

**KETERKAITAN KELIMPAHAN UNSUR *MAJOR* DAN *MINOR* DENGAN ZONASI LATERIT NIKEL BLOK HZ (HARZBURGIT) DAN DN (DUNIT) DAERAH PULAU PAKAL, HALMAHERA TIMUR**

***RELATION OF MAJOR AND MINOR ELEMENTS ENRICHMENT WITH NICKEL LATERITE ZONATION IN HARZBURGITE (HZ) AND DUNITE (DN) BLOCKS AT PAKAL ISLAND, EAST HALMAHERA***

**Fiandri I. Rinawan<sup>1</sup>, Mega F. Rosana<sup>1</sup>, Mohammad N. Heriawan<sup>2</sup>, dan Euis T. Yuningsih<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

<sup>2</sup>Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB  
irfiandri@gmail.com

**ABSTRAK**

Keterkaitan kelimpahan unsur pada profil laterit nikel dilakukan berdasarkan hasil analisis kimia unsur *major* (Fe, SiO<sub>2</sub>, MgO, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan *minor* (Ni, Co, MnO, dan Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) menggunakan analisis univariat dan multivariat. Profil berupa tanah atau hancuran batuan hasil lapukan litologi ultrabasa harzburgit (Blok HZ) dan dunit (Blok DN) berumur Kapur hingga Jura, terletak di daerah Pulau Pakal, Halmahera Timur. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui hubungan antar unsur kimia *major* dan *minor* terhadap nilai koefisien korelasi kuat hingga sangat kuat baik negatif maupun positif yang terdistribusi pada profil laterit nikel Blok HZ dan DN. Penelitian ini fokus pada identifikasi fisik mineralogi *bedrock* dan analisis kimia profil laterit nikel. Identifikasi fisik di Blok HZ melibatkan 436 conto berasal dari 19 pemboran, kedalaman 10 m hingga 40 m. Adapun identifikasi fisik di Blok DN melibatkan 650 conto berasal dari 16 pemboran, kedalaman 11 m hingga 57 m. Komposisi mineral di Blok HZ terdiri dari mineral oksida besi limonit, gutit, jarosit, dan oksida mangan (zona limonit); krisopras, garnierit, magnetit, hematit, serpentin-krisotil, dan stiktit (zona saprolit); olivin-forsterit, piroksen-ortopiroksen, dan kromit (zona *boulder/bedrock*). Sedangkan di Blok DN terdiri dari mineral oksida besi limonit, gutit, dan oksida mangan (zona limonit); krisopras, jarosit, garnierit, magnetit, hematit, mineral lempung montmorilonit, kuarsa, serpentin-krisotil, dan talk (zona saprolit), olivin-forsterit, piroksen-hastingsit, dan kromit (zona *boulder/bedrock*). Analisis statistik univariat menunjukkan distribusi data relatif tidak normal dengan koefisien variasi > 0,5. Pada analisis statistik multivariat mengindikasikan nilai koefisien korelasi positif maupun negatif pada zonasi laterit nikel berupa hubungan unsur yang sangat kuat ( $\pm 0,80 - 1,00$ ) dengan jumlah korelasi dominan. Koefisien korelasi pada Blok HZ diantaranya mengindikasikan pasangan unsur yang berkorelasi sangat kuat yaitu: unsur *major-major* (Fe vs MgO, Fe vs SiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> vs MgO, dan MgO vs Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), *minor-minor* (Co vs MnO) serta *major-minor* (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vs Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe vs Co, Fe vs MnO, dan SiO<sub>2</sub> vs Co). Sedangkan pada Blok DN pasangan unsur yang berkorelasi sangat kuat yaitu: unsur *major-major* (Fe vs MgO), *minor-minor* (Co vs MnO) dan *major-minor* (Fe vs Co, Fe vs Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe vs MnO, MgO vs Co, dan MgO vs MnO). Hal ini berkaitan dengan posisi masing-masing korelasi distribusi unsur kimia *major* dan *minor* tersebut pada zona profil laterit nikel Limonit, Saprolit dan *Boulder/Bedrock*.

**Kata kunci:** Analisis korelasi, unsur *major-minor*, profil laterit nikel, ultrabasa, harzburgit, dunit

**ABSTRACT**

*Relation of element enrichment in nickel laterite profiles was processed based on major elements (Fe, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) and minor elements (Ni, Co, MnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) chemical analysis using univariate and multivariate analysis. Profiles such as soil or rock powder from weathered results of ultrabasic lithology of harzburgite (HZ Block) and dunite (DN Block), Cretaceous-*

*Jurassic ages located in Pakal Island, East Halmahera. The main purpose of this research is to analyze the major and minor elements association related to the strong to very strong correlation which distributed in nickel laterite profile in the block of HZ and DN. This research focused on the physical identification and chemical analysis of nickel laterite profile. In HZ block involved of 436 samples from 19 drillholes, 10 m to 40 m depths and in DN block involved 650 samples from 16 drillholes, 11 m to 57 m depths. Mineral composition result showed that in HZ block were: limonite iron oxide, goethite, jarosite, mangan oxide (limonite zone); chrysoprase, garnierite, magnetite, hematite, montmorillonite clay mineral, serpentine-chrysotile, stictite (saprolite zone); and olivine-forsterite, orthopyroxene, chromite (boulder/bedrock zone); and mineralogical composition in DN block were: limonite iron oxide, goethite, mangan-oxide, jarosite, (limonite zone); chrysoprase, garnierite, magnetite, hematite, clay-mineral, quartz, serpentine talc (saprolite zone); olivine-forsterite, pyroxene-hastingsite, and chromite (bedrock/boulder zone). Univariate statistical analysis showed that the data distribution were not normal with Coefficient of Variation (CoefVar) >0.5. In multivariate statistical analysis indicated the positive and negative correlation coefficients in nickel laterite zoning in the form of very strong elements relationships ( $\pm 0.80-1.00$ ) with the number of dominant correlations. The correlation coefficients in HZ block indicated the strong correlation of elements pair i.e. major-major (Fe vs MgO, Fe vs SiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> vs MgO, MgO vs Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), minor-minor (Co vs MnO) dan major-minor elements (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vs Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe vs Co, Fe vs MnO, SiO<sub>2</sub> vs Co). While in DN Block indicated the strong correlation of elements pair i.e. major-major (Fe vs MgO), minor-minor (Co vs MnO) dan major-minor elements (Fe vs Co, Fe vs Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe vs MnO, MgO vs Co, MgO vs MnO). Those major-minor elements association correlation distribution were shown in each base position zone of nickel laterite such as limonite, saprolite and boulder/bedrock.*

**Keywords:** correlation analysis, major-minor elements, nickel laterite profile, ultramafic, harzburgite, dunite

## PENDAHULUAN

PT ANTAM Tbk., mempunyai prospek IUP eksplorasi komoditas laterit nikel yang berlokasi di daerah Pulau Pakal, Kecamatan Maba, Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara. Daerah tersebut menempati kompleks batuan ultrabasa, dunit, piroksenit dan serpentin berumur Kapur hingga Jura, sebagai batuan dasar endapan sekunder laterit nikel. Batuan dasar ini merupakan bagian dari seri ofiolit kerak samudra (Ishiwatari, 1994). Seri ofiolit di daerah Halmahera sebagai segmen yang terangkat oleh proses geotektonik obduksi dan struktur sesar naik, yang kemudian lapuk dan tererosi hingga tersingkap batuan ultrabasa dunit dan peridotit (Harris, 2003).

Pada daerah Pakal tersebut di atas, telah dilakukan eksplorasi oleh Unit Geomin (2013) berupa pemetaan geologi, geofisika, dan pemboran dan analisis kimia

laterit nikel. Selain itu di Pulau Pakal telah dilakukan penyelidikan oleh peneliti terdahulu, diantaranya terkait hubungan geomorfologi dan profil laterit nikel oleh Syafrizal (2009) dan tentang kriteria terkait perhitungan sumber daya laterit nikel oleh Augusman (2009).

Variabilitas dan heterogenitas kondisi laterit nikel berkaitan dengan karakteristik keberadaan komposisi fisik, komposisi kimia, sifat fisik, sifat kimia, dan komposisi profil laterit nikel. Zonasi profil laterit nikel ini terdiri dari *boulder/bedrock*, *saprolit*, *limonit*, dan *top soil*. Masing-masing zonasi dicirikan oleh komposisi distribusi unsur kimia Ni, terutama pada zona *saprolit* yang mempunyai komposisi Ni yang tinggi ( $\geq 2\%$ ).

Berkaitan dengan hal tersebut, maka dirancang studi geologi laterit nikel, dengan melakukan pemetaan geologi, pengambilan contoh pemboran pada profil

laterit nikel dari permukaan hingga batuan dasar dunit atau peridotit (harzburgit).

Analisis kimia dilakukan pada zonasi *top soil*, limonit, saprolit hingga *boulder/bedrock*. Masing-masing zonasi ini mempunyai komposisi kimia unsur *major*, dengan klasifikasi > 3% yaitu Fe, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan unsur *minor* dengan klasifikasi < 3%, yaitu Ni, Co, MnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Ahmad, 2006).

Studi ini difokuskan pada identifikasi profil laterit nikel, berkaitan dengan data hasil deskripsi komposisi fisik conto pemboran laterit dan data hasil analisis kimia unsur *major* dan *minor* yang disajikan melalui analisis statistik univariat berupa statistik deskriptif, histogram dan plot probabilitas dan multivariat berupa analisis korelasi. Sedangkan tujuannya yaitu untuk mengetahui hubungan antar unsur *major* dan *minor* yang menempati dan terakumulasi pada conto profil laterit nikel *Top Soil*, Limonit, Saprolit dan *Boulder/Bedrock*.

Hal tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi ciri karakteristik distribusi unsur kimia pada profil laterit nikel secara spesifik terhadap batuan dasar tersebut maupun hasil pelapukannya. Maka dalam penelitian ini, metode analisis multivariat digunakan untuk mengkaji hubungan antar unsur *major* dan *minor*. Metode ini secara kuantitatif dapat memfasilitasi pemahaman tentang interpretasi zonasi laterit nikel. Metode ini berguna untuk menentukan unsur-unsur yang saling berkorelasi kuat hingga sangat kuat antara unsur *major* dan *minor* sebagai unsur-unsur yang dapat menginterpretasikan kondisi zonasi laterit nikel. Adapun hasil analisis multivariat tersebut dikaitkan dengan hasil deskripsi conto pemboran untuk mendapatkan gambaran kesesuaian antara hasil analisis multivariat dengan deskripsi conto pemboran.

## GEOLOGI REGIONAL DAN GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Daerah Halmahera Timur diapit oleh pola sesar naik berarah Utara-Selatan dan Barat Laut-Tenggara yang mengakibatkan seri ofiolit bagian bawah dapat tersingkap. Geologi regional Halmahera Timur meliputi Lengan Timurlaut, dan Lengan Tenggara. Morfologi mandala ini terdiri dari pegunungan berlereng terjal yang merupakan pencerminan dari batuan ultrabasa dan morfologi karst batugamping, sedangkan morfologi dengan perbukitan yang relatif rendah dan lereng yang landai mencerminkan batuan sedimen (Apandi dan Sudana, 1980). Batuan ultrabasa menempati pulau-pulau kecil di sebelah Timur Pulau Halmahera, salah satunya Pulau Pakal (Gambar 1). Stratigrafi regional daerah penelitian disusun oleh kompleks batuan ultrabasa (Ub) merupakan batuan tertua, diperkirakan berumur Kapur hingga Jura. Jenis litologi pada formasi ini terdiri dari serpentinit, piroksenit, dan dunit yang umumnya berwarna hitam, getas, kebanyakan terpecah, terbreksikan, setempat mengandung asbes dan garnierit.

Berdasarkan hasil penelitian Rinawan (2012), Pulau Pakal tersusun oleh batuan ultramafik Dunit dan Harzburgit terserpentinisasi. Satuan stratigrafi daerah penelitian terdiri dari satuan batuan dunit (Ycd), satuan batuan harzburgit (Ych), dan aluvium (Qa) (Gambar 2). Satuan batuan dunit (Ycd) menempati daerah Pulau Pakal berkisar seluas 30% di sekitar Selatan, Tenggara dan Timur Laut daerah penelitian. Satuan batuan harzburgit (Ych) menempati daerah Pulau Pakal berkisar seluas 60% di sekitar baratdaya-baratlaut-utara-timurlaut-tenggara daerah penelitian. Kedua satuan batuan tersebut berumur Kapur-Jura yang dibandingkan dengan stratigrafi regional kompleks batuan ultrabasa (Apandi dan Sudana, 1980).

