



## Derajat Lateritisasi dan Pengkayaan Fe-Ni-Co Pada Batuan Harsburgit di Pulau Sebuku Kalimantan Selatan

### *Degree of Lateritization and Fe-Ni-Co Enrichment in Harsburgite Rocks on Sebuku Island, South Kalimantan*

Fasya Zahra Fauziyyah Ramdani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung  
Email: Fasyaswork@gmail.com

#### INFO ARTIKEL

#### ABSTRAK

#### Kata Kunci:

harsburgit, derajat lateritisasi, limonit, saprolit, Fe-Ni-Co.

Iklim tropis di Indonesia menyebabkan tingginya tingkat pelapukan kimiawi atau lateritisasi pada batuan ultrabasa menghasilkan pengkayaan unsur-unsur logam ekonomis diantaranya Fe, Ni, dan Co yang terakumulasi pada zona limonit maupun saprolit. Penelitian ini dilakukan di Pulau Sebuku yang didominasi oleh batuan ultramafik diantaranya adalah harsburgit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh derajat lateritisasi pada zona limonit, saprolit, dan batuan asal terhadap pengkayaan Fe, Ni, dan Co. Sebanyak 95 sampel diambil dari 9 lubang bor dianalisis menggunakan XRF untuk mengetahui unsur utama dan unsur ekonomis. Derajat lateritisasi dihitung dari kandungan  $\text{SiO}_2$  dibagi dengan akumulasi total  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  atau S/SAF index menggambarkan intensitas dari reaksi kimia. Nilai terendah dari S/SAF index menunjukkan derajat lateritisasi yang lebih tinggi. Masing-masing zona limonit, saprolite, dan batuan dasar memiliki nilai indeks S/SAF berkisar dari 0,16–0,58 (lateritisasi kuat), 0,27–0,85 (lateritisasi sedang-kaolinisasi), dan

0,77-1,24 (batuan induk). Zona dengan derajat lateritisasi kuat mengandung kadar Fe antara 36-51%, Ni 0,80–1,38%, dan Co 0,07-1,17 %. Harsburgit mengandung kadar Fe 4,86–7,99 %, Ni 0,20-1,76 %, dan Co 0,005-0,015 %. Derajat lateritisasi di zona limonit lebih tinggi dibandingkan dengan zona saprolit dan batuan dasar harsburgit disebabkan oleh dekomposisi dari mineral silika, pembentukan mineral sekunder pembawa besi dan aluminium oksida-hidroksida. Derajat lateritisasi memiliki hubungan positif dengan pengkayaan Fe dan Co, tetapi tidak berkorelasi terhadap pengkayaan Ni.

---

## ARTICLE INFO

## ABSTRACT

---

### Keywords:

harzburgite, degree of lateritization, limonite, saprolite, Fe-Ni-Co

*The tropical climate in Indonesia causes a high level of chemical weathering or lateritization of ultramafic rocks, which results in the enrichment of economic elements such as Fe, Ni, and Co. These elements accumulate in the limonite and saprolite zones. This research was conducted on Sebuku Island, which is composed of ultramafic rocks, especially harzburgite. This study aims to determine the effect of the degree of lateritization in the limonite, saprolite, and bedrock zones on the enrichment of economic elements. A number of 95 samples were collected from 9 drill holes and analyzed using XRF to determine the main and economic elements. The degree of lateritization is calculated from the  $\text{SiO}_2$  content divided by the total accumulation of  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  resulting in the S/SAF index which describes the intensity of the chemical reaction. The lowest value of the S/SAF index, indicates a higher degree of lateritization. Each limonite, saprolite, and bedrock zone has S/SAF index values ranging from 0.16–0.58 (strong lateritization), 0.27-0.85 (medium lateritization-kaolinization), and 0.77-1.24 (mother rock). The zone with a strong degree of lateritization contains Fe levels between 36-51%, Ni 0.80-1.38%, and Co 0.07-1.17%. The bedrock contains 4.86–7.99% Fe, 0.20-1.76% Ni, and 0.005-0.015% Co. The degree of lateritization in the limonite zone is*

*higher than in the saprolite and bedrock zones. The decomposition of silica minerals causes this to form the iron and aluminum oxide-hydroxide bearing minerals. The degree of lateritization has a positively correlates with the enrichment of Fe and Co. However, the distribution of high Ni is not correlated with the index of lateritization.*

---

## 1. PENDAHULUAN

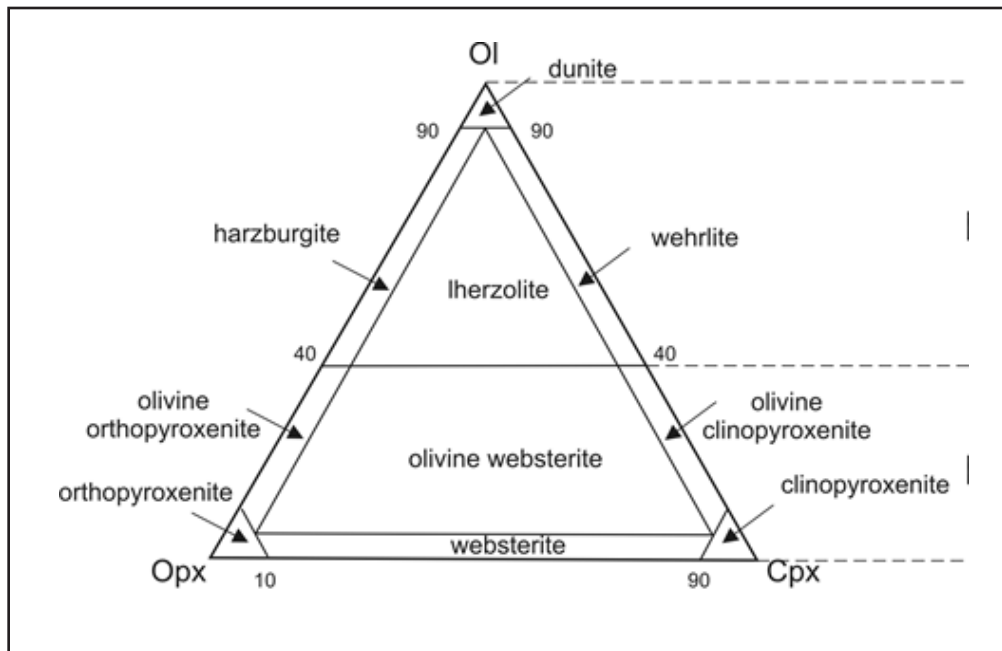
Proses lateritisasi merupakan suatu proses pelapukan mekanis dan pelapukan kimiawi yang berjalan bersama secara pervasif pada batuan asal. Proses pelapukan tersebut terjadi dalam kondisi iklim tropis sampai sub-tropis yang lembab pada masa lampau ataupun saat ini (Robb, 2005; Marsh dr, 2013; Butt & Cluzel, 2013). Proses rombakan, hidrasi, hidrolisis dan oksidasi menyebabkan ubahan pada komposisi batuan asal dan membentuk regolith yang cukup tebal dengan karakteristik tertentu (Robb, 2005). Proses lateritisasi terhadap batuan asal ultrabasa akan mengakibatkan pengkayaan beberapa unsur ekonomis seperti besi (Fe), nikel (Ni), dan kobal (Co).

