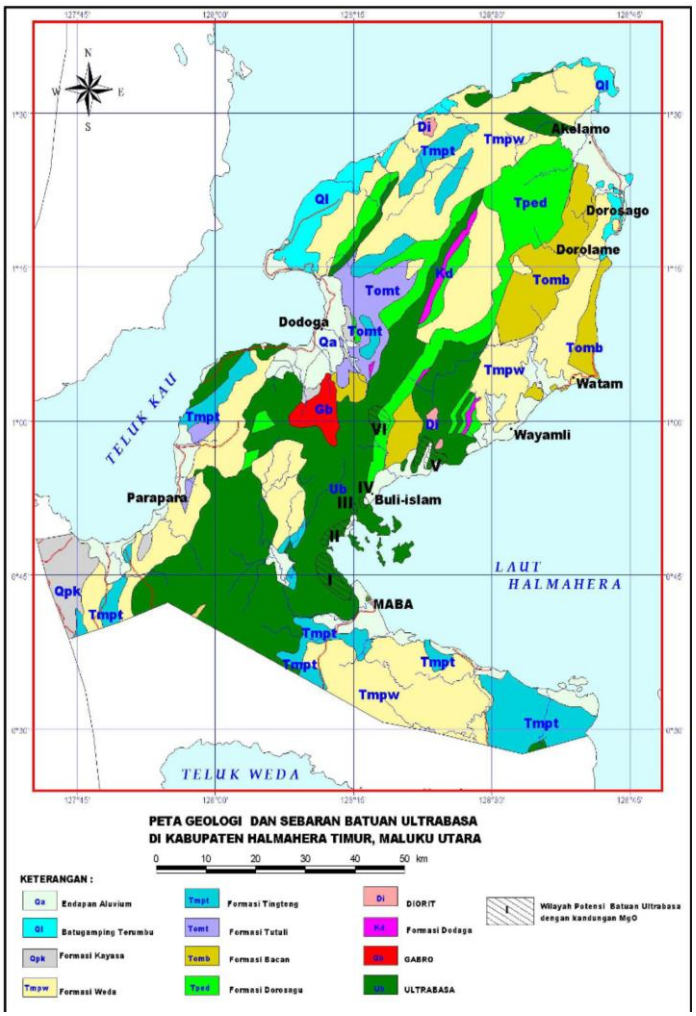


Gambar 2. Pembagian Mandala Fisiografi Halmahera (dimodifikasi dari Apandi dan Sudana, 1980).

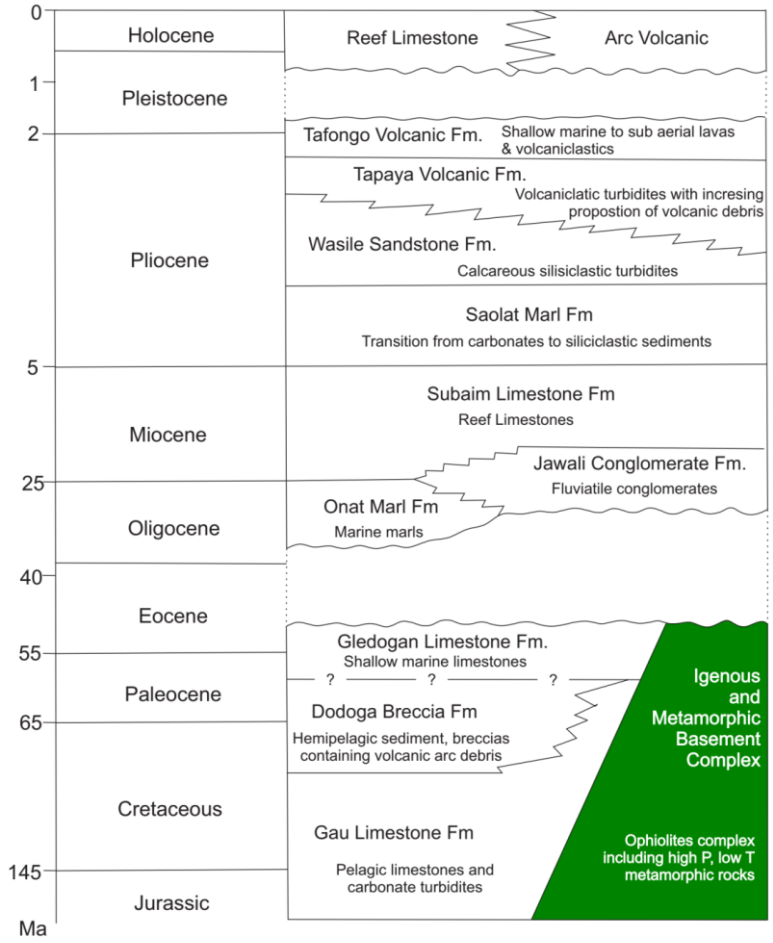
DOI: 10.5614/bull.geol.2020.4.1.3



Gambar 3. Rekonstrusi Detail Area Banda (Hall, 2012).



Gambar 4. Peta geologi dan sebaran batuan ultrabasa di Kabupaten Halmahera Timur, Maluku Utara (Turdjaja dkk, 2011).



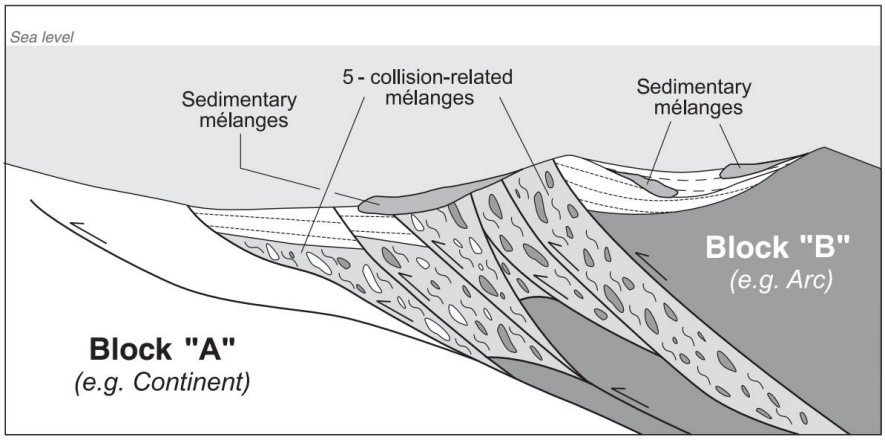
Gambar 5. Kolom Stratigrafi lengan timur laut Pulau Halmahera Timur (dimodifikasi dari Hall dkk.,1988).

4. KOMPLEKS *MELANGE* & KARAKTERISTIKNYA

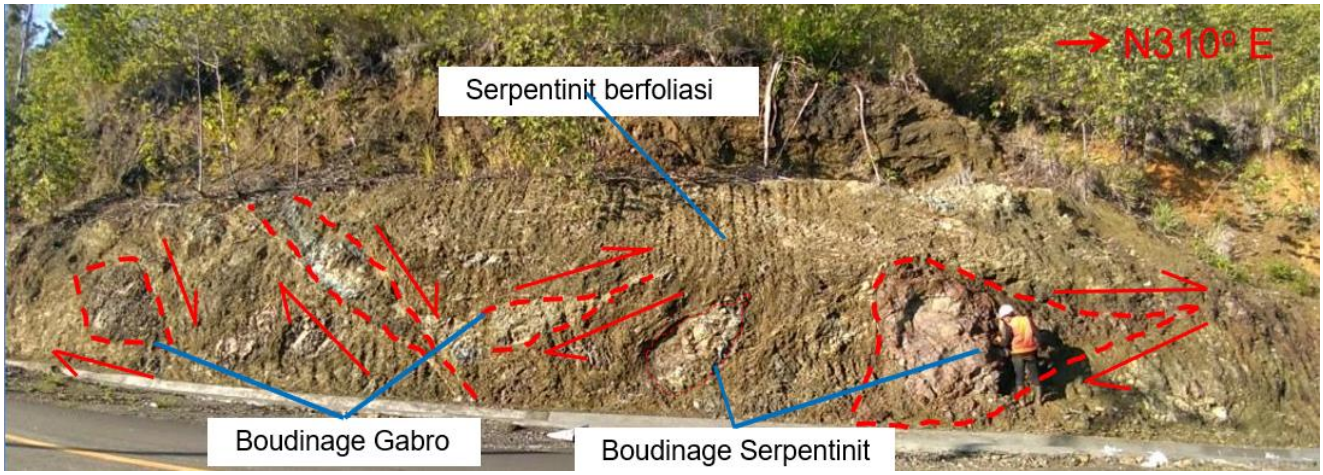
Batuan dasar pada Area Wailukum termasuk dalam satuan campuran serpentinit - olivin gabbronorit - orthopiroksenit. Serpentinit hadir sebagai serpentinit berfoliasi yang melingkupi *boudinage* olivin gabbronorit – serpentinit - ortopiroksenit. Satuan ini tercampurkan dalam zona *shear zone*. Satuan ini tersingkap di punggungan area Wailukum. Satuan ini disetarakan dengan satuan batuan ultrabasa yang berumur Kapur (Apandi, 1980).