Aluvium (Qa) menempati daerah pantai Pulau Pakal berkisar seluas 10% daerah penelitian. Aluvium ini dibandingkan dengan stratigrafi regional aluvium dan endapan pantai berumur Kuarter (Apani dan Sudana, 1980).

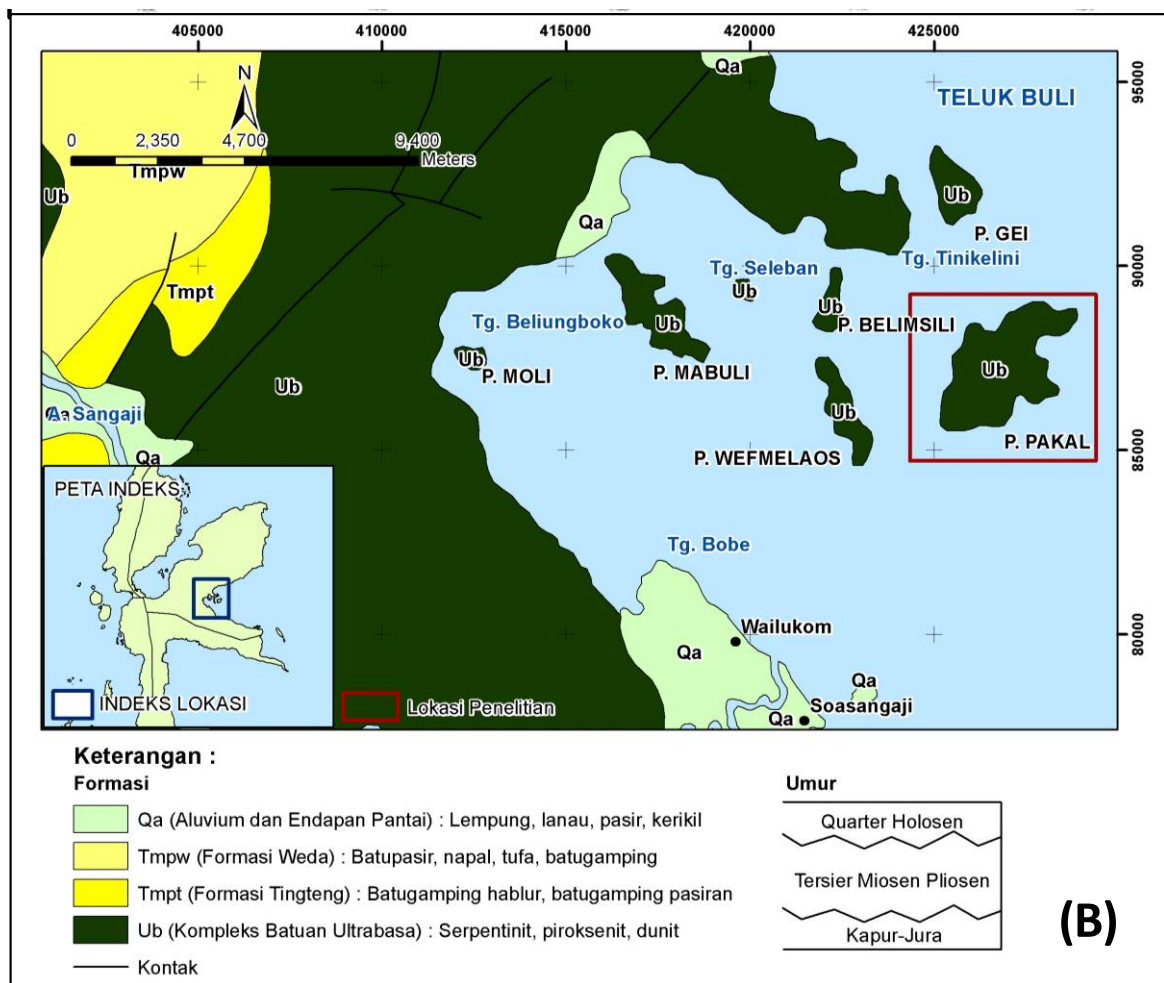
Struktur geologi Pulau Pakal terjadi terutama pada litologi satuan batuan dunit dan harzburgit yang dicirikan dengan indikasi struktur yang kuat dijumpai pada singkapan batuan tersebut berupa kekar dan retakan (Rinawan, 2012). Berdasarkan data yang diperoleh dari singkapan kekar dan retakan menunjukkan bahwa struktur diinterpretasikan sebagai sesar naik dengan arah umum tegasan adalah NE-SW.

Indikasi struktur baik pada batuan dunit maupun harzburgit berkaitan adanya kekar

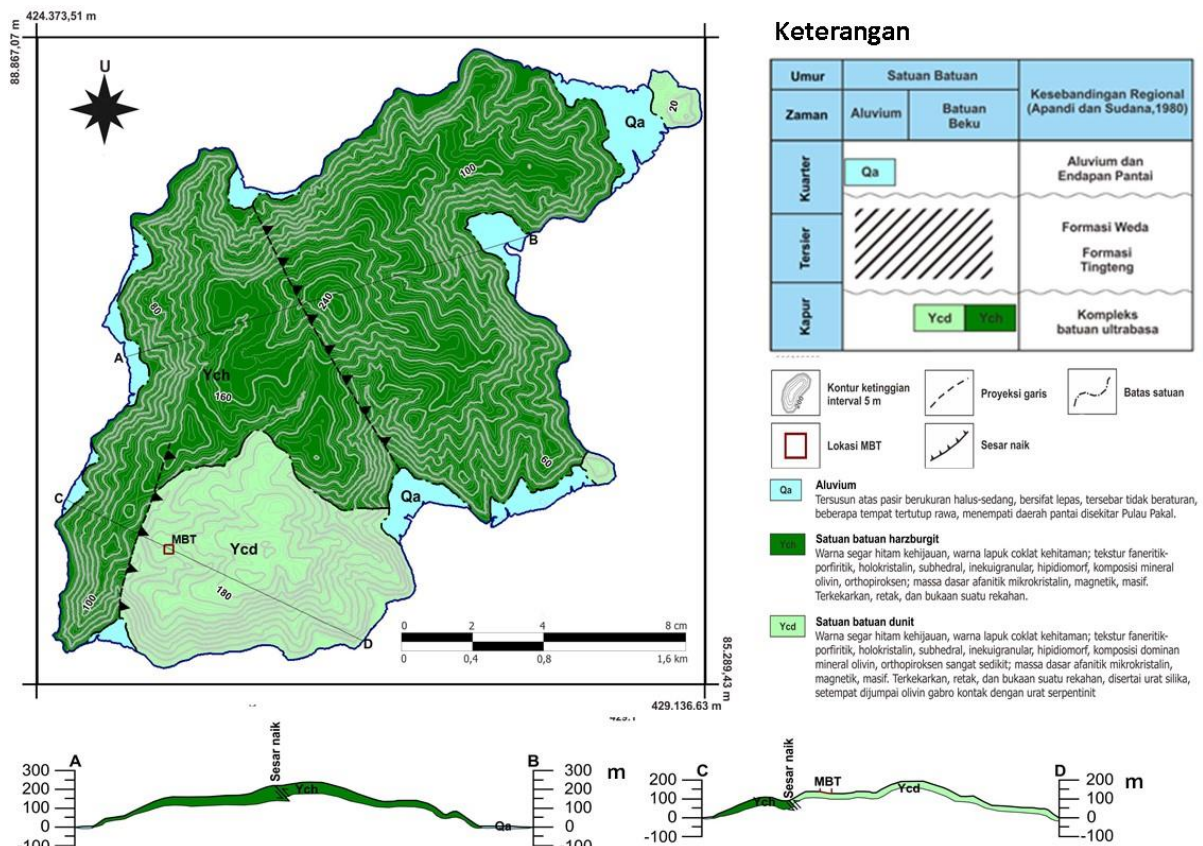
dan retakan yang diindikasikan sebagai kriteria persyaratan terbentuknya laterit nikel di daerah tropis (Ahmad, 2006). Melalui bidang-bidang sesar, kekar, dan retakan akan menyebabkan kemudahan perkolasi air sehingga terjadinya pelapukan batuan.

Satuan batuan dunit terangkat oleh struktur sesar naik memotong satuan batuan harzburgit dengan arah jurus struktur NNE-SSW terdapat pada bagian barat daya Pulau Pakal. Tersingkapnya satuan batuan dunit di permukaan dikarenakan batuan diatasnya tererosi.

Satuan batuan harzburgit terangkat oleh struktur sesar naik memotong satuan batuan harzburgit dengan arah jurus struktur NNW-SSE terdapat memanjang di bagian tengah Pulau Pakal.



**Gambar 1.** Geologi Regional Daerah Tanjung Buli dan sekitarnya (Apani dan Sudana, 1980, modifikasi)



Gambar 2. Peta Geologi Pulau Pakal (Rinawan, 2012)

**METODOLOGI**

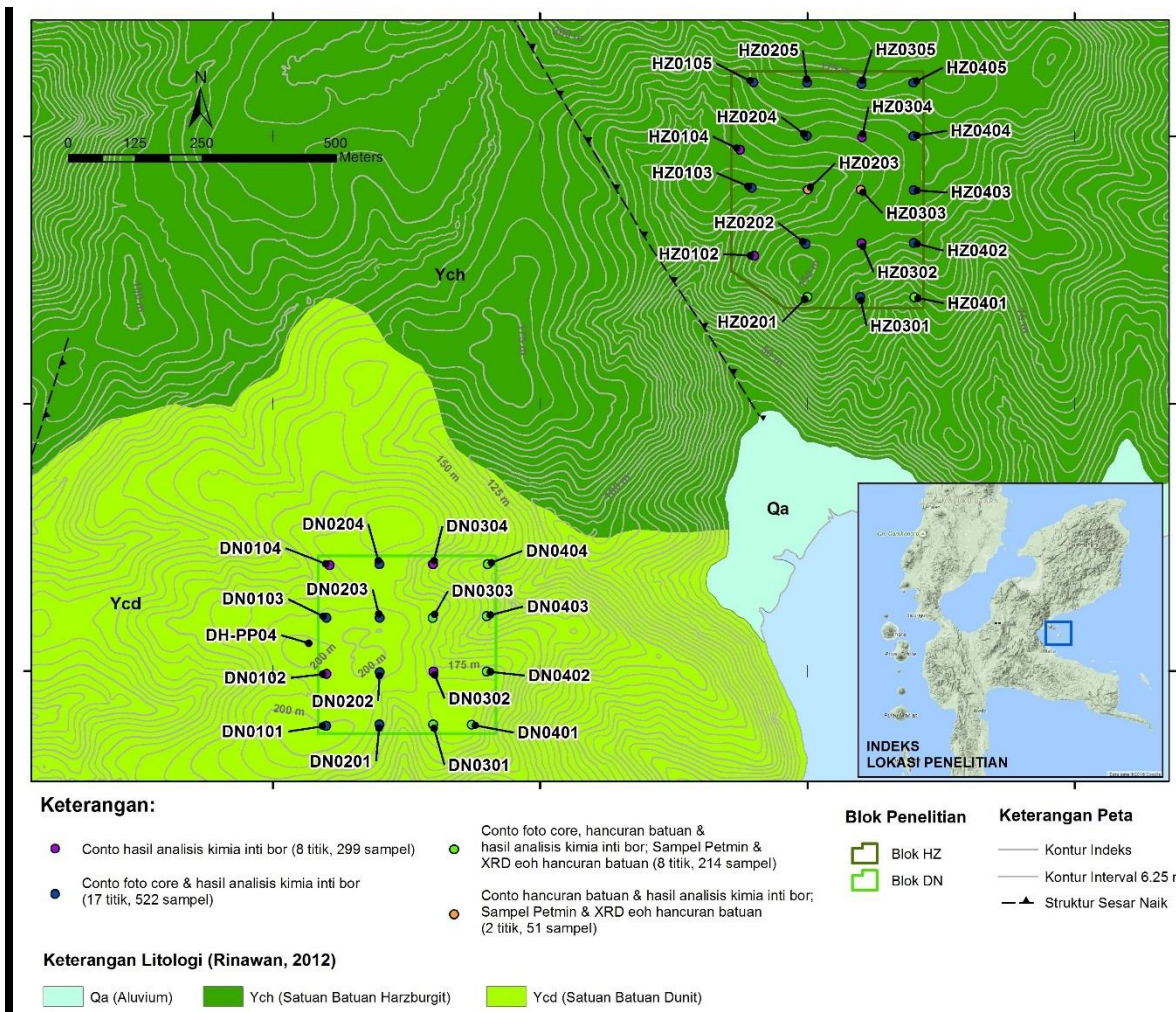
Contoh tanah dan batuan per meter diambil dari pemboran profil laterit nikel pada 2 daerah yaitu (Gambar 3): Blok HZ luas ± 12 hektar, sebanyak 436 conto dari 19 bor, dengan kedalaman 10 m s.d. 41 m, dan Blok DN, luas ± 9 hektar, sebanyak 650 conto dari 16 bor, dengan kedalaman 11 m s.d. 57 m. Daerah blok HZ dan Blok DN, masing-masing menempati satuan batuan harzburgit dan satuan batuan dunit (Rinawan, 2012).