Batuan ultrabasa merupakan bagian utama dari kerak samudera yang bila tersingkap di permukaan dikenal sebagai kompleks ofiolit. Batuan ini disusun oleh lebih dari 90% mineral-mineral mafik, yaitu mineral dengan komposisi unsur magnesium (Mg) dan besi (Fe) berupa olivin, ortopiroksin, klinopiroksin,

dan hornblende. **Gambar 1** menunjukkan klasifikasi batuan ultrabasa berdasar komposisi olivin, ortopiroksin, dan klinopiroksin (Streickeisen, 1973). Batuan ultrabasa yang mengalami metamorfosa akan membentuk batuan serpentinit.

Lateritisasi pada batuan ultrabasa pada umumnya menghasilkan profil bijih dari bagian bawah setelah batuan dasar berupa saprolit dan limonit yang pada bagian atasnya ditutupi *fericrete* (Robb, 2005; Marsh dr., 2013).

Lokasi penelitian Banjar Asri Utara berada di Pulau Sebuku yang merupakan kompleks ofiolit yang mengandung batuan ultrabasa sebagai salah satu batuan penyusunnya (**Gambar 2**). Neraca sumber daya mineral PSDMBP pada tahun 2022 menunjukkan bahwa cadangan bijih besi laterit di daerah Kalimantan Selatan memiliki sumber daya sebesar 585 juta wmt dan cadangan sebesar 444 juta wmt (PSDMBP, 2022). Secara administratif berada di dalam wilayah Kecamatan Pulau Sebuku, Kabupaten Kotabaru, Provinsi Kalimantan



**Gambar 1.** Klasifikasi batuan ultrabasa berdasarkan (Streckeisen, 1973). Batuan ultrabasa dengan komposisi olivin dibawah 40% dikelompokkan sebagai piroksenit, dan yang >40% dikelompokkan sebagai peridotite. Ol = olivine, Opx= ortopyroksin, Cpx= clinopyroksin.

Selatan dan masuk dalam area Izin Usaha Pertambangan PT Sebuku Iron Lateritic Ores (PT SILO).

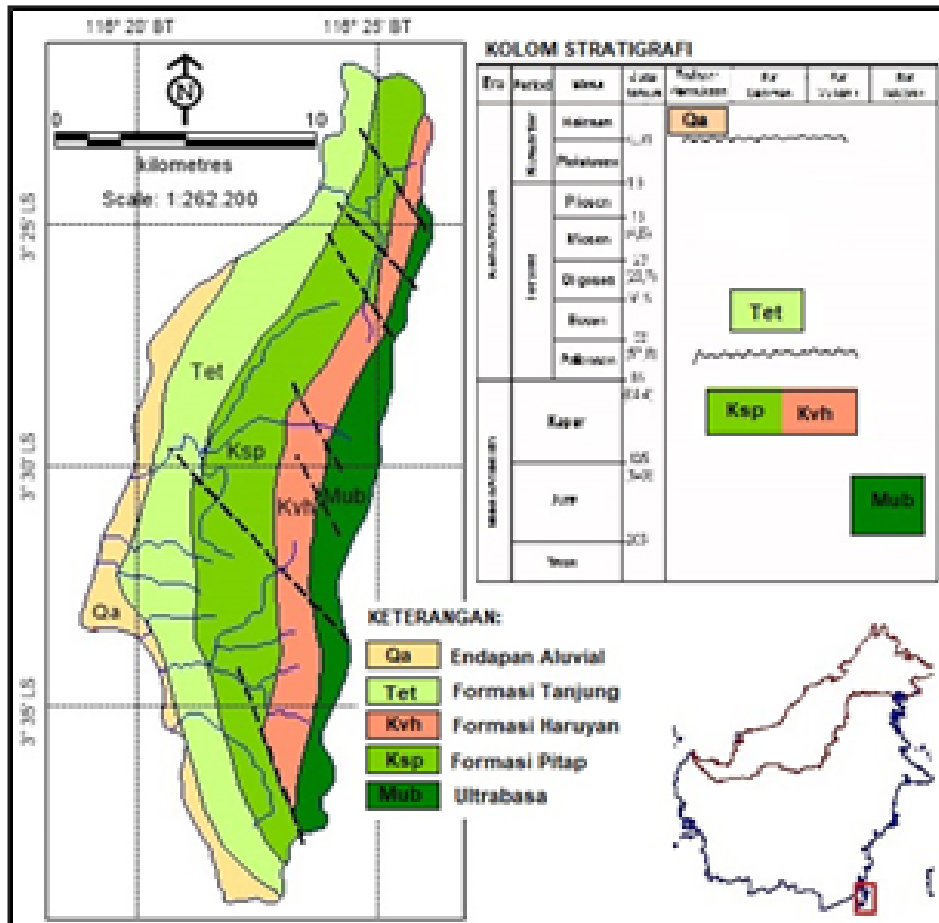
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pengaruh dari derajat lateritisasi pada batuan ultrabasa daerah penelitian dengan pengkayaan beberapa unsur ekonomis yang terkandung di dalamnya. Dengan mengetahui derajat lateritisasi kita dapat mengetahui kandungan besi yang terkandung pada zona limonit, karena semakin tinggi derajat lateritisasi artinya proses pencucian atau pemisahan antara mineral *mobile* dan *immobile* akan semakin baik. Sehingga dalam proses penambangan dan

pengolahan akan meningkatkan produktivitas secara signifikan, hal ini disebabkan karena endapan laterit tersebut telah melalui proses pelapukan yang terjadi secara terus-menerus.

## 2. GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Berdasarkan peta geologi regional lembar Kotabaru (Rustandi, drr, 1995), Pulau Sebuku tersusun oleh empat satuan/ formasi batuan dengan urutan stratigrafi dari tua ke muda adalah satuan batuan ultrabasa, Formasi Pitab, Formasi Haruyan, dan Formasi Tanjung serta endapan aluvial (**Gambar 2**).

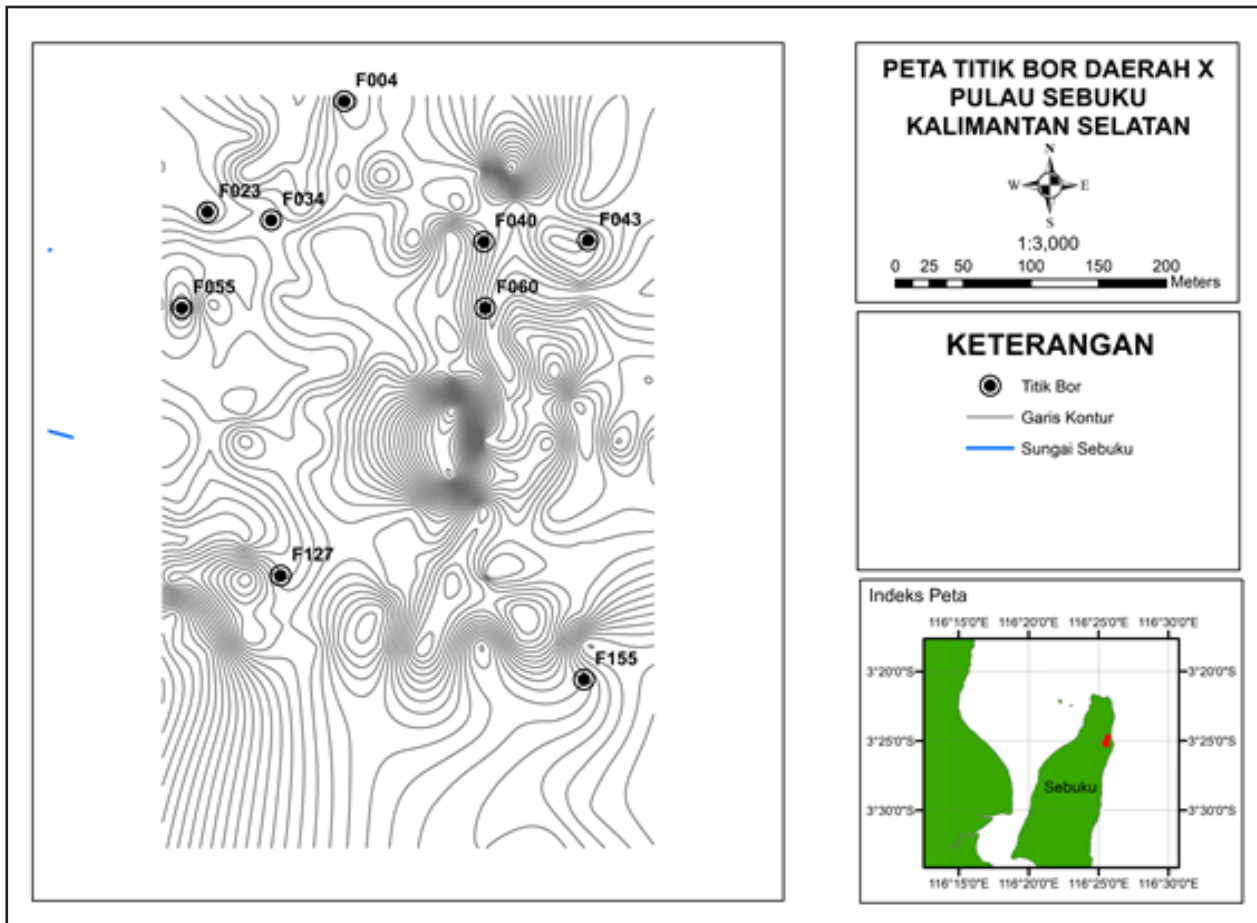
Satuan batuan ultrabasa (Mub) merupakan batuan dasar berumur Jura yang diperkirakan