Serpentinit berfoliasi melingkupi *boudinage* yang ada di area Wailukum seperti pada **Gambar 7**, serta **Gambar 10** merupakan kenampakan serpentinit berfoliasi jika dilihat lebih detail di lapangan. Kenampakan seperti **Gambar 7** mengindikasikan Satuan Campuran merupakan *melange* yang disebabkan oleh adanya kolisi.

Saat proses kolisi, terbentuk sesar-sesar naik yang memotong seri ofiolit, serta terbentuk batuan metamorf derajat rendah dan batuan hasil proses metasomatisme (serpentinit). Metasomatisme mengubah batuan peridotit menjadi serpentinit berfoliasi. Batuan yang lebih resisten pada seri ofiolit seperti gabbro dan piroksenit terubah menjadi *boudinage* - *boudinage*. Sehingga, *tectonic melange* dengan fragmen berupa gabbro, piroksenit dan beberapa serpentinit terlingkupi oleh matriks yang berupa serpentinit berfoliasi, seperti yang terlihat di Area Wailukum. **Gambar 6** merupakan model skematik *melange* yang disebabkan oleh proses kolisi.



Gambar 6. Model konseptual *melange* yang berasosiasi dengan proses kolisi (Fiesta dkk,2010).



Gambar 7. Kenampakan *shear zone* yang menujukan sesar turun beserta *boudinage* gabbro dan serpentinit.

Berdasarkan analisis petrografi (**Gambar 11**) struktur foliasi yang terbentuk berupa foliasi *schistose*. Mineral antigorit (I 7H) membentuk tekstur *interpenetrating*. Sementara krisotil (IV 8A) yang berbentuk serabut mengisi antar ruang yang ada. Mineral opak dan krisotil membentuk *microboudinage* (IV 10D) berukuran 0.7-2 mm. Batuan ini telah mengalami serpentinisasi total, sehingga tidak ditemukan sisa mineral maupun tekstur dari batuan asal. Serpentinit ini merupakan hasil dari metasomatisme protolit peridotit maupun orthopiroksenit. Keberadaan serpentinit yang memiliki sudut geser dalam rendah (**μ**~0.3) akan meningkatkan perpindahan sepanjang *low angle detachment fault* (Escartin et al, 1997b dalam Iyer, 2007) sehingga akan ditemukan berbagai macam boudinage disekitarnya.

Pada kondisi di lapangan (**Gambar 12**), serpentinit juga ditemukan dalam bentuk *boudinage*. *Boudinage* serpentinit berukuran 10 – 50 cm. Serpentinit telah terserpentinisasi tinggi dan masih menyisakan mineral enstantit dengan tekstur eksolusi. Hasil pengamatan tipis (**Gambar 13**) menunjukan serpentinit dalam bentuk *boudinage* terdiri dari mineral enstantit (II 5F) dan spinel (I 5A), serta enstantit terubah menjadi lizardit (II 3C) dan krisotil (II 1A). Keberadaan mineral enstantit pada sayatan tipis, membuktikan bahwa serpentinit dalam bentuk *boudinage* berasal dari batuan asal orthopiroksenit.

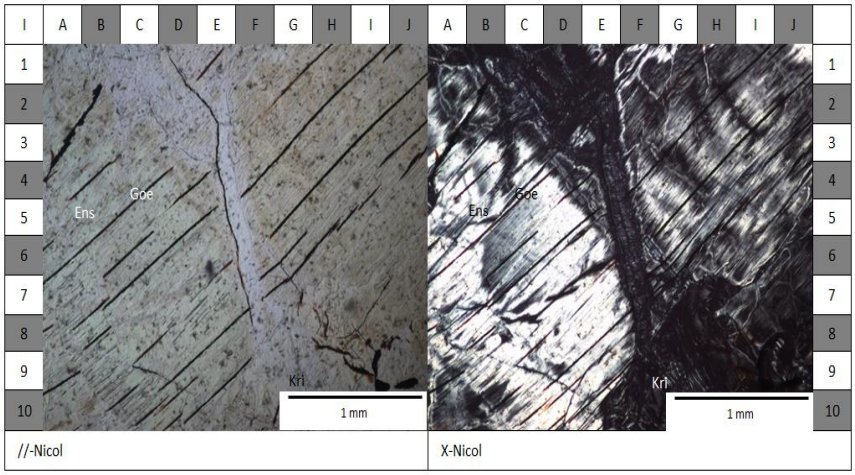
Orthopiroksenit ditemukan dalam bentuk *boudinage* berukuran 30 – 50 cm, seperti pada **Gambar 8** Pada singkapan 3J, *boudinage* orthopiroksenit ditemukan bersama *boudinage* serpentinit. Pada titik bor S1, orthopiroksenit hanya ditemukan sebagai fragmen pada

saprolit. Berdasarkan pengamatan petrografi sayatan tipis (**Gambar 9**), batuan terdiri dari mineral enstantit (I 16). Orthopiroksenit bertekstur fanerik dengan komposisi mineral berupa enstantit. Tekstur eksolusi ditemukan pada belahan enstantit. Pada beberapa bagian, enstantit tepotong dan terubah menjadi krisotil (I 1C) serta antigorit (I 2D). Orthopiroksenit terserpentinisasi sedang.

Olivin gabbronorit ditemukan dalam *boudinage* berukuran 1–5 m (**Gambar 14**). Berdasarkan analisis petrografi (**Gambar 15**), batuan ini terdiri dari mineral plagioklas (II 1C), enstantit (I 2H), olivin (II 3F) dan hornblend (II 6B). Batuan ini terserpentinisasi rendah yang disebabkan oleh keberadaan olivin yang sedikit pada batuan ini. Kloritisasi sedang berkembang pada batuan ini. Klorit (I 8D) merupakan hasil ubahan dari mineral plagioklas. Sedikitnya olivin dan piroksen pada batuan ini menyebabkan kadar Ni pada batuan ini sangat sedikit. Sehingga keberadaan batuan ini akan menyebabkan perbedaan pola lateritisasi yang berbeda dengan batuan kaya olivin, piroksen maupun serpentin.

Menurut Ahmad (2006), Ni dapat terbawa oleh orthopiroksen, namun kadarnya lebih rendah dari Ni yang terbawa oleh olivin. Pada Area Penelitian, tubuh batuan orthopiroksenit terdeformasi, dan menghasilkan serpentinit serta sisa - sisa *boudinage* orthopiroksenit. Serpentinit terbentuk melalui proses metasomatisme. Pembentukan mineral serpentin memperkaya keberadaan Ni pada batuan dasar.

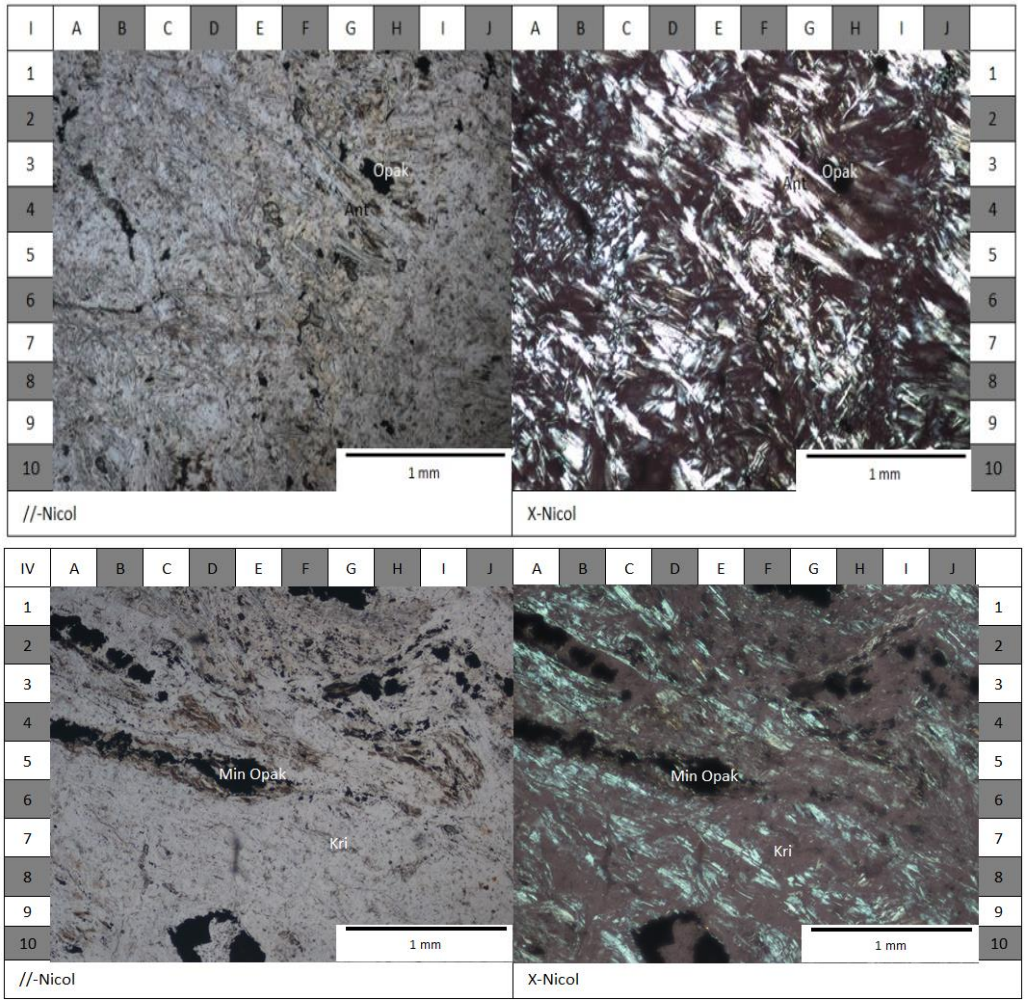
Gambar 8. Kenampakan *boudinage* orthopiroksenit berfoliasi pada titik 1E.