Identifikasi fisik conto terpilih dari inti pemboran dilakukan secara megaskopis, petrografi, mineragrafi, dan XRD.

Adapun 4 unsur *major* yaitu Fe, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan 4 unsur *minor* yaitu Ni, Co, MnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dianalisis dengan metode XRF. Hasil analisis kimia 8 unsur kimia tersebut, digunakan sebagai *database* kimia dalam melakukan statistik multivariat yaitu analisis korelasi unsur *major* dan *minor*.

Pengolahan data diawali dengan penggunaan metode statistik deskriptif untuk unsur *major* dan *minor* terhadap variabel: *mean*, *median*, *stDev*, koefisien variasi, nilai minimum, nilai maksimum, *skewness*, dan *kurtosis*. Selanjutnya digambarkan histogram setiap unsur kimia *major* dan *minor*, masing-masing untuk blok HZ dan DN secara keseluruhan maupun per zona laterit.

Selanjutnya digunakan metode statistik multivariat berupa analisis korelasi untuk menentukan hubungan antara dua variabel yang saling berkaitan satu sama lainnya. Adapun koefisien korelasi (r) digunakan sebagai satuan besaran: besar-kecilnya nilai hubungan antara dua variabel yang dinyatakan dalam satuan jumlah korelasi dengan kisaran nilai  $-1 < r < +1$ . Setiap nilai korelasi mempunyai tingkatan nilai hubungan (Sugiyono, 1999).



Gambar 3. Peta lokasi pengambilan conto laterit nikel Daerah Pulau Pakal

HASIL

Identifikasi Fisik

Identifikasi fisik berdasarkan metode megaskopik, serta ditunjang metode analisis petrografi, mineragrafi dan XRD dari conto batuan dasar terpilih Harzburgit (Blok HZ) dan Dunit (Blok DN). Berdasarkan hasil pemboran, pada Blok HZ terdapat 19 titik bor pada zona profil laterit nikel yang menunjukkan gradasi warna *top soil*, limonit, saprolit, *boulder/bedrock* (Gambar 5A):

- zona *top soil* terdapat pada kisaran kedalaman 0 s.d. 2 meter; berwarna kemerahan kecoklatan, mengandung bahan organik dan lempung.
- zona limonit terdapat pada kisaran kedalaman 1 s.d. 19 meter; berwarna kemerahan kecoklatan, ditandai soil bermineral lempung, silika, oksida besi

gutit-limonit-oksida mangan, jarosit, hematit-magnetit dan kromit).

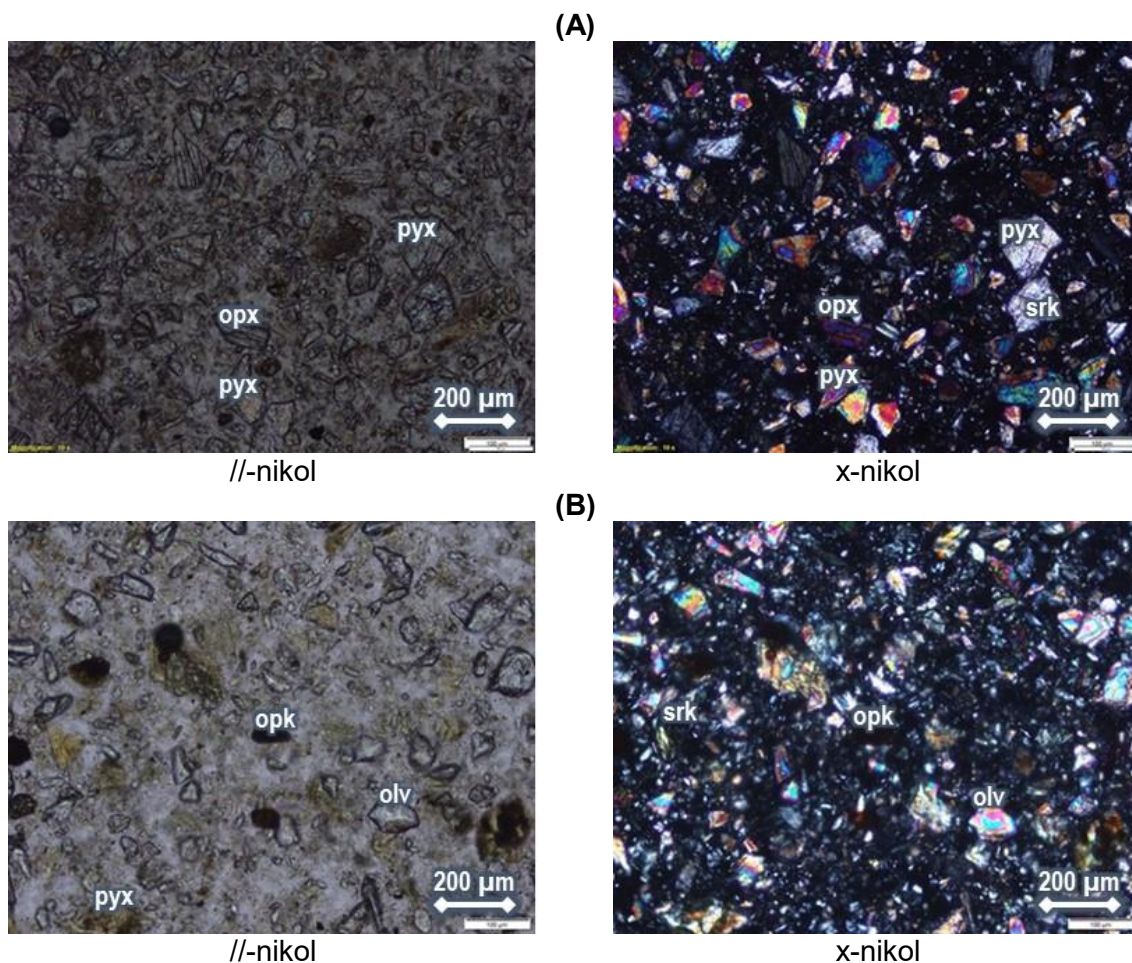
- zona saprolit terdapat pada kisaran kedalaman 11 s.d. 37 meter; berwarna kekuningan-kecoklatan ditandai lapukan batuan menjadi soil, berciri relik tekstur batuan asal, bermineral lempung, gutit, hematit, serpentin, krisopras, garnierit, olivin, piroksen.
- zona *boulder/bedrock* terdapat pada kisaran kedalaman 3 s.d. 6, 4 s.d. 6, 6 s.d. 9, 11 s.d. 11.65, 13 s.d. 13.5, 14 s.d. 16, 15.2 s.d. 16, 16,3 s.d. 19, 17 s.d. 18.5, 18 s.d. 22, 19.7 s.d. 20, 20.4 s.d. 21, 20.3 s.d. 22, 21 s.d. 24, 22 s.d. 26, 23 s.d. 25 meter; berkomposisi mineral oksida besi limonit, gutit, garnierit, jarosit, oksida mangan, krisopras, magnetit, hematit, serpentin-krisotil, stiktit, olivin-forsterit, piroksen-ortopiroksen dan kromit (Gambar 4A.).

Pada Blok DN dunit, terdapat 16 titik bor pada zona profil laterit nikel menunjukkan gradasi warna *top soil*, limonit, saprolit, *boulder/bedrock* (Gambar 5B):

- zona top soil terdapat pada kisaran kedalaman 0 s.d. 5 meter; berwarna kemerahan kecoklatan, mengandung bahan organik dan lempung.
- zona limonit terdapat pada kisaran kedalaman 3 s.d. 51 meter, berwarna kecoklatan, ditandai soil bermineral lempung montmorilonit, silika, oksida besi gutit-limonit-oksida mangan, jarosit, hematit-magnetit dan kromit.
- zona saprolit terdapat pada kisaran kedalaman 31 s.d. 57 meter; berwarna kekuningan-kecoklatan ditandai lapukan batuan menjadi soil, berciri relik tekstur

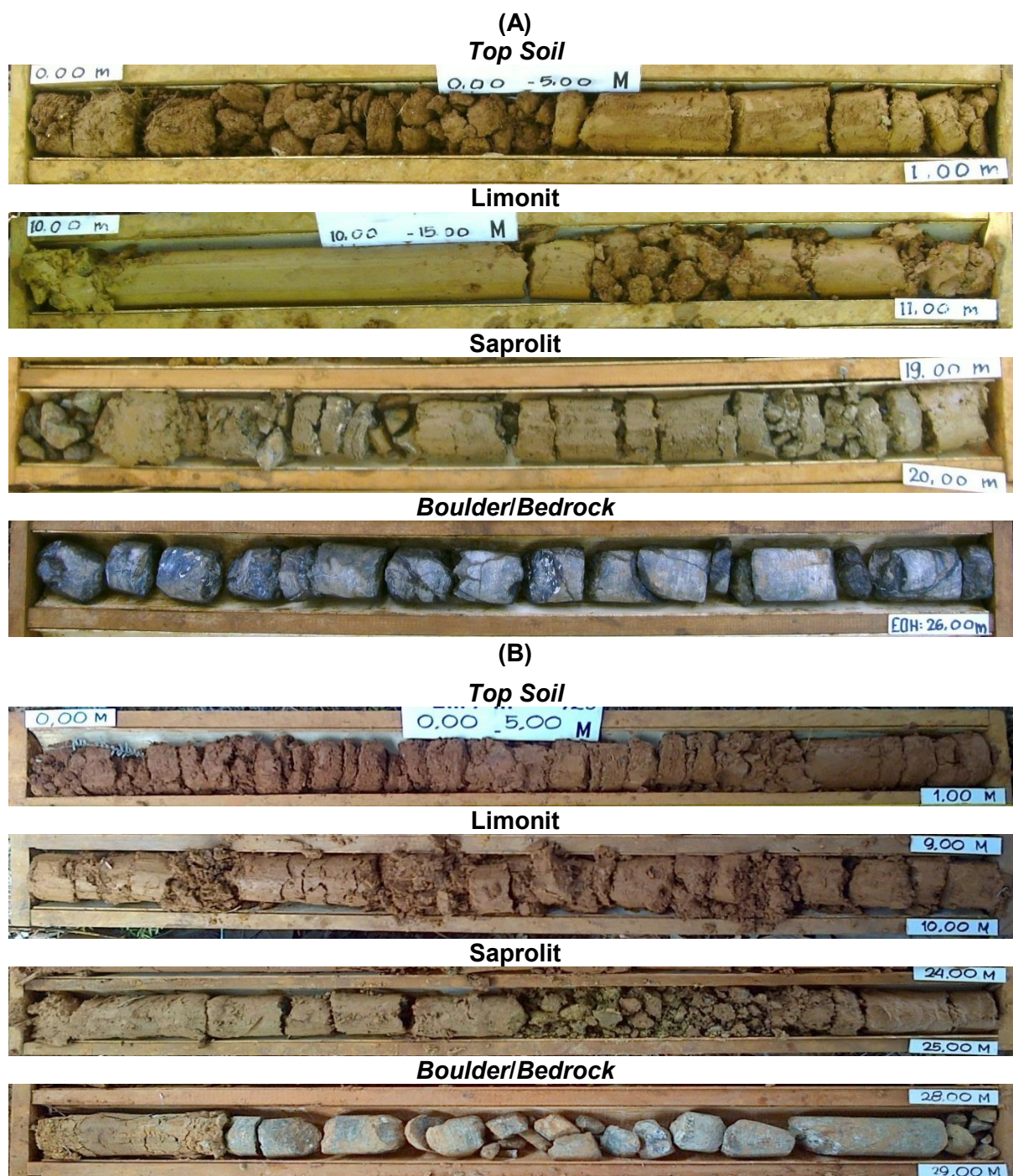
batuan asal, bermineral lempung, gutit, oksida mangan, hematit, serpentin-krisotil, krisopras, garnierit, olivin, dan piroksen.