Gambar 2. Peta lokasi dan geologi regional daerah penelitian. (Rustandi drr., 1995).



Gambar 3. Profil laterit di daerah penelitian.



Gambar 4. Peta lokasi pemboran daerah penelitian

bagian dari kerak samudra yang terdiri dari lerzolit, harsburgit, dunit, gabro, basal, dan serpentinit yang umumnya telah terserpentinkan. Formasi Pitap (Ksp) berumur Kapur yang terdiri dari perselingan batupasir, batulanau, konglomerat dengan sisipan batugamping dan breksi aneka bahan.

Formasi Haruyan (Kvh) terdiri dari lava basal, breksi gunungapi dan tufa, formasi ini yang secara horizontal menjemari dengan Formasi Pitap. Formasi Tanjung (Tet), berumur Eosen merupakan perselingan antara

konglomerat, batupasir, batulanau dengan sisipan serpih, dan batubara dan batugamping, secara tidak selaras menutup Formasi Pitap.

Endapan aluvial (Qa) terdiri dari aluvial sungai, endapan rawa, dan endapan pantai yang merupakan endapan permukaan yang menempati dataran pantai dan sepanjang sungai berupa endapan pasir dan lumpur. Struktur geologi yang berkembang di daerah ini yang berkembang adalah sesar dengan arah umum sebarannya barat laut–tenggara.

Seperti halnya endapan laterit pada

umumnya, profil laterit di daerah penelitian dipisahkan menjadi 3 zona yaitu zona utama yaitu saprolite, limonit, dan *fericrete* (**Gambar 3**). Secara detil zona saprolit dibedakan menjadi *hard saprolite*, *rocky saprolite*, *saprolite*, dan *earthy saprolite*. Zona limonit bisa dipisahkan menjadi 2 yaitu limonit kuning dan limonit merah.

### 3. SAMPEL DAN METODE PENELITIAN

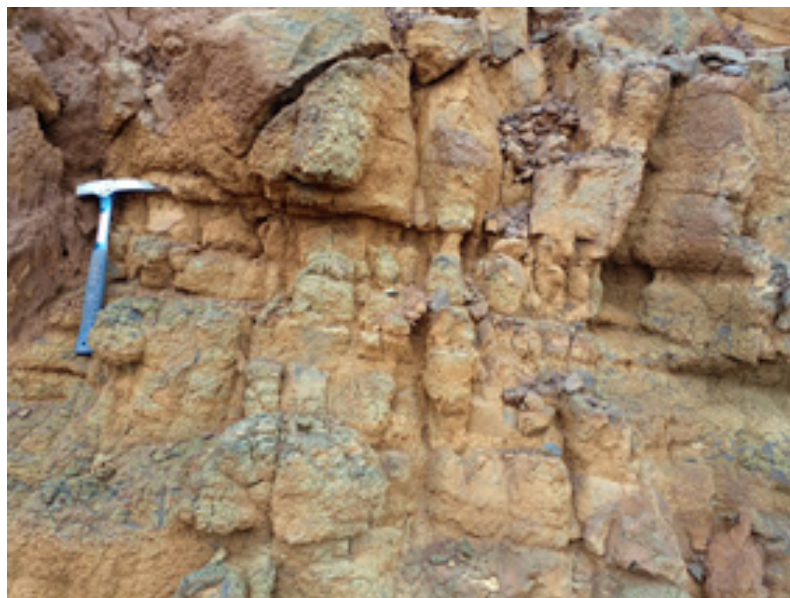
Pemboran dilakukan pada 9 titik dengan variasi kedalaman. Sebanyak 95 sampel inti bor diambil dari batuan dasar, zona saprolit, dan zona limonit masing-masing sebanyak 35, 33, dan 27 sampel. Analisis geokimia dengan metode X-Ray *Fluorescence* (XRF) dilakukan menggunakan alat S8 Tiger Bruker di Laboratorium PT SILO, Sebuku. Satu sampel

batuan dasar dilakukan analisis petrografi menggunakan Stereomikroskop Binokuler Carl Zeiss V-20 di Laboratorium Politeknik Energi dan Pertambangan, Bandung.

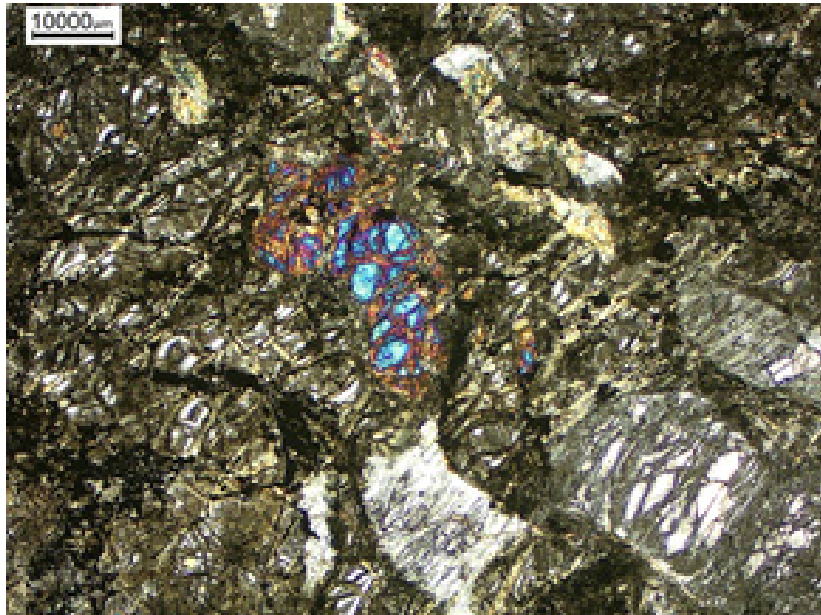
## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Petrografi