Gambar 9. Foto sayatan tipis pada sampel S11 menunjukan orthopiroksenit; Enstantit (I 1A), Krisotil (I 10F), Lizardit (I 3E), Oksida Besi (I 6A), Kalsit (II 7D).

DOI: 10.5614/bull.geol.2020.4.1.3

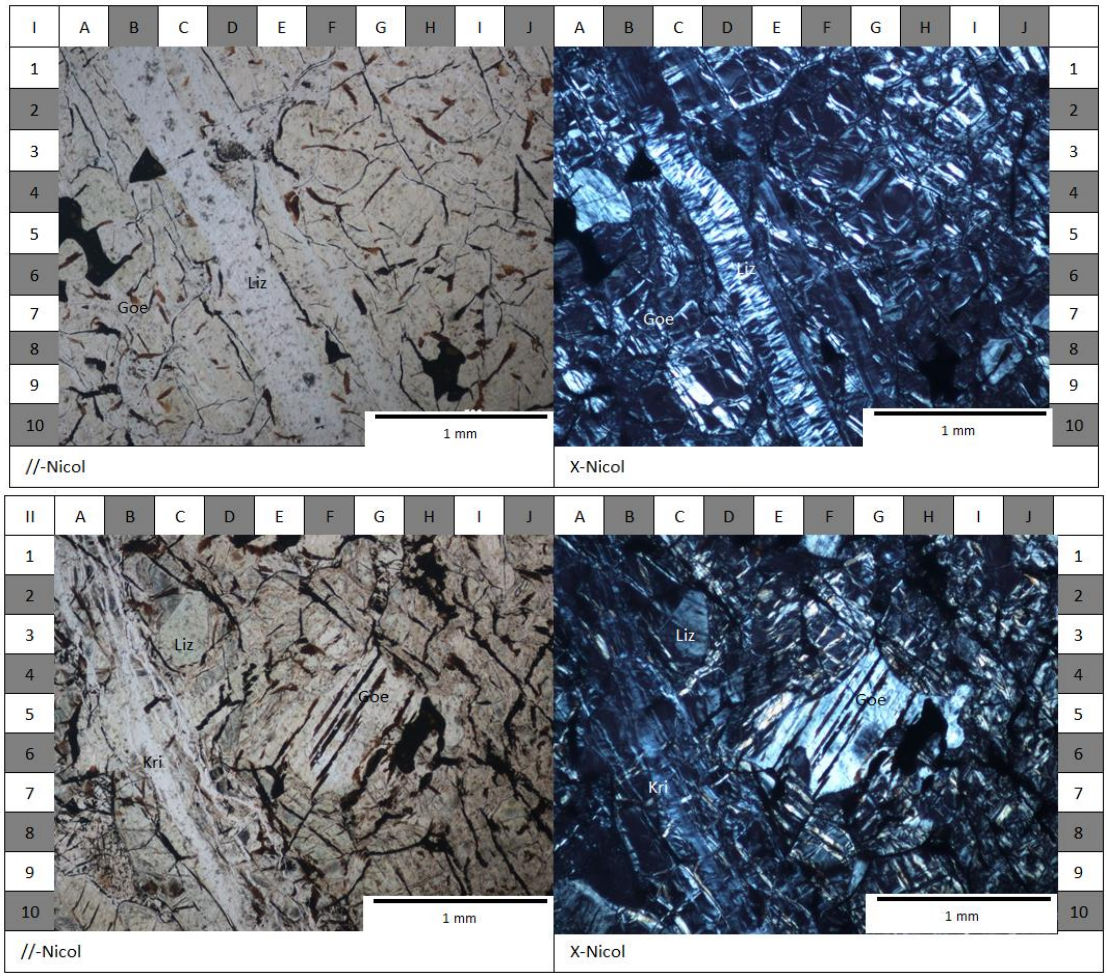
Gambar 10. Kenampakan serpentinit berfoliasi pada titik 1 C.



Gambar 11. Foto sayatan tipis pada sampel S5 yang menunjukan serpentinit berfoliasi; Krisotil (IV 8C), Antigorit (I 3F), Min Opak (IV 5D).

DOI: 10.5614/bull.geol.2020.4.1.3

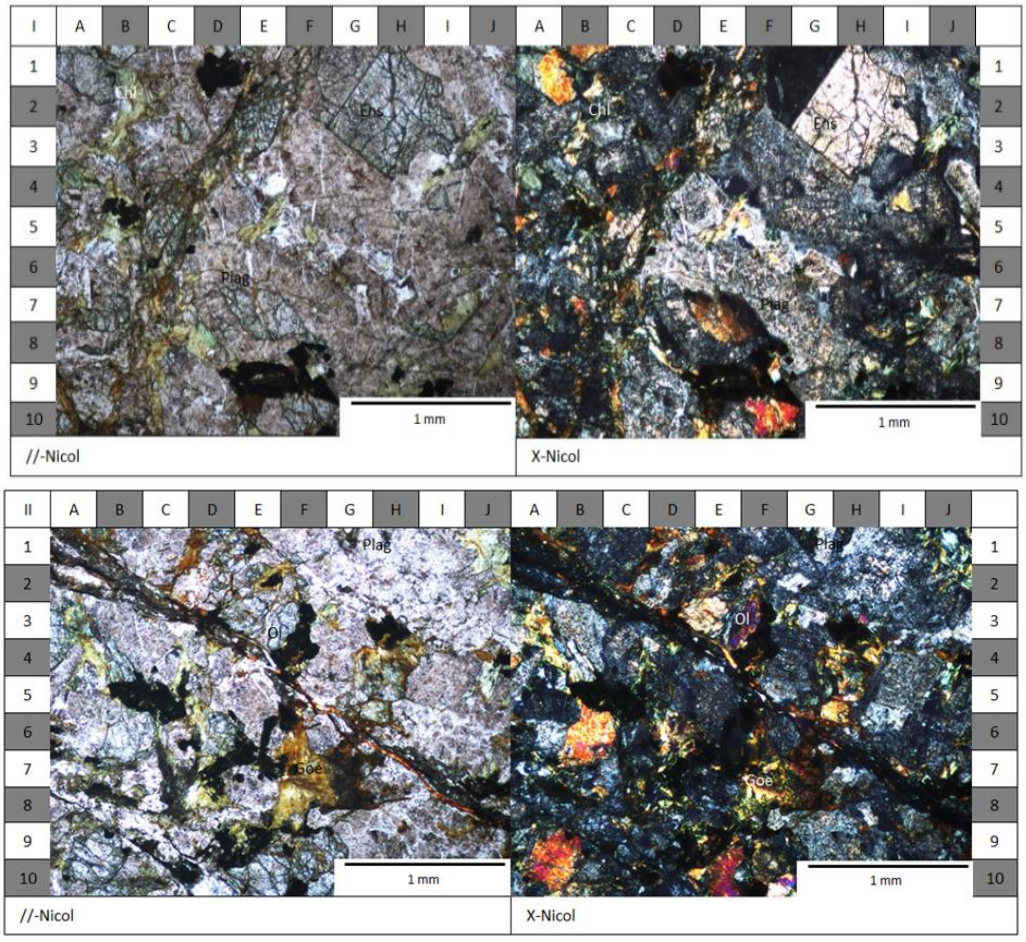
Gambar 12. Kenampakan *boudinage* serpentinit berfoliasi pada titik 1E.



Gambar 13. Foto sayatan tipis pada sampel S3 menunjukan serpentinit; Lizardit (I 5D), Krisotil (II 7B), Enstantit (II 6F), Goetit (II 5G), Spinel (I 5A).