- zona *boulder/bedrock* terdapat pada kisaran kedalaman 2.3 s.d. 3, 3.7 s.d. 5, 5 s.d. 5.3, 5.6 s.d. 11, 12 s.d. 13, 13.4 s.d. 16.65, 17 s.d. 17.45, 17 s.d. 21, 18.3 s.d. 19, 21.6 s.d. 25.6, 22 s.d. 27.6, 32.5 s.d. 33, 35.35 s.d. 38, 37 s.d. 40, 39 s.d. 40.6, 34.7 s.d. 35, 41.4 s.d. 43, 43 s.d. 49, 47 s.d. 47.4, 49.6 s.d. 50, 51 s.d. 51.8 meter, warna kelabu kekuningan-kelabu berkomposisi mineral silika, magnetit, hematit, serpentin-krisotil, stiktit, talk, olivin-forsterit, piroksen-ortopiroksen, hastingsit, dan kromit (Gambar 4B).



**Keterangan :** **Olv:** Olivin; **Pyx:** piroksen; **Opx:** orthopiroksen; **Srk:** serpentin krisotil; **Opk:** Opak kromit

**Gambar 4.** Foto mikroskopik sayatan tipis conto: A, lokasi HZ0204; B, lokasi DN0303



Gambar 5. Conto inti pemboran: A, lokasi HZ0204; B, lokasi DN0303

**Hasil pengolahan data analisis kimia**

Analisis kimia dengan metode XRF untuk 436 conto Blok HZ harzburgit dan 650 conto blok DN dunit menghasilkan 4 unsur *major* yaitu Fe, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan 4 unsur *minor* yaitu Ni, Co, MnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Hasil analisis kimia tersebut digunakan dalam analisis statistik univariat (statistik deskriptif dan histogram) dan multivariat (analisis korelasi) untuk unsur *major* dan *minor* per zonasi laterit nikel. Masing-masing 4 unsur *major* dan *minor* dari Blok HZ dan DN tersebut di atas mempunyai nilai statistik deskriptif (*mean*, *median*, *stDev*, nilai minimum, nilai maksimum,



skewness, kurtosis dan koefisien variasi), dan histogram untuk mengetahui distribusi data. Serta untuk mengetahui normal atau tidaknya distribusi data, dapat diketahui dari koefisien variasi sebagai berikut.

- Analisis statistik deskriptif  
Untuk keseluruhan zona laterit nikel, hasil statistik deskriptif menunjukkan nilai standar deviasi yang relatif sedang pada unsur *major* namun relatif kecil pada unsur *minor*. Tetapi dilihat dari distribusi data melalui *skewness* dan *kurtosis* menunjukkan nilai yang bervariasi. Berdasarkan nilai koefisien variasi (*CoefVar*), ketika nilainya > 0,5 maka data terdistribusi tidak normal sedangkan sebaliknya ( $\leq 0,5$ ) maka data

terdistribusi normal (Tabel 1 dan Tabel 2.). Berdasarkan tabel tersebut, pada blok HZ, unsur-unsur yang terdistribusi tidak normal terdiri dari zona *top soil* (MgO, Co dan MnO), limonit (SiO<sub>2</sub>, MgO, Co dan MnO) dan saprolit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Co). Sementara pada blok DN terdiri dari zona *top soil* (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ni, Co, MnO dan Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), limonit (SiO<sub>2</sub>, MgO, Co dan MnO), saprolit (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan *bedrock* (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Co dan MnO). Maka untuk data yang terdistribusi normal pada Blok HZ secara umum terdiri dari unsur Fe, Ni dan Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Untuk per zona terdapat *top soil* (SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan saprolit (SiO<sub>2</sub>, MgO dan MnO).

**Tabel 1.** Statistik deskriptif analisis kimia per zonasi laterit nikel Blok HZ

Zona	Variabel		Parameter									Distribusi
	Tipe Unsur	Unsur	N	Mean	Median	StDev	Minim um	Maximum	Skewness	Kurtosis	CoefVar	
Top Soil	Major	Fe	11	41,97	42,03	2,67	37,97	45,61	-0,12	-1,56	0,06	Normal
		SiO <sub>2</sub>	11	7,86	8,25	2,67	4,31	11,95	0,16	-1,20	0,34	Normal
		MgO	11	2,25	1,80	1,27	1,14	5,25	1,46	2,05	0,57	Tidak normal
	Minor	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11	10,30	10,77	3,22	2,84	15,30	-1,03	2,37	0,31	Normal
		Ni	11	1,22	1,19	0,32	0,66	1,67	-0,21	-0,79	0,26	Normal
		Co	11	0,15	0,10	0,11	0,05	0,39	1,23	0,52	0,75	Tidak normal
		MnO	11	0,75	0,44	0,62	0,21	2,00	1,09	-0,13	0,82	Tidak normal
Limonit	Major	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11	2,87	2,94	0,39	2,33	3,66	0,52	0,17	0,14	Normal
		Fe	90	38,99	38,75	6,57	22,53	50,57	-0,23	-0,62	0,17	Normal
		SiO <sub>2</sub>	90	11,90	10,83	6,76	2,80	27,45	0,51	-0,80	0,57	Tidak normal
	Minor	MgO	90	3,86	2,40	3,45	1,03	17,04	1,90	3,60	0,89	Tidak normal
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	90	8,81	8,32	4,47	0,85	21,97	0,61	-0,10	0,51	Tidak normal
		Ni	90	1,42	1,28	0,58	0,49	2,92	0,80	-0,12	0,41	Normal
		Co	90	0,15	0,12	0,11	0,04	0,65	2,64	8,76	0,73	Tidak normal
Saprolit	Major	MnO	90	0,99	0,78	0,71	0,17	3,28	1,34	1,58	0,72	Tidak normal
		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	90	2,59	2,49	0,66	1,37	4,87	0,84	0,80	0,26	Normal
		Fe	188	13,47	12,01	4,95	6,90	29,08	1,11	0,47	0,37	Normal
	Minor	SiO <sub>2</sub>	188	38,49	38,75	5,78	22,87	62,22	0,25	1,59	0,15	Normal
		MgO	188	22,66	23,77	6,37	4,72	35,14	-0,75	0,11	0,28	Normal
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	188	2,11	1,85	1,20	0,29	7,15	1,29	2,27	0,57	Tidak normal
		Ni	188	1,71	1,53	0,79	0,60	4,04	0,54	-0,56	0,46	Normal
Boulder/ Bedrock	Major	Co	188	0,04	0,03	0,02	0,01	0,12	1,64	3,09	0,58	Tidak normal
		MnO	188	0,27	0,24	0,11	0,13	0,63	1,23	1,09	0,39	Normal
		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	188	0,83	0,71	0,33	0,40	1,81	1,20	0,84	0,40	Normal
	Minor	Fe	147	7,07	6,76	1,04	5,58	10,66	1,21	1,06	0,15	Normal
		SiO <sub>2</sub>	147	39,37	39,42	2,69	32,94	48,26	0,42	0,81	0,07	Normal
		MgO	147	33,53	33,81	3,23	23,74	40,82	-0,45	-0,11	0,10	Normal
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	147	1,02	1,07	0,40	0,23	2,54	-0,02	1,04	0,39	Normal
Boulder/ Bedrock	Major	Ni	147	0,42	0,38	0,17	0,25	0,98	1,36	1,25	0,40	Normal
		Co	147	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	1,68	2,07	0,40	Normal
	Minor	MnO	147	0,14	0,13	0,03	0,07	0,36	2,60	14,77	0,24	Normal
		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	147	0,45	0,45	0,07	0,28	0,70	0,37	0,81	0,15	Normal

Tabel 2. Statistik deskriptif analisis kimia per zonasi laterit nikel Blok DN

Zona	Variabel		Parameter									Distribusi
	Tipe Unsur	Unsur	N	Mean	Median	StDev	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis	CoefVar	
Top Soil	Major	Fe	23	37,71	42,35	9,38	23,02	49,29	-0,56	-1,49	0,25	Normal
		SiO <sub>2</sub>	23	5,82	4,87	4,62	1,87	22,72	2,92	8,92	0,79	Tidak normal
		MgO	23	1,25	1,30	0,41	0,63	2,27	0,62	0,40	0,33	Normal
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23	18,11	12,59	11,05	6,70	38,25	0,85	-0,93	0,61	Tidak normal
	Minor	Ni	23	0,81	0,90	0,45	0,12	1,67	-0,16	-0,91	0,56	Tidak normal
		Co	23	0,06	0,06	0,04	0,02	0,20	1,98	5,40	0,62	Tidak normal
		MnO	23	0,29	0,15	0,37	0,06	1,56	2,46	5,96	1,26	Tidak normal
		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23	4,10	3,63	3,15	0,57	13,69	1,47	2,78	0,77	Tidak normal
Limonit	Major	Fe	37 1	42,79	43,57	5,92	20,26	53,79	-0,94	1,10	0,14	Normal
		SiO <sub>2</sub>	37 1	6,47	4,01	5,77	1,60	37,74	2,08	4,84	0,89	Tidak normal
		MgO	37 1	1,42	1,00	1,70	0,45	16,68	6,19	43,66	1,20	Tidak normal
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37 1	9,12	8,91	3,80	1,64	34,81	2,11	9,51	0,42	Normal
	Minor	Ni	37 1	1,42	1,39	0,50	0,19	3,48	0,85	2,12	0,35	Normal
		Co	37 1	0,13	0,11	0,08	0,03	0,58	1,82	5,13	0,58	Tidak normal
		MnO	37 1	1,06	0,82	1,00	0,03	7,18	1,85	5,58	0,95	Tidak normal
		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37 1	3,37	3,06	1,47	1,01	11,18	1,92	5,65	0,44	Normal
Saprolit	Major	Fe	16 3	15,40	14,38	5,03	7,14	31,16	0,92	0,38	0,33	Normal
		SiO <sub>2</sub>	16 3	34,20	33,81	5,96	19,89	49,07	-0,08	0,07	0,17	Normal
		MgO	16 3	19,35	19,46	6,09	2,62	33,12	-0,36	0,29	0,31	Normal
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16 3	2,74	2,45	1,16	0,52	7,57	1,17	1,47	0,42	Normal
	Minor	Ni	16 3	2,10	1,93	0,86	0,69	4,20	0,56	-0,63	0,41	Normal
		Co	16 3	0,04	0,03	0,02	0,01	0,11	1,13	1,79	0,45	Normal
		MnO	16 3	0,35	0,29	0,20	0,12	1,49	2,60	9,30	0,56	Tidak normal
		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16 3	0,97	0,84	0,39	0,43	2,61	1,32	1,62	0,40	Normal
Boulder / Bedrock	Major	Fe	93	7,77	7,13	2,01	5,43	15,48	1,76	3,02	0,26	Normal
		SiO <sub>2</sub>	93	38,35	37,10	5,33	28,70	63,36	2,07	6,15	0,14	Normal
		MgO	93	31,20	33,00	6,55	0,52	40,45	-1,59	4,05	0,21	Normal
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	93	1,32	1,22	0,81	0,20	4,99	2,12	6,82	0,62	Tidak normal
	Minor	Ni	93	0,45	0,39	0,18	0,24	1,03	1,00	0,40	0,40	Normal
		Co	93	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10	5,96	45,35	0,78	Tidak normal
		MnO	93	0,15	0,13	0,10	0,07	1,02	6,89	58,02	0,69	Tidak normal
		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	93	0,51	0,48	0,12	0,29	1,00	1,52	3,78	0,23	Normal

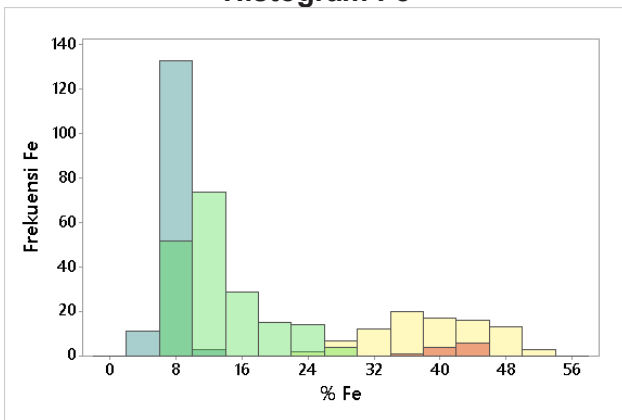
Sedangkan pada blok DN secara umum hanya unsur Fe. Untuk per zona terdapat *top soil* (MgO), limonit ( $Al_2O_3$ , Ni dan  $Cr_2O_3$ ), saprolit ( $SiO_2$ , MgO  $Al_2O_3$ , Ni, Co dan MnO) dan *boulder/bedrock* ( $SiO_2$ , MgO, Ni dan  $Cr_2O_3$ ).