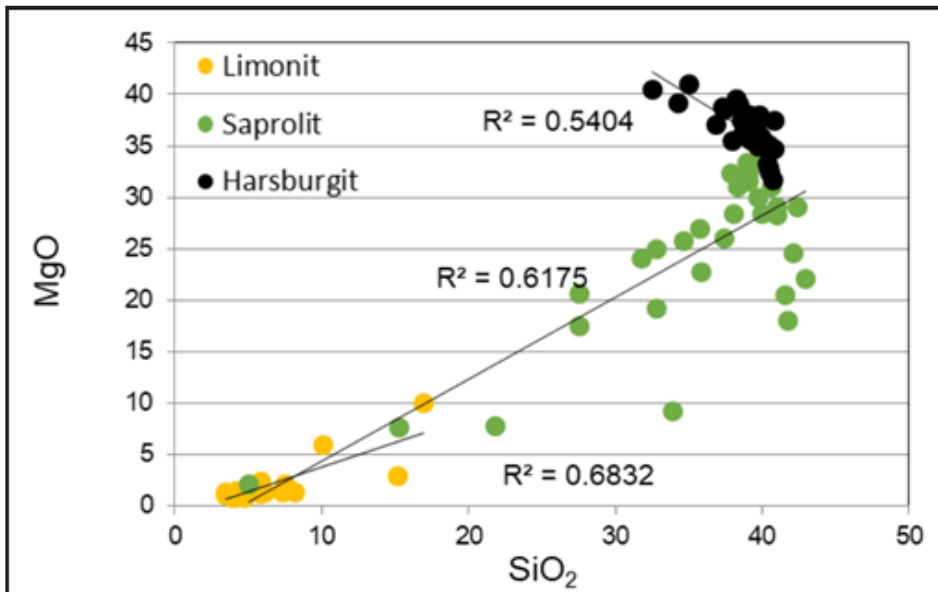
Singkapan batuan dasar ultrabasa secara intensif terpotong oleh sesar dan rekahan sehingga mempercepat proses pelapukan karena resapan air dan oksidasi (**Gambar 4**). Analisis petrografi batuan asal dari inti pemboran menunjukkan batuan harsburgit yang sudah mengalami serpentinisasi kuat (**Gambar 5**). Batuan memiliki tekstur holokristalin, porfiritik dengan bentuk butir anhedral–sub hedral. Mineral penyusun batuan adalah olivin, klinopiroksen, ortopiroksen, antigorite, lizardit,



**Gambar 5.** Singkapan harsburgit di lokasi penelitian



Gambar 6. Fotomikrografi harsburgit



Gambar 7. Perbandingan MgO vs SiO<sub>2</sub>

**Tabel 1.** Hasil analisis XRF unsur-unsur utama (dalam %) dan perhitungan derajat lateritisasi.

Titik Bor	Zona	Kedalaman (m)	FeO	NI0	AL2O3	P2O5	SiO2	MgO	Cr2O3	MnO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	SO2	Fe2O3	Fe	Ni	Co	SAF	S/SAF	MgO/SiO2
CB005	Limonit	0 - 1	63.55	1.06	7.56	0.11	4.11	0.85	3.09	0.71	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	72.12	49.39	0.83	0.07	83.79	0.05	0.21
		1 - 2.0	62.10	1.28	3.99	0.09	5.41	1.76	3.12	1.03	0.04	0.01	0.01	0.01	0.19	0.01	70.48	48.27	1.01	0.10	79.89	0.07
	Saprolit	2 - 2.4	30.39	1.03	4.83	0.03	27.51	20.70	1.62	0.51	0.16	0.04	0.01	0.06	0.01	59.67	23.62	0.81	0.05	92.00	0.30	0.75
CB016	Limonit	0 - 1	64.93	1.25	6.03	0.12	3.90	0.88	3.37	0.88	0.01	0.01	0.01	0.16	0.01	73.69	50.47	0.98	0.10	83.63	0.05	0.22
		1 - 1.5	64.75	1.49	6.31	0.09	4.08	1.07	2.30	0.99	0.01	0.01	0.01	0.16	0.01	73.49	50.33	1.17	0.11	83.87	0.05	0.26
	Saprolit	1.5 - 2	11.70	1.58	0.87	0.01	39.04	32.37	0.63	0.18	0.27	0.17	0.01	0.01	0.01	13.28	9.10	1.24	0.02	53.19	0.73	0.83
CB089	Limonit	0 - 1	64.33	1.40	5.87	0.12	4.28	0.96	3.83	1.05	0.00	0.01	0.01	0.14	0.01	73.02	50.00	1.10	0.12	83.16	0.05	0.22
		1 - 1.6	65.12	1.76	5.40	0.09	4.69	1.18	3.70	1.14	0.00	0.01	0.01	0.13	0.01	73.91	50.62	1.38	0.12	84.00	0.06	0.25
	Harsburgit	1.6 - 2.6	9.15	0.92	0.60	0.01	38.69	36.25	0.39	0.14	0.17	0.19	0.01	0.01	0.01	8.35	7.11	0.72	0.01	47.64	0.81	0.94
CB105	Limonit	0 - 0.48	57.75	1.21	7.67	0.10	6.12	1.37	3.03	0.82	0.03	0.01	0.01	0.18	0.01	65.55	44.89	0.95	0.10	79.33	0.08	0.22
		0.48 - 1.25	61.70	1.31	8.15	0.08	4.73	0.80	3.09	1.07	0.00	0.01	0.01	0.18	0.01	70.02	47.96	1.03	0.13	82.91	0.06	0.17
	Saprolit	1.25 - 2	60.87	1.68	7.08	0.05	5.90	2.43	3.28	1.00	0.00	0.01	0.02	0.14	0.01	69.09	47.32	1.32	0.11	82.07	0.07	0.41
CB113	Limonit	2 - 2.3	45.21	1.77	6.44	0.03	16.95	9.99	2.93	0.77	0.02	0.01	0.01	0.11	0.01	51.31	35.14	1.39	0.08	74.69	0.23	0.59
		2.3 - 2.6	54.71	1.67	6.73	0.04	10.06	5.88	3.22	0.90	0.00	0.01	0.01	0.13	0.01	62.10	42.53	1.31	0.09	78.89	0.13	0.58
	Saprolit	2.6 - 2.81	31.61	1.69	4.83	0.01	27.51	17.50	2.03	0.50	0.03	0.01	0.01	0.08	0.01	35.88	24.57	1.33	0.05	68.22	0.40	0.64
CB158R	Limonit	2.81 - 3.2	17.84	1.48	3.38	0.01	35.73	26.92	1.12	0.27	0.11	0.11	0.01	0.05	0.01	20.24	13.86	1.16	0.03	59.36	0.60	0.75
		3.2 - 3.55	11.75	1.23	2.53	0.01	39.11	31.49	0.73	0.16	0.29	0.16	0.01	0.03	0.01	13.33	9.13	0.97	0.02	54.97	0.71	0.81
	Harsburgit	3.55 - 3.85	15.52	1.26	2.78	0.01	38.10	28.34	0.89	0.21	0.26	0.14	0.01	0.03	0.01	17.62	12.06	0.99	0.02	58.49	0.65	0.74
CB123	Limonit	3.85 - 4.3	9.01	0.81	1.41	0.01	40.08	34.93	0.74	0.12	0.34	0.18	0.01	0.01	0.01	10.22	7.00	0.64	0.01	51.71	0.78	0.87
		4.3 - 5	6.58	0.29	0.57	0.01	40.80	37.44	0.53	0.09	0.80	0.22	0.01	0.01	0.01	7.46	5.11	0.23	0.01	48.83	0.84	0.92
	Saprolit	5 - 5.5	6.93	0.26	0.59	0.01	39.18	37.97	0.55	0.10	0.87	0.19	0.01	0.01	0.01	7.86	5.38	0.21	0.01	47.63	0.82	0.97
CB158R	Limonit	0 - 1	65.21	1.23	5.77	0.12	3.91	0.80	5.64	1.01	0.06	0.01	0.01	0.14	0.01	74.01	50.68	0.97	0.12	83.69	0.05	0.21
		1 - 2.0	65.50	1.45	4.75	0.06	3.48	1.34	6.23	1.24	0.00	0.01	0.01	0.10	0.01	74.34	50.91	1.14	0.18	82.58	0.04	0.38
	Saprolit	2 - 2.3	64.20	1.82	3.62	0.06	5.04	2.15	5.90	1.25	0.00	0.01	0.01	0.08	0.01	72.87	49.90	1.43	0.23	81.52	0.06	0.43
CB158R	Limonit	2.3 - 3	24.01	2.44	0.90	0.01	31.79	24.07	2.46	0.38	0.00	0.06	0.01	0.01	0.01	27.25	18.66	1.91	0.06	59.95	0.53	0.76
		3 - 3.6	20.32	2.10	0.88	0.01	34.69	25.73	2.47	0.31	0.00	0.08	0.01	0.01	0.01	23.06	15.79	1.65	0.03	58.64	0.59	0.74
	Harsburgit	3.6 - 4	9.49	0.65	0.38	0.01	39.18	35.60	0.65	0.13	0.00	0.18	0.01	0.01	0.01	8.66	7.38	0.51	0.01	48.21	0.81	0.91
CB158R	Limonit	4 - 4.25	9.80	0.67	0.68	0.01	38.01	35.44	1.24	0.13	0.03	0.23	0.01	0.01	0.01	11.13	7.62	0.53	0.01	49.82	0.76	0.93
		4.25 - 4.8	9.66	0.38	0.29	0.01	36.86	37.05	0.27	0.14	0.03	0.17	0.01	0.01	0.01	10.96	7.51	0.30	0.02	48.11	0.77	1.00
	Saprolit	4.8 - 5	8.37	0.32	0.39	0.01	34.30	39.18	0.45	0.11	0.15	0.19	0.01	0.01	0.01	7.38	6.50	0.25	0.01	42.08	0.82	1.14
CB158R	Limonit	5 - 6.0	8.38	0.30	0.64	0.01	32.53	40.46	0.80	0.11	0.26	0.19	0.01	0.01	0.01	9.51	6.51	0.23	0.01	42.67	0.76	1.24