DOI: 10.5614/bull.geol.2020.4.1.3

Gambar 14. Kenampakan *boudinage* Gabbro pada titik 1E.



Gambar 15. Foto sayatan tipis pada sampel S2 menunjukan olivin gabbronorit; Plagioklas(I 2F), Klorit (I 2B), Enstantit (I 1H), Olivin (I 4D), Hornblend (I 1A), Krisotil (I 5C), Min Lempung (I 5G), Kalsit (II 7G).

5. KARAKTERISTIK ENDAPAN LATERIT

5.1. Profil Endapan Laterit

Pada **Gambar 16**, limonit berupa tanah dengan warna merah, ukuran butir lempung-lanau, tingkat pelapukan tinggi, ditemukan bongkah batuan dasar dan *silica boxwork* dibeberapa tempat. Lapisan ini mengandung unsur mayor (SiO_2 4-53,3%, Fe 15-60%, MgO 1,23-22,3%, Al_2O_3 1,8-16,8%, dan unsur minor Ni

0,11-2,1%, Co 0,027-0,305%, MnO 0,17-1,6%, dan Cr_2O_3 1,56-2,8%.

Pada **Gambar 16**, saprolit secara deskriptif berwarna kuning kehijauan - coklat kehijauan - abu gelap, butir - butir lepas dengan ukuran lempung-pasir sedang, tingkat pelapukan cukup tinggi serta terdapat fragmen batuan dasar berukuran kerikil-bongkah. Lapisan ini mengandung unsur mayor SiO_2 35,6-50,8%, Fe 4,5-18,3%, MgO 21-38%, Al_2O_3 0,2-1,8%, dan unsur minor Ni 0,1-3,1%, Co 0,035-0,048%, MnO 0,14-0,39%, dan Cr_2O_3 0,03-1.31%.

Gambar 16. Kenampakan limonit (S_1 0-2m) (a), saprolit (S_1 13-15m) (b) dan batuan dasar (S_2 9-10m) (c) pada sampel bor Area Wailukum.

Pada Area Wailukum, saprolit dan limonit tidak dapat berkembang dengan baik. Saprolit dijumpai dalam bentuk tanah dengan fragmen batuan dasar. Limonit dijumpai dalam bentuk tanah berwarna merah. Hal ini disebabkan oleh lateritisasi yang tidak berjalan dengan baik di Area Wailukum.

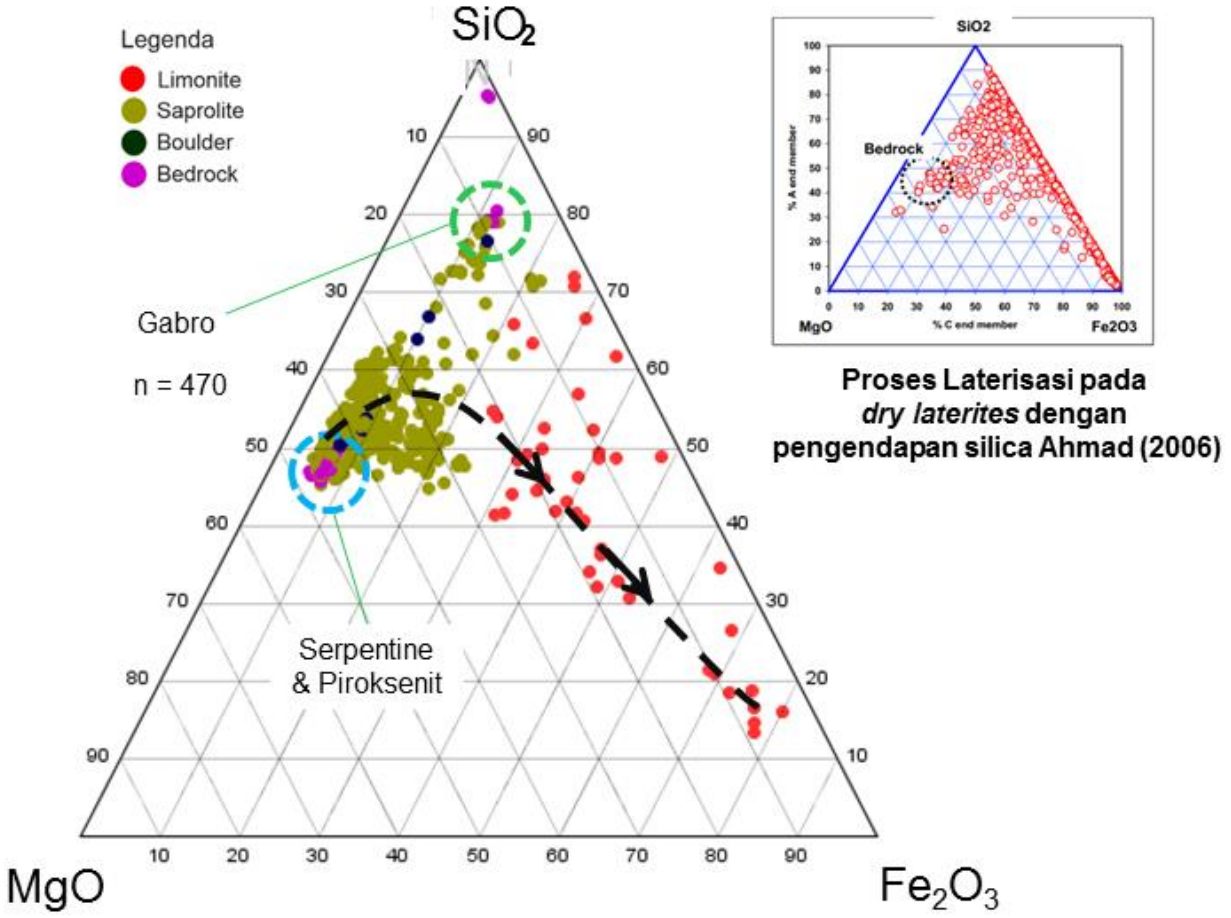
5.2. Lateritisasi

Serpentinisasi pada Area Wailukum hanya terjadi pada serpentinit berfoliasi, serpentinit dan orthopiroksenit. Proses ini berupa pelepasan unsur Mg dan ditunjukan oleh panah warna hitam pada **Gambar 17**.

Batuan dasar yang berupa serpentinit berfoliasi dengan boudinage peridotit dan piroksenit yang ditunjukan oleh lingkaran warna biru, akan mengalami lateritisasi menjadi saprolit. Pada proses tersebut akan terjadi pelapukan kimiawi berupa pelepasan unsur Mg ketika mineral olivin dan piroksen terlapukkan. Unsur Mg akan larut dalam fluida meteorik yang masuk. Saprolit akan lapuk menjadi limonit ketika semua fragmen batuan dasar sudah terlapukkan. Limonit terbentuk ketika semua unsur dengan mobilitas tinggi-sedang, serpeti Mg dan Si terbawa oleh air meteorik ke bawah meninggalkan residu unsur Fe.

Lateritisasi di Area Wailukum memiliki kesamaan tipe dengan endapan laterit di Vermelho, Brazil yaitu *dry laterites* dengan pengendapan silika. Kesamaan tipe ditunjukan oleh kesamaan pola diagram terner Area Wailukum dengan diagram terner yang dikemukakan oleh Ahmad,2006 (**Gambar 7**). Berdasarkan pengamatan lapangan dan data bor, unsur silika mengisi rekahan batuan dasar maupun saprolit. Pada lapisan limonit, Si ditemukan sebagai *silica boxwork*. Proses pembentukan *silica boxwork* terjadi saat batuan dasar dengan rekahan terisi silika, kemudian batuan tersebut terlapukkan, silika akan tertinggal karena lebih resisten dibandingkan batuan asalnya, sehingga terbentuk bongkah-bongkah *silica boxwork*.

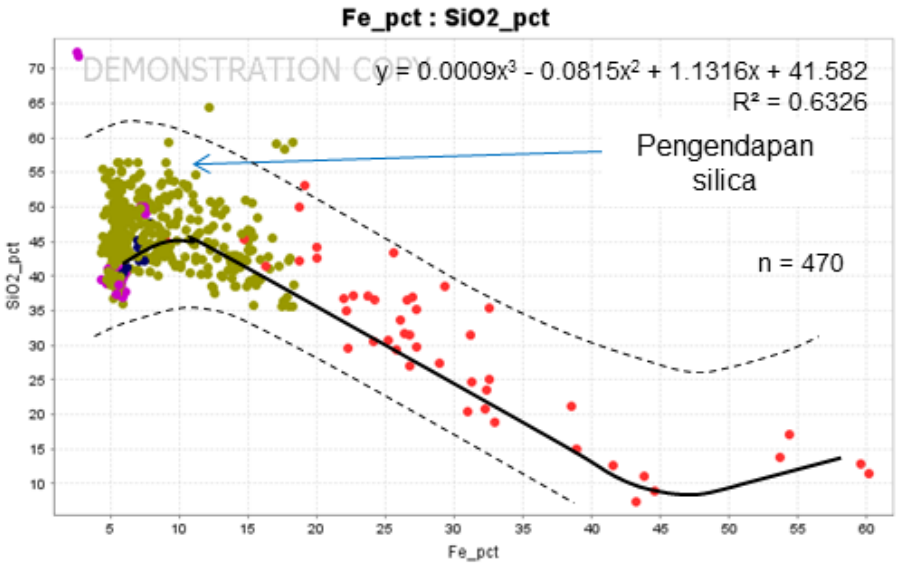
DOI: 10.5614/bull.geol.2020.4.1.3



Gambar 17. Diagram terner SiO_2-MgO-Fe_2O_3 Area Wailukum.