▪ Analisis histogram

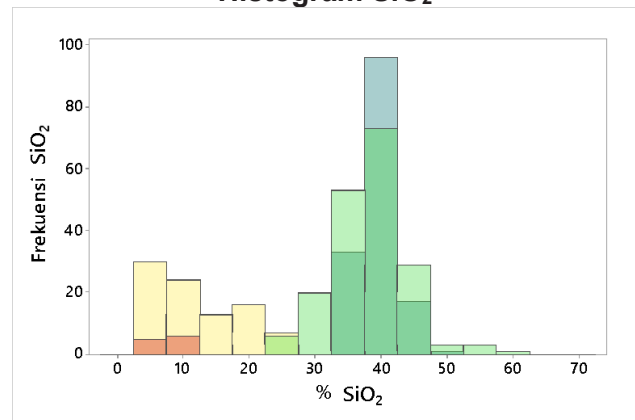
Histogram menginterpretasikan distribusi kecondongan/*skewness* serta kelengkungan/ kurtosis data. Pada bentuk *skewness*, data yang terdistribusi normal berbentuk simetris dan memiliki nilai kecondongan mendekati nol dengan nilai rata-rata/*mean*, median dan modus/*mode* memiliki nilai yang relatif mirip. Sementara data yang

condong ke kiri memiliki nilai kecondongan negatif dengan nilai rata-rata dan median di bawah nilai modus. Data yang condong ke kanan memiliki nilai kecondongan positif dengan nilai rata-rata dan median di atas nilai modus. Adapun berdasarkan *kurtosis*, nilai kelengkungan yang mendekati nol adalah lengkungan normal. Apabila nilai positif semakin tinggi maka semakin menajam lengkungannya. Apabila nilai negatif semakin tinggi maka semakin menumpul lengkungannya (Sinclair etc, 2004). Data hasil analisis kimia Blok HZ dan Blok DN direpresentasikan dalam bentuk histogram pada Gambar 6 dan Gambar 7.

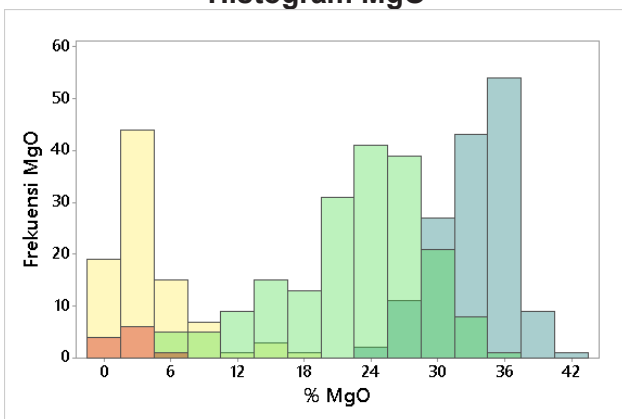
Histogram Fe



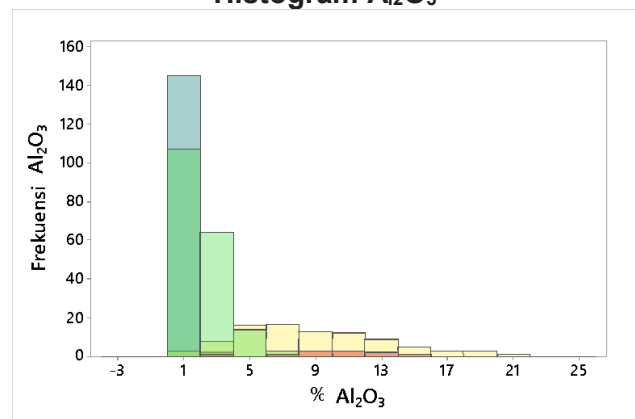
Histogram  $SiO_2$



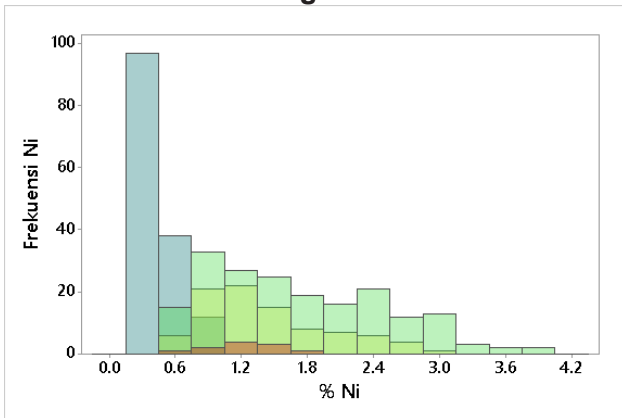
Histogram MgO



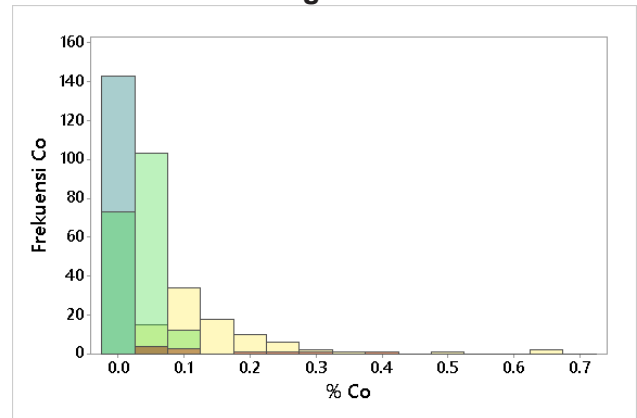
Histogram  $Al_2O_3$



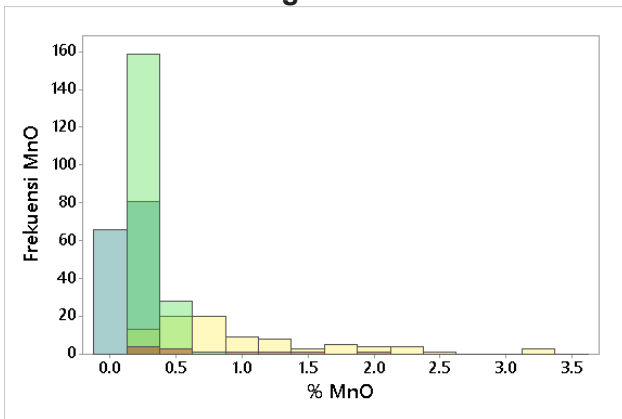
Histogram Ni



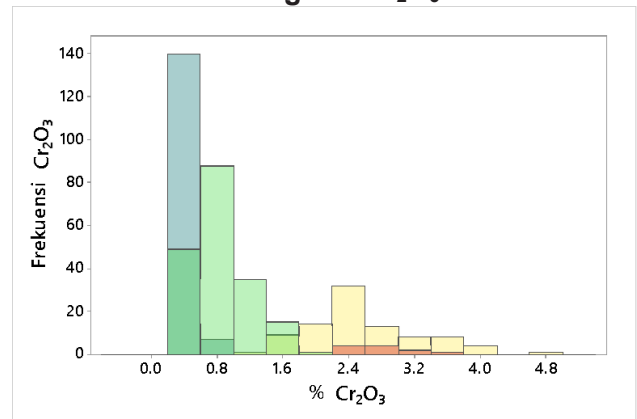
Histogram Co



Histogram MnO



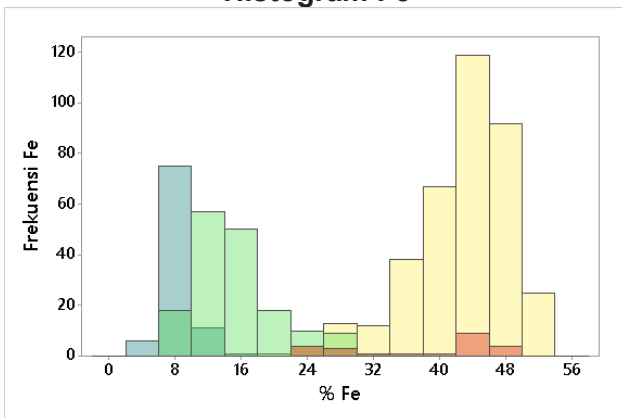
Histogram Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



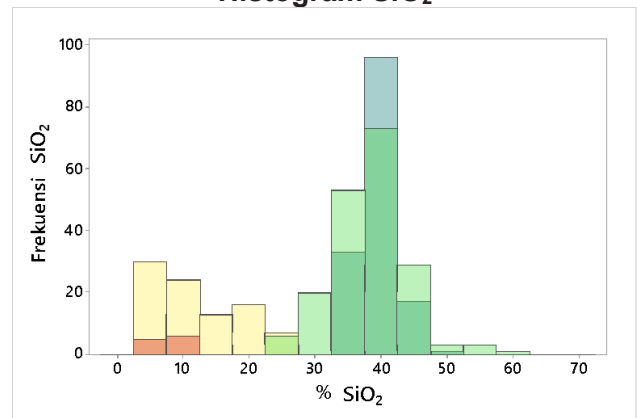
Keterangan : ■ Top Soil ■ Limonit ■ Saprolit ■ Boulder/Bedrock

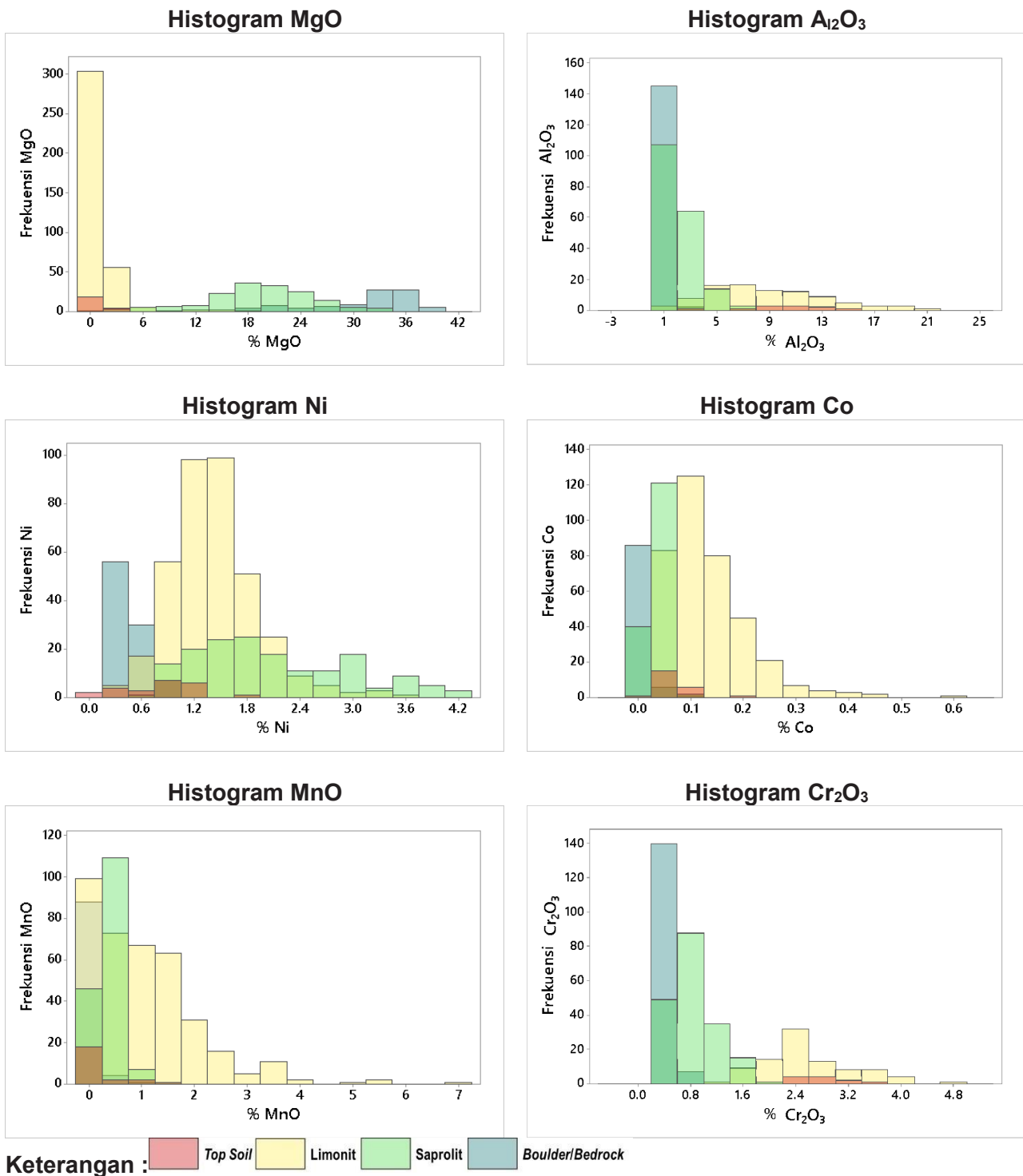
Gambar 6. Grafik histogram unsur *major* dan *minor* Blok HZ

Histogram Fe



Histogram SiO<sub>2</sub>





Gambar 7. Grafik histogram unsur *major* dan *minor* Blok DN

Adapun analisis multivariat terhadap keseluruhan maupun masing-masing zona laterit nikel menerapkan korelasi unsur kimia *major* dan *minor*, berdasarkan koefisien korelasi dengan kisaran nilai  $-1 < r < +1$  (Tabel 3). Berdasarkan klasifikasi

koefisien korelasi, tingkat korelasi kuat hingga sangat kuat pada angka korelasi negatif maupun positif pada unsur *major* dan *minor* digunakan untuk mengetahui unsur-unsur yang dapat berkontribusi sebagai penyusun zona laterit nikel.