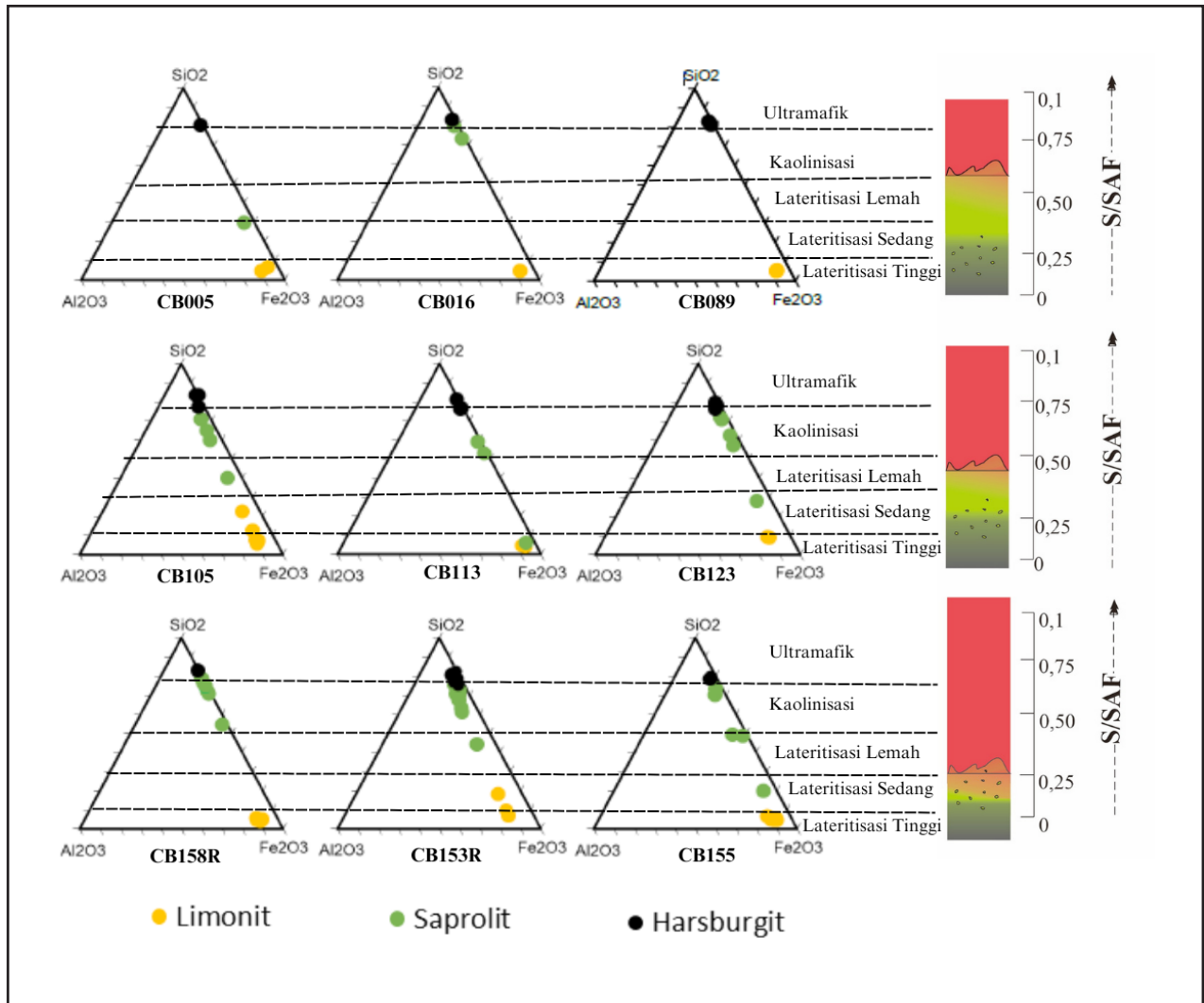
**Tabel 1.** Lanjutan:

Hasil analisis XRF unsur-unsur utama (dalam %) dan perhitungan derajat lateritisasi.