Proses lateritisasi seperti yang dijelaskan sebelumnya menyebabkan antar unsur memiliki kemiripan pola. Pola tersebut dapat dilihat jika dua unsur di plot dalam diagram kartesius. **Gambar 18** menunjukan perbandingan kadar Si dan Fe pada profil laterit di Area Wailukum. Terlihat batuan dasar dengan kadar Mg tinggi mengalami lateritisasi yang mengeluarkan unsur Mg, sehingga unsur Mg menjadi lebih sedikit Unsur Si yang larut, akan terendapkan pada kedalaman tertentu, sehingga pada grafik 5.17, unsur Si mengalami penurunan kadar pada profil laterit yang mengalami pencucian Si dan kenaikan kadar pada profil laterit yang mengalami pengendapan Si. Terjadinya proses pengeluaran Mg dan Si menunjukan endapan laterit di Area Wailukum telah melewati tahap awal & lanjut lateritisasi.

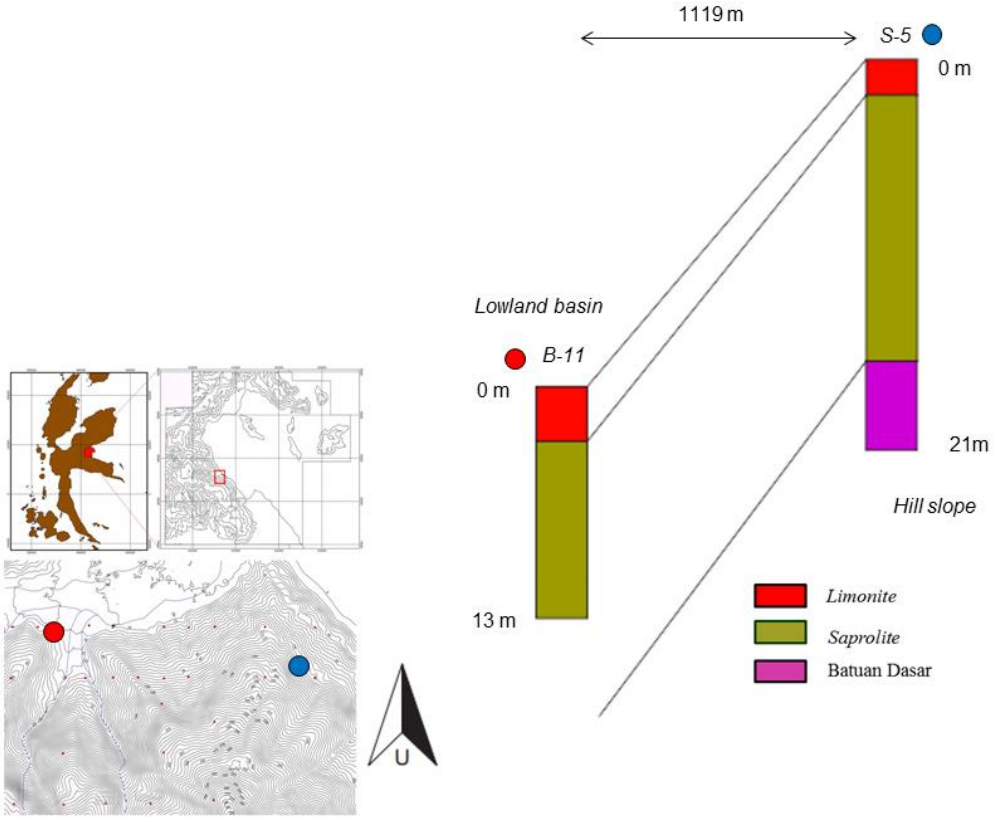
Persamaan polinomial orde 3 yang memenuhi hubungan unsur SiO_2-Fe. Kedua persamaan antara kedua unsur tersebut termasuk dalam fungsi monotonik, sehingga hubungan antar unsur dalam endapan laterit juga memenuhi fungsi monotonik. Maka metode korelasi *spearman* akan digunakan untuk mengetahui korelasi antara unsur-unsur dalam endapan laterit.



Gambar 18. Grafik Fe-SiO_2 Area Wailukum menunjukan fungsi monotonik.

5.3. Faktor Topografi

Faktor topografi mempengaruhi proses pembentukan laterit. Menurut klasifikasi topografi laterit menurut Ahmad (2006), Area Wailukum dapat dibagi menjadi 2, *lowland basin* dan *hill slope*. **Gambar 19** menunjukan korelasi titik bor pada masing-masing topografi. Pada area *hill slope*, setelah limonit yang berupa residu Fe terbentuk pada lereng curam. Proses longsor akan bekerja pada endapan laterit tersebut. Limonit dan bagian atas saprolit akan longsor, sehingga menghasilkan lapisan limonit yang lebih tipis. Hasil longsor akan terendapkan pada pada *lowland basin*, sehingga lapisan limonit akan lebih tebal pada *lowland basin.*

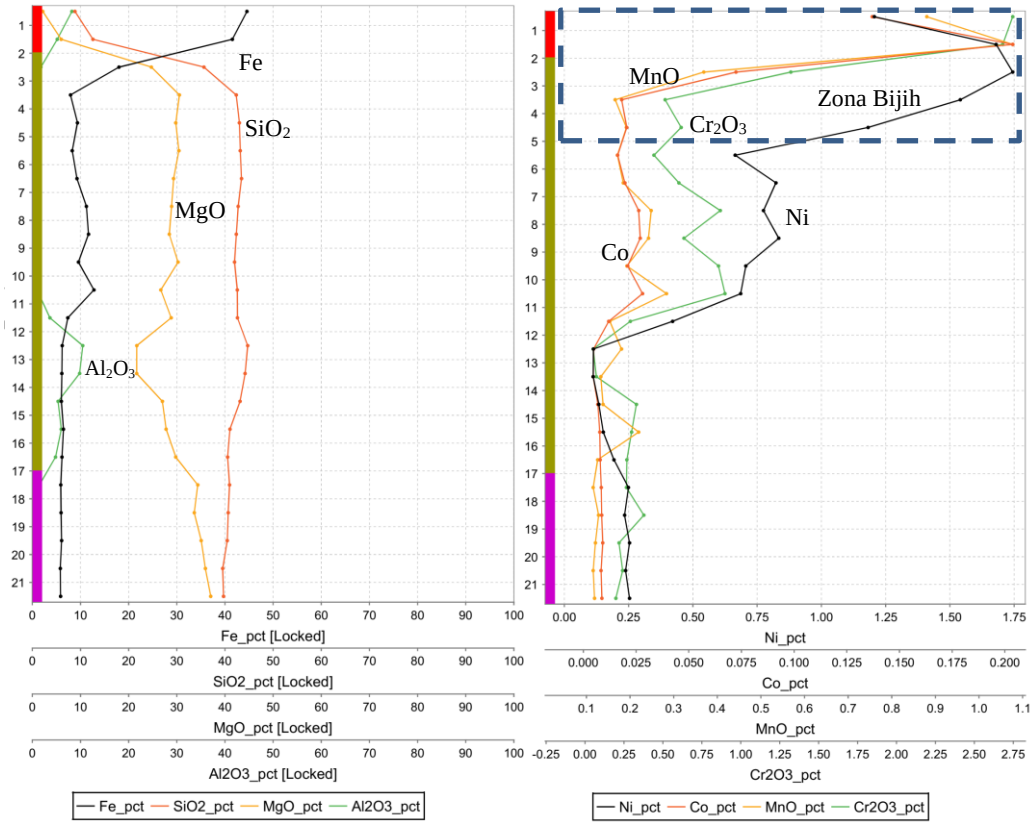


Gambar 19. Korelasi endapan laterit pada satuan topografi Area Wailukum.