Korelasi tersebut diklasifikasikan pada Tabel 4 untuk Blok HZ dan Tabel 5 untuk Blok DN.

Unsur-unsur berkorelasi kuat hingga sangat kuat tersebut dapat diasumsikan

memiliki hubungan asosiasi dan resistensi unsur yang sangat kuat dan dapat terlihat sehingga berkontribusi dalam penyusunan zonasi laterit nikel. Berikut korelasi unsur *major* dan *minor* Blok HZ dan DN.

**Tabel 3.** Tabel koefisien korelasi kandungan unsur *major* dan *minor* pada Blok HZ dan DN

Zona	Blok HZ									Blok DN								
	Fe	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ni	Co	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ni	Co	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
<b>Semua Zona</b>	Fe	1,00	-0,94	-0,94	0,79	0,30	0,74	0,72	0,95	Fe	1,00	-0,96	-0,93	0,55	0,03	0,62	0,37	0,70
	SiO <sub>2</sub>	-0,94	1,00	0,81	-0,79	-0,19	-0,70	-0,68	-0,91	SiO <sub>2</sub>	-0,96	1,00	0,87	-0,68	0,05	-0,61	-0,38	-0,72
	MgO	-0,94	0,81	1,00	-0,81	-0,43	-0,68	-0,66	-0,90	MgO	-0,93	0,87	1,00	-0,67	-0,16	-0,63	-0,42	-0,69
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,79	-0,79	-0,81	1,00	0,10	0,48	0,45	0,76	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,55	-0,68	-0,67	1,00	-0,17	0,35	0,23	0,56
	Ni	0,30	-0,19	-0,43	0,10	1,00	0,28	0,24	0,32	Ni	0,03	0,05	-0,16	-0,17	1,00	0,15	0,19	-0,01
	Co	0,74	-0,70	-0,68	0,48	0,28	1,00	0,92	0,72	Co	0,62	-0,61	-0,63	0,35	0,15	1,00	0,89	0,41
	MnO	0,72	-0,68	-0,66	0,45	0,24	0,92	1,00	0,69	MnO	0,37	-0,38	-0,42	0,23	0,19	0,89	1,00	0,24
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,95	-0,91	-0,90	0,76	0,32	0,72	0,69	1,00	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,70	-0,72	-0,69	0,56	-0,01	0,41	0,24	1,00
<b>Top Soil</b>	Fe	1,00	-0,82	0,21	-0,44	0,06	-0,33	-0,33	0,13	Fe	1,00	-0,27	0,38	-0,88	0,83	0,61	0,34	0,24
	SiO <sub>2</sub>	-0,82	1,00	0,33	-0,14	0,33	0,68	0,70	-0,38	SiO <sub>2</sub>	-0,27	1,00	0,08	-0,08	-0,09	-0,12	-0,05	-0,10
	MgO	0,21	0,33	1,00	-0,80	0,45	0,48	0,51	-0,60	MgO	0,38	0,08	1,00	-0,55	0,51	0,39	0,26	0,15
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,44	-0,14	-0,80	1,00	-0,73	-0,57	-0,59	0,24	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,88	-0,08	-0,55	1,00	-0,91	-0,60	-0,37	-0,25
	Ni	0,06	0,33	0,45	-0,73	1,00	0,78	0,79	0,20	Ni	0,83	-0,09	0,51	-0,91	1,00	0,75	0,60	0,24
	Co	-0,33	0,68	0,48	-0,57	0,78	1,00	1,00	-0,16	Co	0,61	-0,12	0,39	-0,60	0,75	1,00	0,92	0,02
	MnO	-0,33	0,70	0,51	-0,59	0,79	1,00	1,00	-0,18	MnO	0,34	-0,05	0,26	-0,37	0,60	0,92	1,00	-0,10
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,13	-0,38	-0,60	0,24	0,20	-0,16	-0,18	1,00	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,24	-0,10	0,15	-0,25	0,24	0,02	-0,10	1,00
<b>Limonit</b>	Fe	1,00	-0,93	-0,65	-0,07	-0,29	0,30	0,33	0,54	Fe	1,00	-0,81	-0,49	-0,33	-0,33	-0,06	-0,20	0,10
	SiO <sub>2</sub>	-0,93	1,00	0,72	-0,19	0,37	-0,27	-0,31	-0,56	SiO <sub>2</sub>	-0,81	1,00	0,50	-0,18	0,48	-0,02	0,07	-0,23
	MgO	-0,65	0,72	1,00	-0,49	0,56	-0,13	-0,16	-0,42	MgO	-0,49	0,50	1,00	-0,23	0,38	-0,12	-0,02	-0,13
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,07	-0,19	-0,49	1,00	-0,68	-0,29	-0,31	-0,12	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,33	-0,18	-0,23	1,00	-0,41	-0,07	-0,02	0,21
	Ni	-0,29	0,37	0,56	-0,68	1,00	0,20	0,13	0,14	Ni	-0,33	0,48	0,38	-0,41	1,00	0,26	0,30	-0,10
	Co	0,30	-0,27	-0,13	-0,29	0,20	1,00	0,84	0,22	Co	-0,06	-0,02	-0,12	-0,07	0,26	1,00	0,89	-0,09
	MnO	0,33	-0,31	-0,16	-0,31	0,13	0,84	1,00	0,22	MnO	-0,20	0,07	-0,02	-0,02	0,30	0,89	1,00	-0,09
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,54	-0,56	-0,42	-0,12	0,14	0,22	0,22	1,00	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10	-0,23	-0,13	0,21	-0,10	-0,09	-0,09	1,00
<b>Saprolit</b>	Fe	1,00	-0,65	-0,86	0,74	0,35	0,88	0,94	0,88	Fe	1,00	-0,77	-0,85	0,89	0,34	0,92	0,66	0,92
	SiO <sub>2</sub>	-0,65	1,00	0,26	-0,39	-0,45	-0,64	-0,58	-0,64	SiO <sub>2</sub>	-0,77	1,00	0,41	-0,72	-0,29	-0,70	-0,39	-0,78
	MgO	-0,86	0,26	1,00	-0,79	-0,34	-0,70	-0,79	-0,78	MgO	-0,85	0,41	1,00	-0,78	-0,42	-0,79	-0,64	-0,75
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,74	-0,39	-0,79	1,00	0,24	0,59	0,72	0,79	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,89	-0,72	-0,78	1,00	0,31	0,85	0,63	0,91
	Ni	0,35	-0,45	-0,34	0,24	1,00	0,43	0,28	0,44	Ni	0,34	-0,29	-0,42	0,31	1,00	0,30	0,24	0,34
	Co	0,88	-0,64	-0,70	0,59	0,43	1,00	0,87	0,81	Co	0,92	-0,70	-0,79	0,85	0,30	1,00	0,76	0,82
	MnO	0,94	-0,58	-0,79	0,72	0,28	0,87	1,00	0,83	MnO	0,66	-0,39	-0,64	0,63	0,24	0,76	1,00	0,57
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,88	-0,64	-0,78	0,79	0,44	0,81	0,83	1,00	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,92	-0,78	-0,75	0,91	0,34	0,82	0,57	1,00
<b>Boulder/Bedrock</b>	Fe	1,00	0,41	-0,74	0,27	0,52	0,80	0,75	0,58	Fe	1,00	0,30	-0,82	0,75	0,51	0,79	0,70	0,89
	SiO <sub>2</sub>	0,41	1,00	-0,68	0,16	0,23	0,26	0,39	0,33	SiO <sub>2</sub>	0,30	1,00	-0,63	0,12	0,04	0,47	0,54	0,25
	MgO	-0,74	-0,68	1,00	-0,43	-0,42	-0,47	-0,44	-0,59	MgO	-0,82	-0,63	1,00	-0,63	-0,31	-0,72	-0,66	-0,75
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,27	0,16	-0,43	1,00	0,15	0,07	0,24	0,61	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,75	0,12	-0,63	1,00	0,36	0,65	0,60	0,80
	Ni	0,52	0,23	-0,42	0,15	1,00	0,40	0,38	0,51	Ni	0,51	0,04	-0,31	0,36	1,00	0,31	0,30	0,40
	Co	0,80	0,26	-0,47	0,07	0,40	1,00	0,68	0,45	Co	0,79	0,47	-0,72	0,65	0,31	1,00	0,96	0,72
	MnO	0,75	0,39	-0,44	0,24	0,38	0,68	1,00	0,49	MnO	0,70	0,54	-0,66	0,60	0,30	0,96	1,00	0,66
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,58	0,33	-0,59	0,61	0,51	0,45	0,49	1,00	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,89	0,25	-0,75	0,80	0,40	0,72	0,66	1,00

Tabel 4. Tabel klasifikasi koefisien korelasi hasil analisis multivariat Blok HZ

Angka Korelasi	Tingkat Korelasi	Tipe Unsur Korelasi	Kategori Korelasi Zonasi					
			Semua Zona	Top Soil	Limonite	Saprolite	Boulder/Bedrock	
Positif	Sangat Kuat	Major vs Major	SiO <sub>2</sub> vs MgO	-	-	-	-	
		Major vs Minor	Fe vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	Fe vs Co; Fe vs MnO; Fe vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	
		Minor vs Minor	Co vs MnO	Co vs MnO	Co vs MnO	Co vs MnO; Co vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; MnO vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	
	Kuat	Major vs Major	Fe vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		SiO <sub>2</sub> vs MgO	Fe vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
		Major vs Minor	Fe vs Co; Fe vs MnO; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> vs Co; SiO <sub>2</sub> vs MnO	-	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> vs MnO; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe vs Co; Fe vs MnO; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
		Minor vs Minor	Co vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	
		Minor vs Minor	MnO vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ni vs Co; Ni vs MnO	-	-	Co vs MnO	
	Negatif	Kuat	Major vs Major	SiO <sub>2</sub> vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	Fe vs MgO	Fe vs SiO <sub>2</sub> ; MgO vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe vs MgO; SiO <sub>2</sub> vs MgO
			Major vs Minor	SiO <sub>2</sub> vs Co; SiO <sub>2</sub> vs MnO; MgO vs Co; MgO vs MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> vs Ni	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> vs Ni	SiO <sub>2</sub> vs Co; SiO <sub>2</sub> vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; MgO vs Co; MgO vs MnO; MgO vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-
		Sangat Kuat	Major vs Major	Fe vs SiO <sub>2</sub> ; Fe vs MgO; MgO vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe vs SiO <sub>2</sub> ; MgO vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe vs SiO <sub>2</sub>	Fe vs MgO	-
Major vs Minor			SiO <sub>2</sub> vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; MgO vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	