Titik Bor	Zona	Kedalaman (m)	FeO	NI0	AL2O3	P2O5	SiO2	MgO	Cr2O3	MnO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	SO2	Fe2O3	Fe	Ni	Co	SAF	S/SAF	MgO/SiO2
CB123	Limonit	0 - 1	56.82	1.20	8.61	0.10	7.29	1.35	2.96	1.22	0.06	0.01	0.01	0.18	0.01	64.49	44.17	0.94	0.12	80.40	0.09	0.19
		1 - 1.39	57.18	1.46	9.24	0.08	7.54	2.11	2.93	1.46	0.08	0.01	0.01	0.18	0.01	64.90	44.45	1.15	0.13	81.69	0.09	0.28
	Saprolit	1.89 - 2.35	43.97	2.22	5.52	0.03	21.79	7.79	2.33	0.75	0.23	0.01	0.01	0.10	0.01	49.90	34.18	1.74	0.07	77.21	0.28	0.36
CB158R	Limonit	2.35 - 3	21.33	2.03	2.65	0.01	35.89	22.76	1.26	0.37	0.17	0.08	0.01	0.03	0.01	24.21	16.58	1.59	0.03	62.76	0.57	0.63
		3 - 3.44	12.96	1.50	1.62	0.01	39.72	29.90	0.78	0.21	0.50	0.18	0.01	0.01	0.01	14.71	10.07	1.18	0.02	56.05	0.71	0.75
	Saprolit	3.44 - 3.72	18.15	1.74	1.71	0.01	37.41	25.96	1.30	0.33	0.12	0.12	0.01	0.01	0.01	20.59	14.10	1.37	0.03	59.71	0.63	0.69
CB158R	Limonit	4 - 4.6	11.97	1.15	1.61	0.01	38.79	31.53	0.72	0.20	0.13	0.17	0.01	0.01	0.01	13.58	9.30	0.90	0.02	53.98	0.72	0.81
		1.39 - 1.89	9.39	1.69	1.72	0.01	40.44	32.78	0.49	0.15	0.95	0.23	0.01	0.01	0.01	10.66	7.30	1.33	0.01	52.82	0.77	0.81
	Harsburgit	3.72 - 4	9.13	1.13	0.76	0.01	39.76	34.92	0.49	0.14	0.08	0.23	0.01	0.01	0.01	10.36	7.10	0.89	0.01	50.89	0.78	0.88
CB158R	Limonit	4.6 - 5	8.50	0.80	1.07	0.01	39.39	35.48	0.46	0.13	0.16	0.19	0.01	0.01	0.01	9.64	6.61	0.63	0.01	50.11	0.79	0.90
		5.0 - 6.0	7.66	0.27	0.78	0.01	37.42	38.45	0.37	0.11	0.49	0.20	0.01	0.01	0.01	8.69	5.95	0.22	0.01	46.90	0.80	1.03
	Saprolit	0 - 0.5	60.60	1.12	8.35	0.10	4.61	1.25	3.54	0.72	0.02	0.01	0.01	0.16	0.01	68.78	47.11	0.88	0.08	81.75	0.06	0.27
CB158R	Limonit	0.5 - 1	63.04	1.08	8.83	0.07	4.00	1.09	3.57	0.83	0.01	0.01	0.01	0.17	0.01	71.55	49.00	0.85	0.10	84.38	0.05	0.27
		1 - 2.0	64.50	1.19	7.75	0.06	3.45	1.09	3.61	0.90	0.01	0.01	0.01	0.15	0.01	73.21	50.14	0.94	0.10	84.41	0.04	0.32
	Saprolit	2 - 2.25	64.16	1.52	6.44	0.04	4.24	1.46	3.97	1.04	0.01	0.01	0.01	0.13	0.01	72.83	49.88	1.20	0.11	83.51	0.05	0.35
CB158R	Limonit	2.25 - 3	22.49	2.36	1.51	0.02	32.81	24.98	1.46	0.37	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	25.53	17.48	1.86	0.04	59.84	0.55	0.76
		3 - 4.0	13.37	2.12	0.63	0.01	38.30	31.06	1.03	0.22	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	15.17	10.39	1.66	0.03	54.10	0.71	0.81
	Saprolit	4 - 4.5	12.31	2.26	0.54	0.01	37.87	32.27	1.02	0.20	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	13.97	9.57	1.78	0.02	52.39	0.72	0.85
CB158R	Limonit	4.5 - 5.0	11.10	1.73	0.44	0.01	38.99	33.33	0.81	0.15	0											

**Tabel 1. Lanjutan: Hasil analisis XRF unsur-unsur utama (dalam %) dan perhitungan derajat lateritisasi.**

Thick Bor	Zona	Kedalaman (m)	FeO	NiO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	Ni	Co	SAF	SISAF	MgO/SiO <sub>2</sub>	
Limonit		0-1	56.88	1.02	10.07	0.08	8.16	1.36	2.90	0.81	0.06	0.01	0.01	0.18	0.01	64.55	44.21	0.80	0.09	82.78	0.10	0.17	
		1-2.0	59.89	1.16	10.70	0.04	5.84	1.17	2.74	0.97	0.10	0.01	0.01	0.20	0.01	67.98	46.56	0.91	0.09	84.52	0.07	0.20	
		2-2.32	50.87	1.43	9.83	0.04	15.19	2.93	2.57	0.86	0.25	0.01	0.01	0.12	0.01	57.74	39.54	1.12	0.08	82.75	0.18	0.19	
		2.32-3	31.03	1.83	7.04	0.02	33.91	9.18	1.84	0.55	0.22	0.01	0.01	0.01	0.12	0.01	35.22	24.12	1.44	0.05	76.17	0.45	0.27
		3-3.5	18.26	1.66	5.62	0.01	41.75	17.98	1.27	0.28	0.05	0.01	0.01	0.01	0.09	0.01	20.72	14.19	1.31	0.03	68.10	0.61	0.43
		3.5-3.71	16.87	1.61	4.89	0.01	41.56	20.51	1.12	0.27	0.10	0.01	0.01	0.01	0.08	0.01	19.15	13.12	1.27	0.03	65.61	0.63	0.49
		3.71-4	11.52	1.14	3.72	0.01	40.98	28.26	0.81	0.14	0.41	0.01	0.01	0.01	0.06	0.01	13.08	8.96	0.90	0.02	57.78	0.71	0.69
		4-4.39	14.48	1.46	4.09	0.01	42.91	22.13	0.98	0.19	1.28	0.01	0.01	0.01	0.07	0.01	16.44	11.26	1.15	0.02	63.44	0.68	0.52
		4.39-4.75	9.72	1.23	2.80	0.01	42.42	29.08	0.65	0.14	1.58	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	11.03	7.56	0.97	0.01	56.25	0.75	0.69
		5-5.6	13.09	1.42	3.34	0.00	42.15	24.52	0.87	0.21	0.86	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01	14.86	10.18	1.12	0.02	60.35	0.70	0.58
6-6.2	11.83	1.36	2.04	0.00	41.06	29.00	0.78	0.16	0.23	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	13.42	9.19	1.07	0.02	56.52	0.73	0.71		
CB153		4.75-5	7.00	0.75	1.76	0.00	40.84	34.69	0.43	0.10	1.24	0.01	0.01	0.03	0.01	7.95	5.44	0.59	0.01	50.55	0.81	0.85	
		5.6-6	8.48	1.10	2.31	0.00	40.45	32.73	0.53	0.12	0.79	0.01	0.01	0.04	0.01	9.63	6.59	0.87	0.01	52.39	0.77	0.81	
		6.2-7	6.78	0.35	1.22	0.00	39.19	37.55	0.32	0.09	0.18	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	7.69	5.27	0.28	0.01	48.10	0.81	0.96
		7-7.65	6.62	0.45	1.40	0.00	39.23	37.11	0.41	0.09	0.61	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	7.51	5.14	0.36	0.01	48.14	0.81	0.95
		7.65-8	10.29	0.95	1.67	0.08	40.73	31.67	0.67	0.14	0.12	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	11.68	8.00	0.74	0.02	54.09	0.75	0.78
		8-9.0	8.24	0.58	0.71	0.00	39.94	35.84	0.51	0.11	0.10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	9.35	6.40	0.45	0.01	50.00	0.80	0.90
		9-10.0	7.97	0.60	1.04	0.00	39.90	35.86	0.49	0.11	0.10	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	9.05	6.20	0.47	0.01	49.99	0.80	0.90
		10-11.0	8.84	0.62	0.75	0.00	40.31	35.24	0.58	0.11	0.14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	10.03	6.87	0.49	0.02	51.09	0.79	0.87
		11-12.0	7.11	0.40	0.28	0.00	39.87	37.93	0.43	0.10	0.16	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	8.06	5.52	0.31	0.01	48.21	0.83	0.95
		12-13.0	7.00	0.33	0.27	0.00	38.40	39.06	0.41	0.10	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	7.94	5.44	0.26	0.01	46.61	0.82	1.02
13-14.0	6.79	0.31	0.79	0.00	38.56	38.57	0.40	0.10	0.23	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	7.70	5.28	0.24	0.01	47.06	0.82	1.00		
14-14.35	7.38	0.41	0.93	0.00	39.67	37.04	0.45	0.10	0.25	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	8.37	5.73	0.32	0.01	48.97	0.81	0.93		
CB155		0-1	59.87	1.14	9.37	0.00	5.47	1.36	2.89	0.98	0.03	0.01	0.01	0.16	0.01	67.95	46.54	0.89	0.10	82.79	0.07	0.25	
		1-2	62.62	1.23	8.65	0.00	4.35	1.15	2.91	1.09	0.01	0.01	0.01	0.14	0.01	71.07	48.67	0.97	0.11	84.07	0.05	0.26	
		2-3	64.41	1.38	6.27	0.03	3.87	1.15	3.59	1.30	0.01	0.01	0.01	0.10	0.01	73.10	50.06	1.08	0.12	83.23	0.05	0.30	
		3-4	63.41	1.35	7.59	0.02	3.89	1.22	3.39	1.27	0.01	0.01	0.01	0.13	0.01	71.97	49.29	1.06	0.13	83.45	0.05	0.31	
		4-4.4	63.75	1.65	6.30	0.02	4.67	1.30	3.56	1.30	0.01	0.01	0.01	0.11	0.01	72.36	49.55	1.30	0.12	83.33	0.06	0.28	
		4.4-5	49.88	2.08	5.08	0.03	15.25	7.63	3.16	0.91	0.30	0.01	0.01	0.01	0.09	0.01	56.61	38.77	1.64	0.08	76.93	0.20	0.50
		5-5.45	25.34	2.25	4.66	0.02	32.81	19.21	1.71	0.45	0.89	0.01	0.01	0.01	0.08	0.01	28.77	19.70	1.77	0.04	66.23	0.50	0.59
		5.65-6.35	12.42	2.26	1.82	0.00	39.96	28.33	0.84	0.20	0.98	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01	12.47	9.65	1.78	0.02	54.24	0.74	0.71
		6.35-7	10.98	2.01	2.02	0.00	40.61	31.00	0.62	0.17	0.41	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	40.96	8.54	1.58	0.02	83.59	0.49	0.76
		5.45-5.65	8.47	2.25	3.01	0.00	40.37	33.24	0.49	0.13	1.39	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	14.10	6.58	1.77	0.01	57.48	0.70	0.82
7.0-8.0	8.09	0.94	1.80	0.00	40.43	35.13	0.49	0.12	1.32	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	9.18	6.28	0.74	0.01	51.41	0.79	0.87		
Harsburgit		8.0-9.0	7.96	0.46	1.45	0.00	39.47	36.77	0.39	0.12	1.09	0.01	0.01	0.02	0.01	9.03	6.18	0.36	0.01	49.95	0.79	0.93	
		9.0-10	7.74	0.42	1.27	0.00	38.65	37.45	0.34	0.12	0.89	0.01	0.01	0.02	0.01	8.79	6.02	0.33	0.01	48.71	0.79	0.97	