DOI: 10.5614/bull.geol.2020.4.1.3

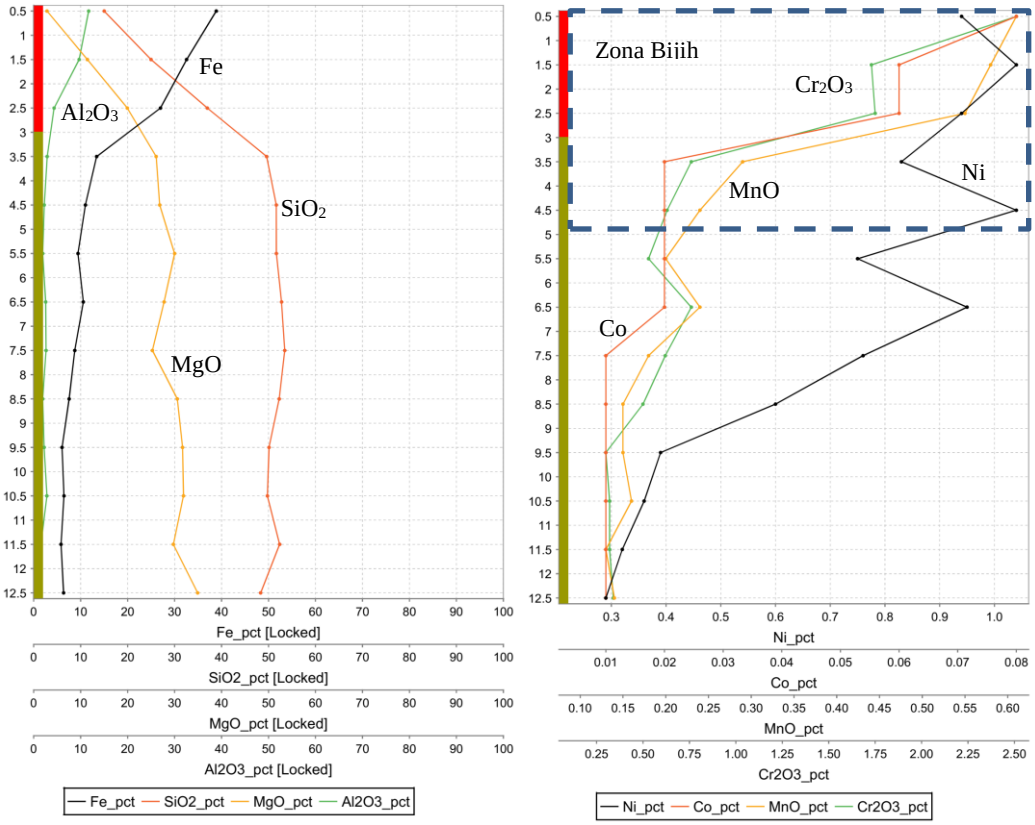
Keberadaan zona bijih pada area *hill slope* berada di limonit - saprolit. Proses pembentukan zona bijih ini berkaitan dengan adanya longsor yang mneyingkap zona bijih yang ada di saprolit terdahulu. Lateritisasi terus berlangsung sehingga saprolit akan berubah menjadi limonit karena unsur dengan mobilitas tinggi seperti Mg dan Si keluar dari lapisan tersebut sehingga unsur Fe akan terkayakan secara relatif di limonit yang baru. Namun unsur Ni belum sempat terlarutkan dalam fluida meteorik yang masuk, sehingga unsur Ni masih tertinggal di lapisan limonit tersebut. Maka akan didapatkan pola lateritisasi seperti pada **Gambar 20**.

Pada area *lowland basin*, zona bijih berada di limonit dan bagian atas saprolit. Limonit maupun saprolit yang berada pada area ini merupakan hasil longsor dari area *hill slope*. Hasil longsoran sudah kaya akan Ni. Keberadaan *lowland basin* yang berada pada ketinggian yang dekat dengan permukaan laut, menjadikan lateritisasi tidak berjalan dengan baik. Hal ini dikarenakan tidak cukupnya ketebalan tanah untuk lateritisasi akibat muka air tanah yang dangkal. **Gambar 21** menunjukan pola lateritisasi vertikal pada area *lowland basin.*



Gambar 20. Grafik *downhole* pada titik bor S-5 area *hill slope* di Area Wailukum.

DOI: 10.5614/bull.geol.2020.4.1.3



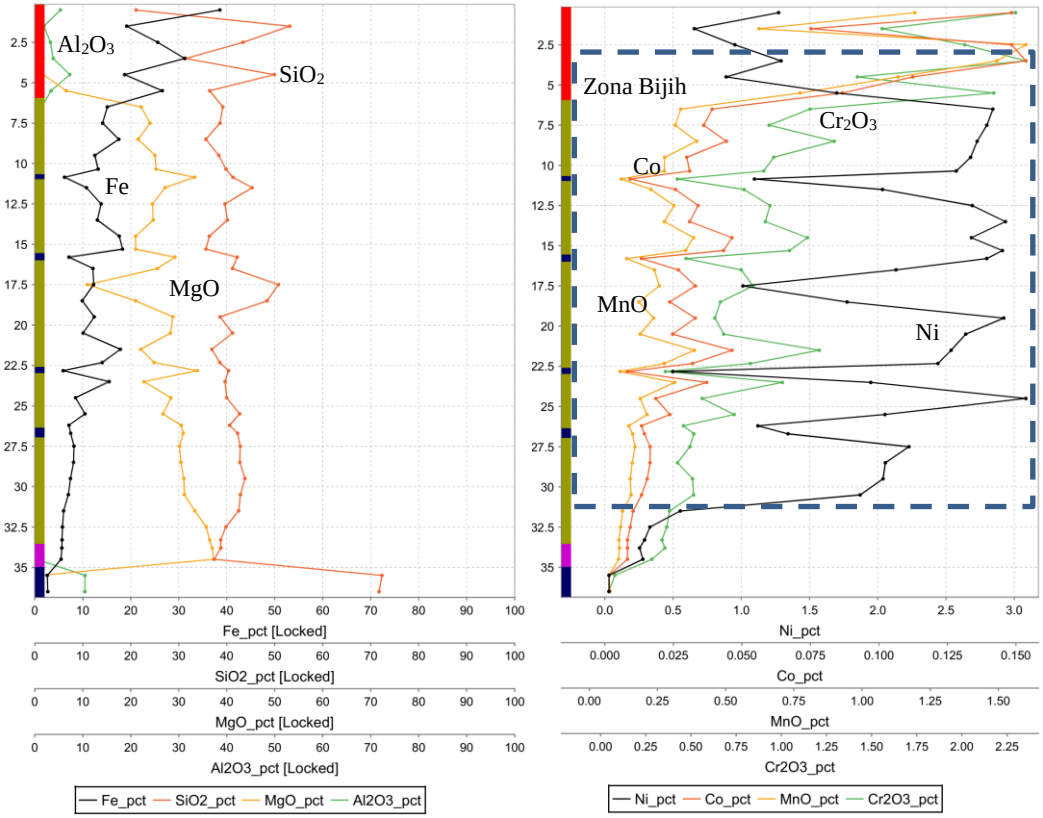
Gambar 21. Grafik *lowland basin* pada B-11 area *hill slope* di Area Wailukum.

5.4. Faktor Litologi

Faktor litologi menjadi faktor utama yang mempengaruhi lateritisasi di Area Wailukum. Terdapat 2 jenis litologi yang ada di Area Wailukum, Litologi dominasi serpentinit dan dominasi gabbro. Pengertian litologi disini ada seluruh batuan dasar sebelum lateritisasi terjadi dari suatu titik bor.

Titik S-6 memiliki litologi asal yang didominasi oleh serpentinit, sehingga lateritisasi di titik ini mewakili proses lateritisasi di Area Wailukum dengan batuan dasar serupa. Saat proses pelapukan terjadi, mineral ferromagnesia seperti olivin, piroksen dan serpentin akan lapuk terlebih dahulu. Unsur Mg merupakan unsur dengan mobilitas tinggi akan terbawa terlebih dahulu ke bawah sebagai larutan. Tahap selanjutnya adalah tercucinya unsur Si pada profil. Sebagian besar unsur Si akan terendapkan pada rekahan batuan dasar atau saprolit. Saprolit dengan urat silika yang terlimonitiasi akan meninggalkan bongkah *silica boxwork.* Setelah unsur Si dan Mg terlarutkan, maka unsur Fe dan Al akan terkayakan di lapisan limonit. Pada singkapan dilapangan, keberadaan unsur Fe mengikat oksigen menjadi hematit (Fe_2O_3), yang berukuran mikron berbentuk tanah berwarna merah dan berukuran pasir-kasar-kerikil atau melapisi *silica boxwork*.

DOI: 10.5614/bull.geol.2020.4.1.3



Gambar 22. Grafik *downhole* titik S-6 yang memiliki litologi dominasi serpentinit.