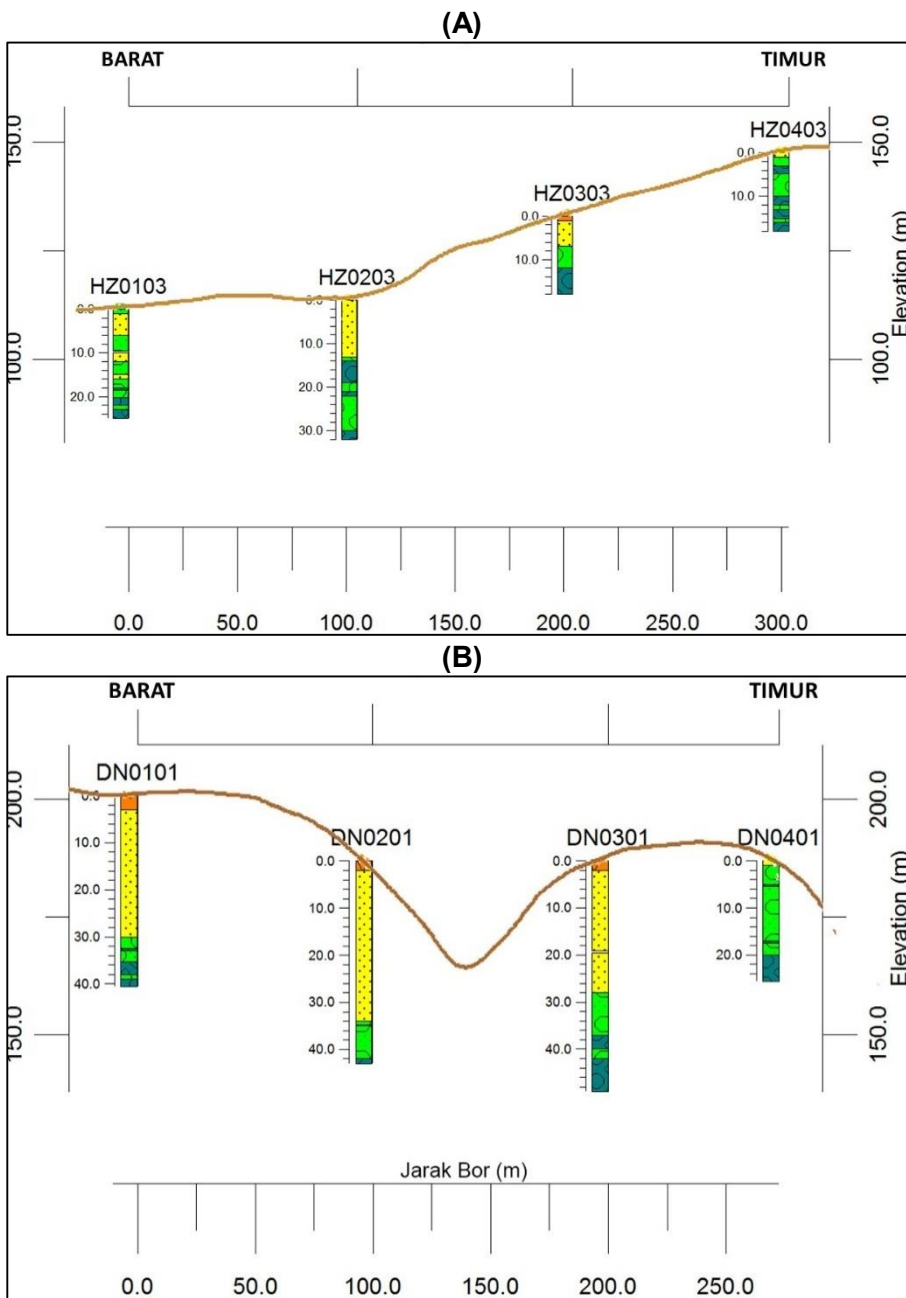
**Tabel 5.** Tabel klasifikasi koefisien korelasi hasil analisis multivariat Blok DN

Angka Korelasi	Tingkat Korelasi	Tipe Unsur Korelasi	Kategori Zonasi				
			Semua Zona	Top Soil	Limonite	Saprolite	Boulder/Bedrock
Positif	Sangat Kuat	Major vs Major	SiO <sub>2</sub> vs MgO	-	-	-	-
		Major vs Minor	Fe vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe vs Ni	-	Fe vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		Minor vs Minor	Co vs MnO	Co vs MnO	Co vs MnO	-	Co vs MnO
	Kuat	Major vs Major	Fe vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	Fe vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		Major vs Minor	Fe vs Co; Fe vs MnO; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe vs Co	-	Fe vs MnO	Fe vs Co; Fe vs MnO
		Minor vs Minor	Co vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; MnO vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ni vs Co, Ni vs MnO	-	-	Co vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; MnO vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Negatif	Kuat	Major vs Major	SiO <sub>2</sub> vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	SiO <sub>2</sub> vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-
		Major vs Minor	SiO <sub>2</sub> vs Co; SiO <sub>2</sub> vs MnO; MgO vs Co; MgO vs MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> vs Co	-	SiO <sub>2</sub> vs Co; MgO vs Co; MgO vs MnO	MgO vs Co; MgO vs MnO
	Sangat Kuat	Major vs Major	Fe vs MgO; Fe vs SiO <sub>2</sub> ; MgO vs Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	Fe vs SiO <sub>2</sub>	Fe vs MgO	Fe vs MgO
		Major vs Minor	MgO vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; SiO <sub>2</sub> vs Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> vs Ni	-	-	-

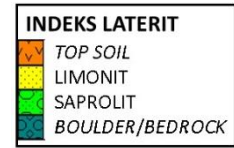
Kriteria korelasi unsur yang dipilih dalam menentukan jumlah unsur adalah minimal 3 korelasi pada masing-masing blok. Hal tersebut ditentukan agar korelasi unsur yang dipilih dapat mewakili terhadap zona lain baik keseluruhan maupun masing-masing zona. Dari hasil pemilihan tersebut, unsur-unsur yang saling berkorelasi baik pada Blok HZ maupun Blok DN terdapat unsur-unsur terdiri dari unsur *major* (Fe, SiO<sub>2</sub> dan MgO dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) serta unsur *minor* (Ni, Co, MnO dan Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Hasil tersebut kemudian dikompilasikan dan diterapkan untuk melakukan interpretasi distribusi profil laterit nikel pada penampang *topsoil* - limonit- saprolit - *boulder/bedrock*. Pada penampang tersebut secara umum tersusun atas *topsoil*, limonit, sisipan saprolit di limonit, sisipan *boulder* di limonit, saprolit, sisipan *boulder* di saprolit, dan diakhiri dengan *boulder/bedrock* berikut contoh penampang yang mewakili pada Blok HZ dan DN (Gambar 8).





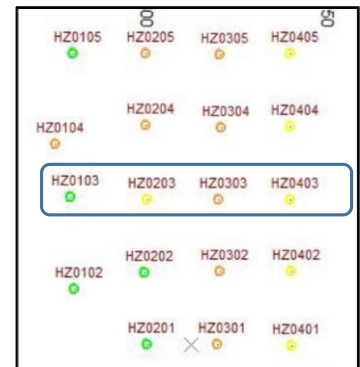
**KETERANGAN:**



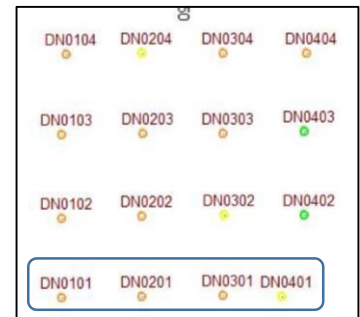
**SKALA :**  
 Horz. : Vert.  
 1 : 2

**INDEKS PENAMPANG**

**Blok HZ**



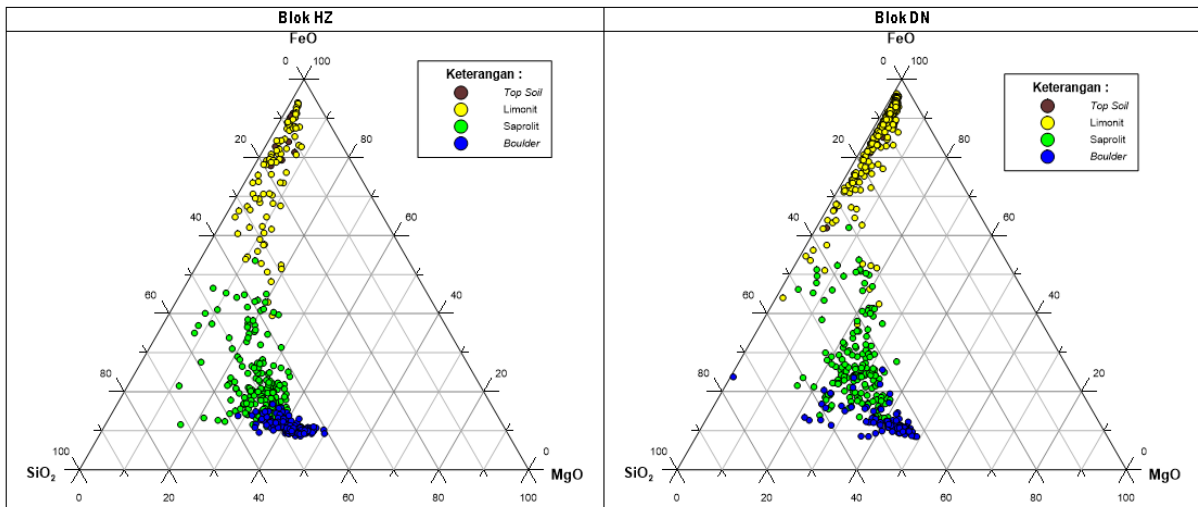
**Blok DN**



**Gambar 8.** Penampang hasil pemboran: A, Blok HZ; B, Blok DN

Pada penampang Blok HZ pada umumnya memiliki susunan laterit nikel relatif tidak teratur dengan kondisi morfologi relatif landai dan miring. Pada penampang Blok DN pada umumnya memiliki susunan laterit nikel relatif tidak teratur pada bagian morfologi miring hingga curam. Namun pada bagian relatif landai memiliki susunan relatif teratur. Adapun pada kondisi relatif landai pada Blok DN memiliki zona limonit relatif tebal.

Agar dapat mengetahui distribusi zona laterit nikel pada blok HZ maupun DN terkait unsur yang saling berkorelasi kuat hingga sangat kuat terutama unsur yang mengandung oksida yang memiliki nilai persentase kimia dominan (FeO, MgO dan SiO<sub>2</sub>) disajikan dalam *ternary diagram* (Gambar 9).



Gambar 9. Ternary diagram distribusi zona laterit nikel Blok HZ dan DN

Diagram tersebut menunjukkan bahwa pada Blok HZ maupun DN, zona *top soil* memiliki kadar FeO relatif tinggi serta kadar SiO<sub>2</sub> dan MgO yang relatif sangat rendah. Pada zona limonit memiliki kadar FeO relatif sedang ke tinggi serta kadar SiO<sub>2</sub> dan MgO relatif rendah. Pada zona saprolit memiliki kadar FeO sedang ke sangat rendah serta kadar SiO<sub>2</sub> relatif sedang ke tinggi dan MgO relatif sedang. Pada zona *boulder/bedrock*, memiliki kadar FeO sangat rendah, serta kadar SiO<sub>2</sub> relatif sedang tinggi dan MgO yang sedang. Namun pada Blok DN ditemukan satu contoh anomali pada zona *boulder/bedrock* yaitu memiliki kadar MgO yang sangat rendah, yang dimungkinkan karena senyawa MgO tersebut masih terlarutkan dalam air tanah.

**PEMBAHASAN**

**Hubungan Zonasi Laterit Nikel Berdasarkan Morfologi**

Berdasarkan kondisi morfologi dengan klasifikasi Van Zuidam (1985), zonasi laterit nikel pada Blok HZ maupun DN pada umumnya menempati morfologi dengan relief sedikit miring hingga sangat curam dengan tampilan peta sebagai berikut (Gambar 10).

Pada Blok HZ secara detail memiliki sedikit wilayah yang landai hingga miring (sedikit bagian timur) kemudian di dominasi oleh

area agak curam (bagian tengah dan timur) hingga curam (bagian utara dan selatan) dan sedikit sangat curam di barat daya blok. Ini berarti bahwa zonasi laterit nikel yang tersusun relatif bervariasi dan tidak sesuai dengan urutan zonasi laterit nikel sehingga terindikasi adanya ketidakteraturan pelapukan. Hal ini dibuktikan dengan masih adanya sisipan saprolit pada limonit ataupun sisipan limonit pada saprolit, maupun sisipan *boulder* pada saprolit ataupun sedikit sisipan saprolit pada *boulder*.

Pada Blok DN yang didominasi oleh area landai hingga miring (utara, tengah, barat, barat daya dan tenggara), sedikit didominasi oleh area curam (utara, timur laut, timur dan sedikit selatan) dan sedikit sangat curam. Ini berarti bahwa zonasi laterit nikel di sebelah barat blok DN relatif terbentuk sesuai urutan zonasi laterit nikel namun masih ada sedikit sisipan *boulder* pada saprolit yang mengindikasikan ketidakteraturan pelapukan pada zona saprolit dikarenakan pengaruh kondisi morfologi di bagian timur Blok DN. Adapun ketidaksesuaian urutan zonasi laterit nikel pada bagian timur Blok DN terjadi karena kondisi geologinya menyerupai Blok HZ.