Gambar 8. Index of Lateritization (Taylor, 1964)

krisotil. dan mineral opak.

Kandungan unsur-unsur mayor dari hasil analisis *X-ray Fluorescence* diantaranya berupa  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{MgO}$  (Tabel 1). Pelapukan kimia batuan ultrabasa salah satunya dipengaruhi adanya iklim tropis, iklim tropis yang terjadi di Indonesia menyebabkan curah hujan yang tinggi dan mengalami pergantian musim panas yang sangat cepat. Pergantian

cuaca itulah yang menyebabkan terjadinya proses pelapukan. Selama terjadinya proses pelapukan, air meteorik yang bersifat asam akan berinteraksi dengan batuan ultrabasa, sehingga rasio  $\text{MgO}/\text{SiO}_2$  akan mengalami penambahan  $\text{H}_2\text{O}$ . Penambahan tersebut akan menyebabkan unsur *mobile* seperti  $\text{MgO}+\text{CaO}+\text{SiO}$  akan lepas dan dapat mempengaruhi mineral primer berubah menjadi mineral sekunder dalam

**Tabel 2.** Tingkat Lateritisasi terhadap pengkayaan kadar Fe-Ni-Co

Zona lateritisasi	Fe	Ni	Co
Lateritisasi kuat	36-51 %	0,8-1,4%	0,07-1,17%
Kaolinisasi Sedang	7,3-24%	0,8-1,9%	0,01-0,2%
Lateritisasi Lemah	4,9-7,9%	0,20-1,8%	0,005-0,015%

bentuk oksihidroksida, misalnya hematit (Rollinson, 2014). Akibat dari proses oksidasi yang tinggi, terjadi pula proses disolusi yang melarutkan mineral-mineral lain yang bersifat *mobile* dari unsur-unsur yang larut seperti Ni . Kisaran rasio MgO/SiO<sub>2</sub> pada limonit, saprolit dan batuan dasar masing-masing adalah 0,16–0,58, 0,27–0,85 dan 0,77–1,24. Kadar MgO dan SiO<sub>2</sub> yang merupakan komposisi unsur penyusun mineral dalam batuan asal harsburgit semakin berkurang pada zona laterit akibat proses pelapukan dan pelarutan (**Gambar 7**). Rasio MgO/SiO<sub>2</sub> yang tinggi pada batuan dasar tersebut menunjukkan bahwa harsburgit sudah mengalami serpentinisasi yang kuat (Aquino drr., 2021).

#### 4.2. Derajat Lateritisasi

Derajat lateritisasi adalah tingkatan terjadinya proses pembentukan tanah laterit atau proses lateritisasi akibat pelapukan dari batuan dasar (Taylor, 1964). Derajat lateritisasi merupakan nilai kebalikan dari indeks S/SAF, di mana nilai S/SAF dihitung dari SiO<sub>2</sub> / (SiO<sub>2</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). **Gambar 8** menunjukkan

derajat lateritisasi dari 9 profil lubang bor di daerah penelitian. Secara umum, zona limonit memiliki indeks S/SAF berkisar antara 0,04-0,22 (derajat lateritisasi kuat), saprolit 0,06-0,78 (derajat lateritisasi sedang hingga kaolinisasi), dan batuan dasar antara 0,70-0,83.