Menurut Ahmad (2006), karakter unsur Co dan Mn memiliki kesamaan. Namun, pada **Tabel 1** nilai r_s kedua unsur memiliki nilai 0,77. Unsur Mn dan Co akan terlarutkan oleh air meteorik yang masuk kedalam profil laterit dan akan terendapkan di batas limonit-saprolit, *lower limonite* dan *upper saprolite* (Ahmad, 2006). Unsur Cr pada batuan dasar terdapat dalam spinel, namun dalam endapan laterit unsur Cr teradsorbsi oleh mineral goetit (Ahmad, 2006). Pada titik bor S-6, unsur Cr melimpah pada saprolit.

Keberadaan unsur Mg yang memiliki kelarutan lebih besar dari unsur Ni diperlukan untuk mengendapkan unsur Ni. Unsur Mg akan menggantikan unsur Ni dalam larutan sehingga unsur Ni akan terendapkan. Menurut Ahmad (2006), Ni akan terendapkan dibatas limonit-saprolit, namun pada titik S-6 Ni terkayakan pada seluruh saprolit dan bagian bawah limonit. Pada titik S-6, seluruh saprolit dan bagian bawah limonit merupakan zona bijih, kecuali pada kedalaman yang terdapat *boulder*. **Gambar 22** menunjukan pola lateritisasi secara vertikal dari litologi dominasi serpentinit. Seperti pada **Tabel 2** , zona bijih pada Area Wailukum dicirikan oleh tingginya kadar Ni, Co, Fe, MnO, dan Cr_2O_3. Kelima unsur tersebut memiliki korelasi positif kuat-sangat kuat. Pada zona bijih, Ni berada dalam mineral serpentin dan terkayakan pada saprolit sehingga merupakan endapan laterit tipe silika.

Tabel 1. Matriks korelasi *spearman* unsur-unsur dalam endapan laterit Area Wailukum dengan litologi dominasi serpentinit.

	Ni	Co	Fe	SiO2	MgO	MnO	Cr2O3	Al2O3
Ni	1							
Co	0.72	1						
Fe	0.64	0.9	1					
SiO2	-0.58	-0.58	-0.55	1				
MgO	-0.29	-0.66	-0.72	0.21	1			
MnO	0.6	0.84	0.9	-0.48	-0.75	1		
Cr2O3	0.65	0.91	0.91	-0.59	-0.63	0.85	1	
Al2O3	-0.15	0.28	0.36	-0.026	-0.7	0.41	0.29	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

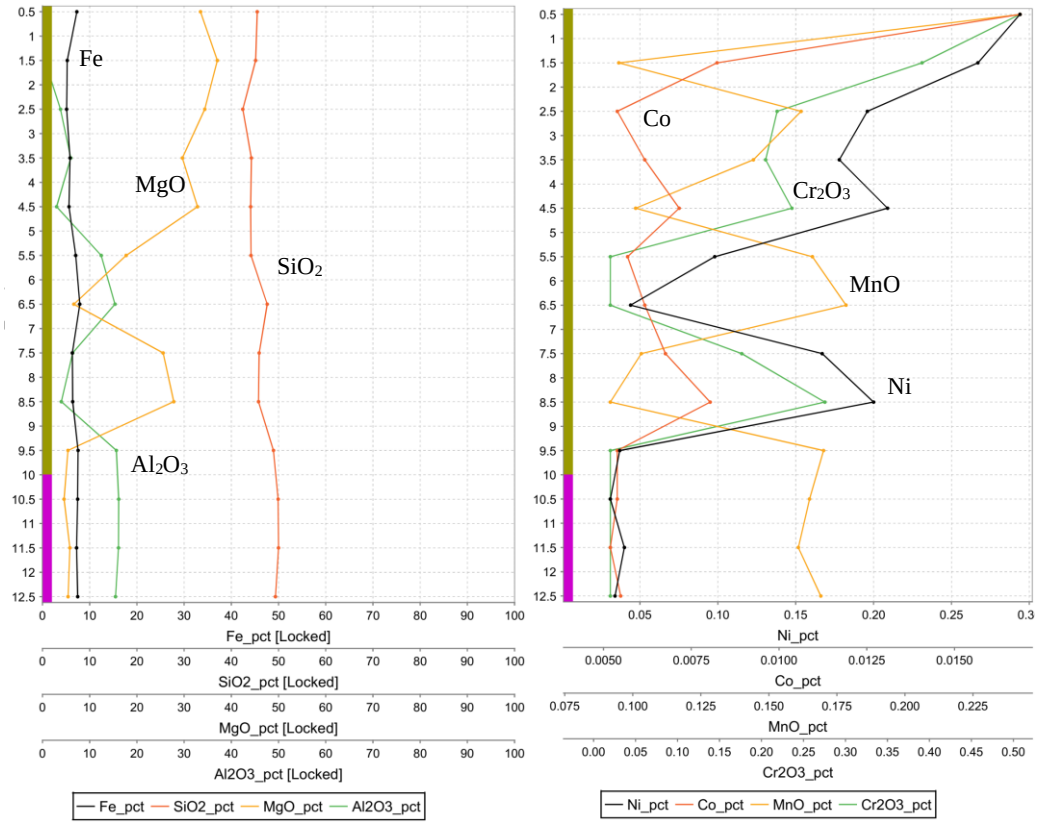
Titik S-2 memiliki batuan dasar yang didominasi gabbro, sehingga lateritisasi dititik ini mewakili lateritisasi di Area Wailukum dengan litologi dominasi gabbro. Pada titik ini lateritisasi tidak berjalan dengan baik, serta secara kenampakan akan ditemukan saprolit berwarna keabuan.

Pada **Gambar 23** terlihat unsur-unsur tidak memiliki perubahan dari kedalaman awal sampai akhir titik bor. Fe yang merupakan unsur yang memiliki kelarutan rendah seharusnya memiliki kadar tertinggi pada bagian atas profil laterit, namun pada Gambar 8.2 kadar Fe tidak berubah secara signifikan. Unsur Mg yang merupakan unsur dengan kelarutan tinggi seharusnya memiliki kadar rendah pada bagian atas profil laterit, namun pada **Gambar 23**, Mg memiliki kadar yang lebih besar pada bagian atas dari pada bagian bawah profil laterit. Tingginya unsur Mg pada bagian atas profil laterit menunjukan endapan laterit pada litologi dominasi gabbro belum mengalami proses lateritisasi awal. Sedikitnya proses pencucian unsur-unsur sehingga tidak ditemukannya zona bijih pada litologi ini.

Litologi dominasi gabbro didominasi oleh mineral plagioklas pada olivin gabbronorit dan serpentin pada matriks yang melingkupi boudinage olivin gabbronorit. Belum terjadinya proses lateritisasi tahap awal pada litologi dominasi gabbro menyebabkan unsur – unsur yang terdapat dalam **Gambar 23** masih terdapat pada mineral pembawanya.

Nilai r_s yang terdapat pada **Tabel 2** menunjukan hubungan antar unsur. Al_2O_3, SiO_2 memiliki korelasi positif sedang karena unsur-unsur ini terdapat dalam mineral plagioklas. Ni, Co, MnO, Fe dan SiO_2 memiliki korelasi positif karena unsur-unsur tersebut terdapat mineral serpentinit.

DOI: 10.5614/bull.geol.2020.4.1.3



Gambar 23. Grafik *downhole* titik S-2 dengan litologi dominan gabbro.

Tabel 2. Matriks korelasi *spearman* unsur-unsur dalam endapan laterit Area Wailukum dengan litologi dominasi gabbro.

	Ni	Co	Fe	SiO2	MgO	MnO	Cr2O3	Al2O3
Ni	1							
Co	0.82	1						
Fe	0.3	0.27	1					
SiO2	0.4	0.51	0.067	1				
MgO	-0.25	-0.28	-0.68	-0.45	1			
MnO	0.29	0.45	0.56	0.39	-0.56	1		
Cr2O3	0.45	0.46	0.22	-0.11	-0.098	0.19	1	
Al2O3	0.13	0.27	0.53	0.48	-0.71	0.61	-0.17	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

DOI: 10.5614/bull.geol.2020.4.1.3

6. PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis pada setiap faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan laterit dan penampang *overlay* endapan laterit-batuan dasar Area Wailukum, didapatkan model endapan laterit pada Area Wailukum seperti pada **Gambar 24**.