**Hubungan Zonasi Laterit Nikel Berdasarkan Ketebalan**

Berdasarkan hasil statistik ketebalan yang dibagi berdasarkan blok dan zona laterit

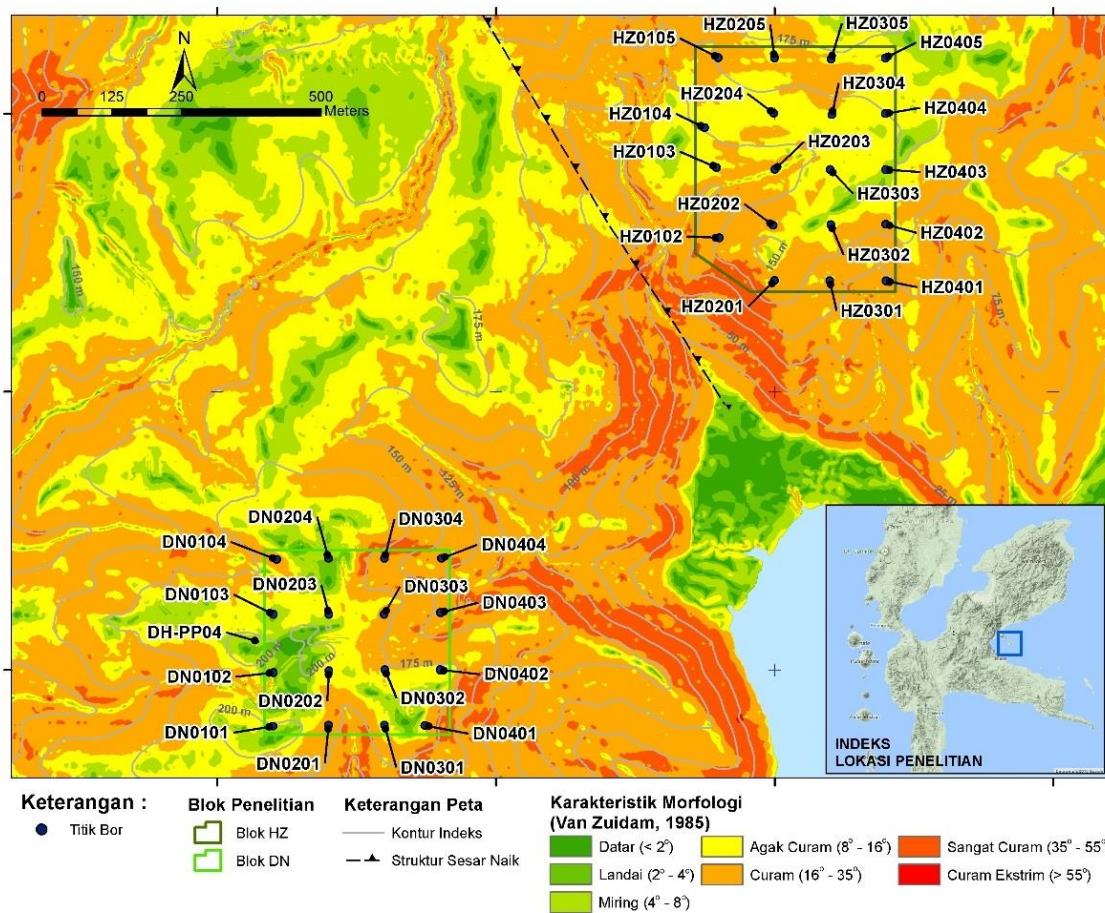
nikel (Tabel 6), pada umumnya masing-masing blok memiliki ketebalan zona yang tidak terdistribusi normal, yang terlihat dari nilai *skewness* dan *kurtosis* serta nilai koefisien variasi (*CoefVar*) > 0,5. Ini berarti bahwa distribusi maupun susunan zona laterit nikel di beberapa titik tidak normal dikarenakan kondisi morfologi. Berdasarkan perbandingan ketebalan zonasi laterit nikel di Blok DN, rata-rata memiliki nilai ketebalan yang lebih tebal dari Blok HZ untuk zonasi laterit nikel secara keseluruhan.

**Hubungan Zonasi Laterit Nikel Berdasarkan Distribusi Kimia**

Berdasarkan hasil analisis statistik univariat maupun multivariat terhadap masing-masing unsur yang terdiri dari unsur *major* (Fe, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan unsur *minor* (Ni, Co, MnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dari hasil analisis statistik univariat pada umumnya unsur-unsur tersebut terdistribusi tidak

normal yang dapat diartikan bahwa distribusi unsur yang dihasilkan tidak homogen dengan nilai koefisien variasi (*CoefVar*) > 0,5.

Adapun dari hasil analisis statistik multivariat (Tabel 4 dan 5) unsur-unsur yang memberikan kontribusi dalam penyusunan zona laterit nikel terdiri dari unsur Fe, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (unsur *major*) dan unsur Co, MnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (unsur *minor*), unsur-unsur tersebut dapat memperlihatkan pola distribusi zonasi laterit nikel. Selain itu dari hasil statistik deskriptif, nilai rata-rata unsur yang dihasilkan pada Blok DN memiliki nilai unsur nikel yang relatif lebih tinggi dari Blok HZ. Adapun unsur lainnya yang kadar rata-ratanya lebih tinggi dari Blok HZ terdiri dari unsur Fe, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Co, MnO dan Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Sedangkan unsur pada Blok DN yang kadar rata-ratanya lebih rendah dari Blok HZ yaitu unsur SiO<sub>2</sub> dan MnO.



**Gambar 10.** Peta Morfologi Blok HZ dan DN Daerah Pulau Pakal

Tabel 6. Statistik ketebalan zona laterit nikel Blok HZ dan DN

Blok	ZONA	N	Mean	Median	StDev	CoefVar	Min	Max	Skewness	Kurtosis	Distribusi
HZ	Top Soil	8	1,38	1,00	0,52	0,38	1,00	2,00	0,64	-2,24	Normal
	Limonite	27	3,28	2,00	3,08	0,94	0,40	13,00	1,71	3,00	Tidak normal
	Saprolite	62	2,80	2,00	2,57	0,92	0,40	12,00	1,95	3,91	Tidak normal
	Boulder/Bedrock	50	2,48	2,00	2,00	0,80	0,25	9,00	1,24	1,46	Tidak normal
DN	Top Soil	11	2,02	2,00	1,31	0,65	0,25	5,00	1,07	1,73	Tidak normal
	Limonite	21	17,59	10,00	16,90	0,96	1,00	49,60	0,68	-0,95	Tidak normal
	Saprolite	37	4,02	2,35	3,95	0,98	0,25	18,30	1,71	3,43	Tidak normal
	Boulder/Bedrock	35	2,12	1,00	2,23	1,05	0,30	7,60	1,32	0,57	Tidak normal

**KESIMPULAN**

Hasil pemboran pada litologi harzburgit dan dunit berdasarkan hasil analisis petrologi (megaskopik, mikroskopik dan XRD) pada EOH (*end of hole*)/meter akhir conto pemboran bersesuaian dengan hasil analisis kimia untuk setiap Blok HZ dan Blok DN). Hasil analisis petrologi pada blok HZ menunjukkan mineral berkomposisi dominan olivin forsterit dan piroksen, sedikit orthopiroksen, generasi awal batuan ultrabasa, berasosiasi dengan mineral opak kromit, kromit, terubah hidrotermal 1 (Rinawan, 2013) dicirikan adanya mineral serpentin krisotil. Pada blok DN mineral yang ditemukan berkomposisi dominan olivin forsterit dan sangat sedikit piroksen, generasi awal batuan ultrabasa, berasosiasi dengan mineral kromit, dicirikan adanya mineral serpentin krisotil.

Berdasarkan hasil analisis kimia secara keseluruhan memiliki unsur kimia yang terdistribusi relatif tidak normal, namun dari hasil analisis tersebut dapat menunjukkan perkembangan laterit yang berbeda antara Blok HZ dan Blok DN dapat ditunjukkan dengan nilai unsur Nikel berpotensi/relatif tinggi yang berkembang pada zona saprolit. Pada Blok HZ memiliki nilai rata-rata lebih kecil daripada Blok DN dimana menunjukkan bahwa distribusi nikel di litologi harzburgit lebih sedikit dari pada litologi dunit.

Berdasarkan kondisi morfologi didominasi oleh agak curam (8° – 16°) hingga curam (16° – 35°) serta sedikit landai (2° – 4°) hingga miring (4° – 8°) dimana dapat mempengaruhi distribusi kadar unsur *major* (Fe, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan *minor* (Ni, Co, MnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) pada masing-masing blok yang dibuktikan pada hasil statistik ditemukan nilai koefisien variasi > 0,5 dimana distribusi kadar pada unsur tersebut secara keseluruhan terdistribusi tidak normal atau tidak homogen.

Hasil analisis multivariat pada Blok HZ dan Blok DN terhadap unsur *major* dan unsur *minor* untuk keseluruhan maupun masing-masing zona menunjukkan bahwa unsur-unsur yang berpotensi memberikan kontribusi dalam penyusunan zona laterit nikel pada Blok HZ maupun Blok DN terdiri dari Fe, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (unsur *major*) dan Co, MnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (unsur *minor*). Unsur-unsur tersebut yakni memiliki hubungan asosiasi dan resistensi unsur yang kuat hingga sangat kuat sehingga dapat berpotensi memperlihatkan pola penyusunan zona laterit nikel.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada PT Aneka Tambang Tbk. Unit Geomin yang telah memberikan tempat dan data untuk melaksanakan penelitian serta semua pihak yang telah membantu secara

langsung maupun tidak langsung dalam penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

Ahmad, W., 2006, Laterites: fundamentals of chemistry, mineralogy, weathering processes, and laterite formation. PT INCO. 212 hal.

Apandi dan Sudana., 1980, Peta lembar Ternate, Maluku Utara. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Augusman, R. T., 2009, Analisis ketidakpastian dalam estimasi sumber daya nikel laterit menggunakan metode geostatistik, studi kasus endapan nikel laterit di Pulau Pakal, Halmahera Timur, Maluku Utara. Tesis. Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Brand, N. M., Butt C. R. M. and Elias, M., 1998, Nickel laterites: classification and features. AGSO Journal of Australia Geology and Geophysics, Australia 17;81-88.

Elias, M., 2001, Global lateritic nickel resources. New Caledonian Nickel Conference. Pty Ltd CSA, Australia.

Elias, M., Butt. C. R. M., 2003, Nickel lateritic: A. Review. SEG Newsletter 54; 9-15.

Harraz, H. Z., 2015, Topic 8: Residual (eluvial or laterite) mineral deposits. 09 Desember 2015. <http://www.slideshare.net/hzharraz/residualmineral-deposits>.

Harris, R., 2003, Geodynamic patterns of ophiolites and marginal basins in the Indonesian and New Guinea Regions. *Geological Society, London, Special Publications*, 218 (1), pp.481-505.

Ishiwatari, A., 1994, Circum-Pacific Phanerozoic multiple ophiolite belts. In *Circum-Pacific Ophiolites (Proceedings of the 29th IGC Ophiolite Symposium)* (pp. 7-28).

Kadarusman, A., 2001, Geodynamic of Indonesian region; a petrological approaches. unpublished PhD Thesis. Tokyo Institute of Technology.456p.

Rinawan, F. I. W., Rosana, M. F., Patonah A., Agustini, S., 2013, Batuan ultramafik dan keterdapatan laterit nikel di Pulau Pakal, Kabupaten Halmahera Timur, Maluku Utara. Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Bandung.

Sinclair, A. J., Blackwell, G. H. 2004, Applied mineral inventory estimation. Cambridge University Press, Cambridge.

Sugiyono. 1999, Statistik Untuk Penelitian. CV Alfabeta, Bandung.

Syafrizal, Heriawan, M. N., Notosiswoyo, S., Anggayana, K., Samosir, J. F., 2009, Hubungan kemiringan lereng dan morfologi dalam distribusi ketebalan horizon laterit pada endapan nikel laterit, studi lasus endapan laterit nikel Pulau Gee dan Pulau Pakal, Halmahera Timur, Maluku Utara. JTM Vol. XVI No. 3/2009.

Van Zuidam, R. A. 1985, Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. Smits Publishers. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.

Diterima	: 17 September 2018
Direvisi	: 24 September 2018
Disetujui	: 29 November 2018