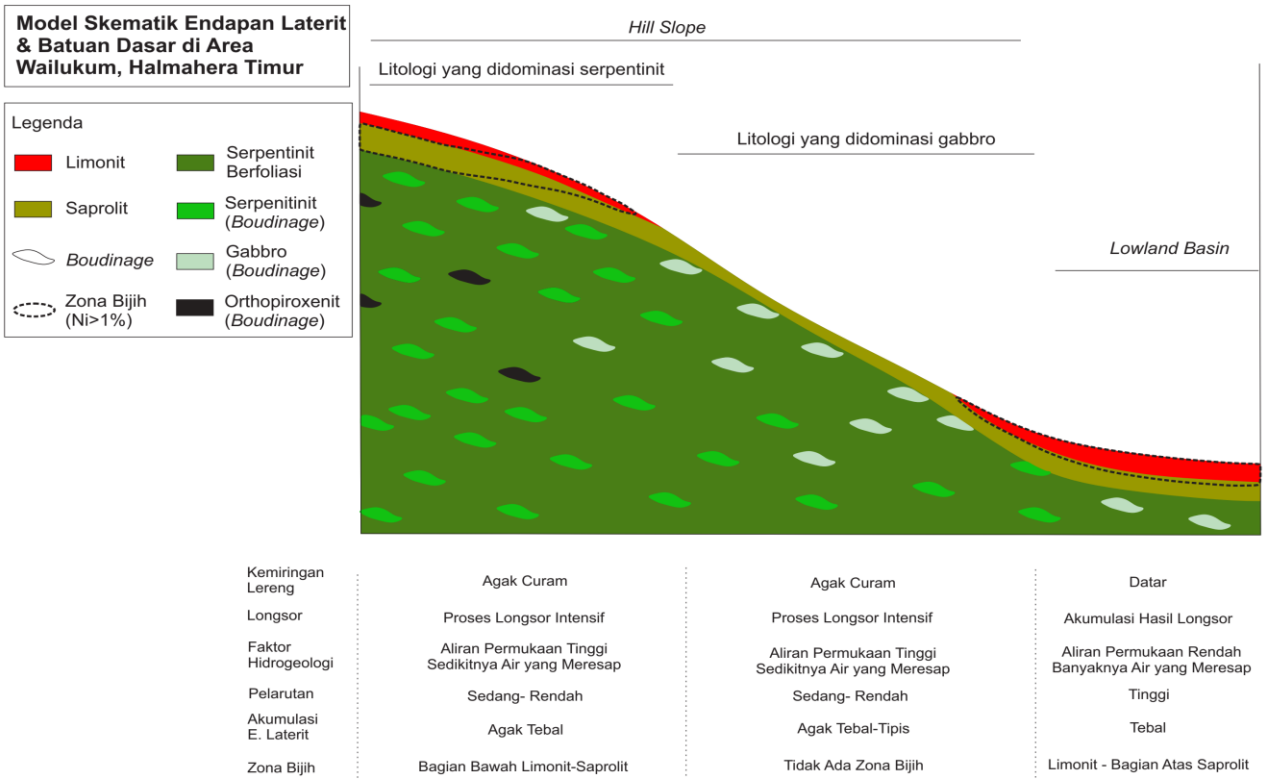
Area *hill slope* merupakan area dengan kemiringan tinggi, sehingga terjadi proses longsor yang membawa endapan laterit yang telah terbentuk menuju ke *lowland basin.* Endapan laterit yang terbentuk di area *hill slope* dapat dibagi berdasarkan jenis litologinya, yaitu dominasi serpentinit dan dominasi gabbro. Variasi litologi ini disebabkan oleh keberadaan kompleks *melange*.

Pada area dengan litologi dominasi serpentinit, serpentin adalah mineral pembawa unsur Ni karena mineral serpentin merupakan mineral ubahan dari mineral olivin dan piroksen. Unsur Mg akan larut terlebih dahulu kemudian diikuti oleh unsur Si dan Ni. Pelarutan unsur-unsur ini akan memperkaya unsur Fe pada bagian atas profil laterit sehingga terbentuk limonit. Saat air meteorik yang membawa unsur Ni mencapai batuan segar yang lebih kaya akan unsur Mg, akan terjadi pertukaran unsur. Unsur Mg yang merupakan unsur dengan kelarutan tinggi akan masuk kedalam air meteorik menggantikan unsur Ni yang merupakan unsur dengan kelarutan lebih rendah dari Mg, sehingga Ni akan terendapkan. Jika proses tersebut berlangsung berulang-ulang, maka akan terbentuk zona bijih pada batas limonit-saprolit.

Proses longor setempat akan membawa lapisan limonit dan menyingkapkan saprolit. Lateritisasi selanjutnya akan membawa unsur-unsur Mg dan Si, sehingga unsur Ni, Fe dan unsur dengan kelarutan rendah lainnya akan terkayakan secara relatif pada bagian limonit. Proses ini menyebabkan zona bijih berada pada bagian limonit dan Ni akan berkorelasi positif kuat dengan Fe-Co-MnO.

Pada area dengan dominasi gabbro, lateritisasi tidak berjalan dengan baik. Hal ini disebabkan batuan gabro yang kaya mineral plagioklas dan sedikit mineral piroksen dan olivin. Mineral plagioklas membawa unsur Al yang merupakan unsur dengan kelarutan rendah. Sehingga jika terdapat air meteorik yang melalui batuan gabro, unsur Al akan tertinggal dibagian atas dari profil laterit. Tingginya unsur Mg pada bagian atas profil laterit menunjukan endapan laterit pada litologi dominasi gabbro belum mengalami proses lateritisasi awal. Rendahnya mineral piroksen dan olivin yang merupakan mineral pembawa unsur Ni serta Sedikitnya proses pencucian menyebabkan tidak terbentuknya zona bijih.

Area *lowland basin* merupakan area tempat pengendapan dari endapan laterit hasil longsor. Material longsor berupa saprolit, limonit dan fragmen batuan dasar. Lateritisasi selanjutnya akan mengubah saprolit dan fragmen batuan dasar menjadi limonit berfragmen batuan dasar. Sehingga pada area ini zona bijih akan berada di limonit.



Gambar 24. Model skematik dari endapan laterit-batuan dasar di Area Wailukum.

7. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Batuan dasar berupa serpentinit, orthopiroksenit terserpentinisasi sedang dan olivin gabbronorit terserpentinisasi rendah.
2. Variasi litologi disebabkan oleh keberadaan zona *melange.*
3. Proses longsor mempengaruhi pembentukan endapan laterit. Area *Hillslope* memiliki ketebalan endapan laterit lebih tipis dari pada Area *Lowland basin.*
4. Lateritisasi tidak berjalan dengan baik pada litologi dominasi gabbro sehingga tidak ditemukan zona bijih.
5. Lateritisasi berjalan dengan baik pada litologi dominasi serpentinit sehingga akan terbentuk zona bijih pada saprolit dan bagian bawah limonit, serta Ni akan berkorelasi positif kuat dengan Fe-Co-MnO.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada PT. Antam Unit Geomin, khususnya Tim Eksplorasi Nikel Buli Halmahera yang telah memberikan kesempatan untuk belajar lebih, serta menyediakan berbagai macam data sekunder maupun primer yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, W. 2006. *Laterites: Fundamentals of Chemistry, Mineralogy, Weathering Processes, and Laterite Formation*, PT.INCO.

Apandi, T. Sudana D. 1980. *Peta Geologi Lembar Ternate, Maluku Utara*. Badan Geologi.

Brahmantyo, B. Bandono. 2006. *Klasifikasi Bentuk Muka Bumi (Landform) untuk Pemetaan Geomorfologi pada Skala 1:25.000 dan Aplikasinya untuk Penataan Ruang*. Jurnal Geoaplika (2006) v. 1, no. 2, hal. 071 –078.

Darman, H. Sidi, H. 2000. *An Outline of The Geology of Indonesia*. Ikatan Ahli Geologi Indonesia.

Festa, A. Pini, Gian. Dilek, Y. Codegone, G. 2010. *Melanges And Melanges-Forming Process : A Historical Overview And New Concepts*. International Geology

Review. Vol. 52 No 10-12. Hal 1040-1105

Hall, R. Audley-charles, M. G. Banner, F. T. Hidayat, S. Tobing, S. L. 1988. *Basement Rock of the Halmahera Region, eastern Indonesia: a Late Cretaceous-Early Tertiary arc and fore-arc*. Journal of the Geological Society 1988, v. 145, hal. 65-84.

Hall, R. 2002. *Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based recontstructions, model and animations*. Journal of Asian Earth Sciences 2002, hal.353-431.

Hall, R. 2012. *Late Jurassic–Cenozoic reconstructions of the Indonesian region and the Indian Ocean*. Tectonophysics hal. 570–571.

Kisman, E. 2007. *Inventarisasi Mineral Logam di Kab. Halmahera Timur dan Kab. Halmahera Tengah Provinsi Maluku Utara*. Proceeding Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan Tahun 2007 Pusat Sumber Daya Geologi.

Iyer, K. 2007. *Mechanisms of serpentinization and some geochemical effects*. Dissertation for the degree of Doctor Scientiarum Physics of Geological Processes Faculty of Mathematics and Natural Sciences University of Oslo

Myers, J L. Well, A D. 2003. *Research Design and Statistical Analysis (2nd ed.)*. Lawrence Erlbaum. hal. 508.

Turdjaja, D. Raja, M. Labaik, G. 2011. Penelitian Batuan Ultrabasa di Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara. *Prosiding Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Geologi Tahun 2011*.

http://www.statstutor.ac.uk. *Spearman's Correlation*. Dikutip 1 Agustus 2019.