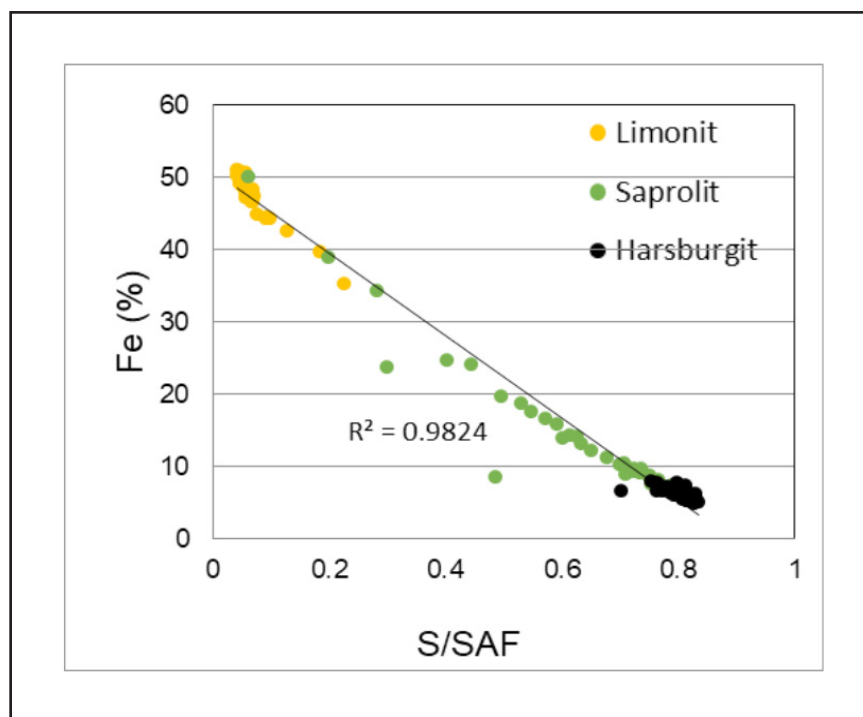
Zona dengan tingkat lateritisasi kuat mengandung Fe 36-51%, Ni 0,8–1,4%, dan Co 0,07-1,17%. Kaolinisasi tingkat sedang mengandung Fe 7,3-24 %, Ni 0,8–1,9%, dan Co 0,01-0,2 %. Batuan dasar harsburgit mengandung Fe 4,9–7,9 %, Ni 0,20-1,8%, dan Co 0,005-0,015%.

Proses pelapukan kimia mengubah mineral mafik plagioklas dan hornblende menjadi mineral oksida seperti Hematit, Gutit, dan Maghemait (Rollinson, 2014). Adanya mineral mafik mengakumulasi Fe dengan kandungan minimal 47% dan Co berada pada zona limonit bagian atas. Tingkat lateritisasi yang tinggi menghasilkan tingkat disolusi yang lebih tinggi. Hal ini akan berdampak pada keberadaan Ni pada zona limonit karena akan larut dan terakumulasi pada zona saprolit dengan kadar minimal 1,5%.

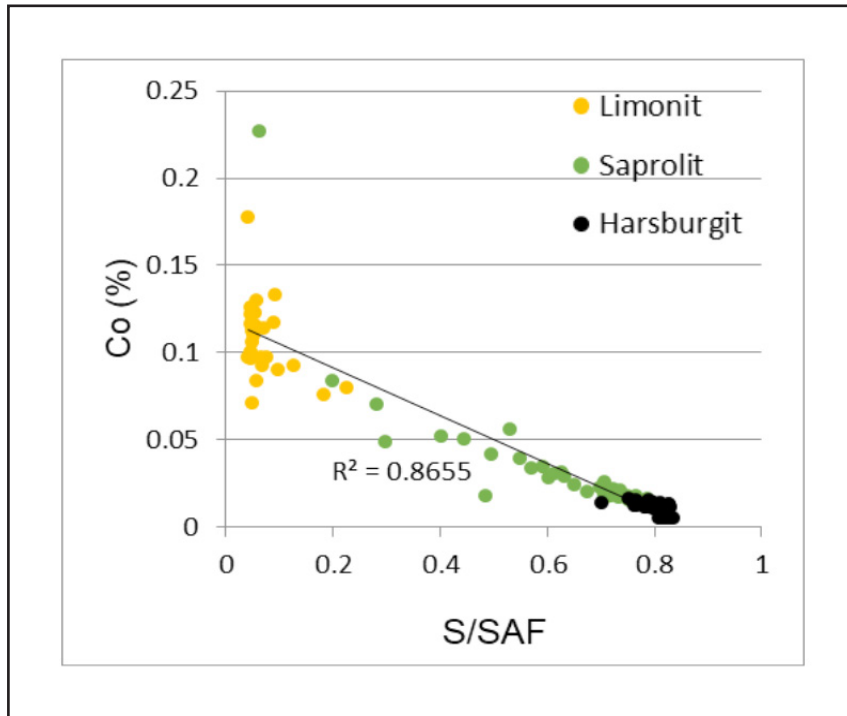
### 4.3. Korelasi antara indeks S/SAF dengan pengkayaan unsur Fe-Co-Ni

Peningkatan kandungan Fe berkorelasi negatif terhadap indeks S/SAF dan juga terakumulasi di permukaan atas, yaitu zona limonit. Hal ini disebabkan oleh sifat kebal terhadap air dan sifat *immobile* dari Fe (**Gambar 9**) sehingga Fe akan resisten selama proses pelapukan. Kandungan Co berkorelasi negatif terhadap indeks S/SAF dan juga terakumulasi di permukaan atas. Hal ini karena Co merupakan unsur kritis golongan VIII B yang berdekatan dengan unsur Fe, memiliki massa atom yang

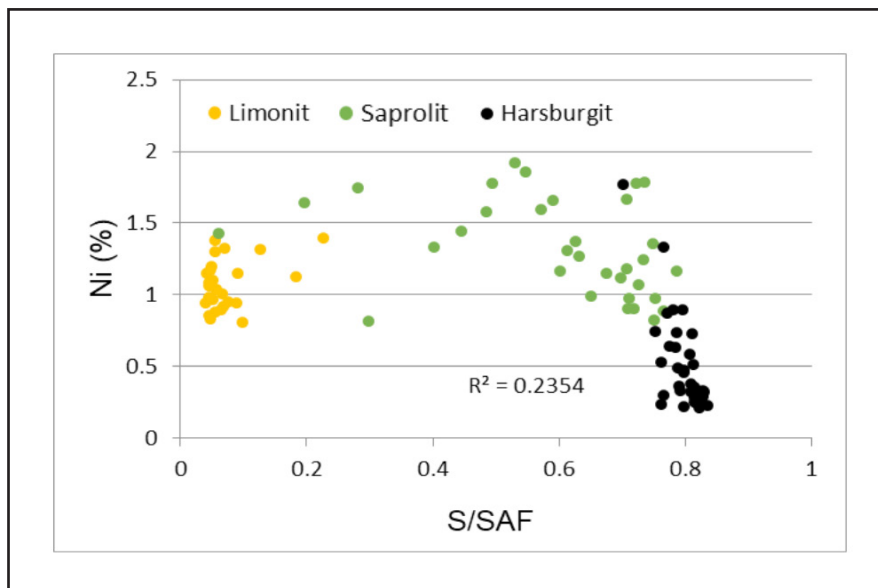
sama sehingga sifat yang dihasilkan sama, yaitu resisten terhadap pelapukan (**Gambar 10**). **Gambar 11** menggambarkan bahwa semakin banyak Ni yang terlarut dan terakumulasi dalam zona saprolit (Ogura, 1977). Hal ini disebabkan oleh adanya mineral olivin minor sebagai sumber pembentukan Ni dan sifat *semi-soluble* Ni. Zona limonit mengandung 0,8-1,3% Ni yang berkorelasi dengan lateritisasi kuat, zona saprolit mengandung 0,8–1,85% Ni dalam zona kaolinisasi sampai lateritisasi sedang dan batuan dasar mengandung 0,2 -1,3% Ni.



**Gambar 9.** Korelasi antara Fe vs S/SAF



**Gambar 10.** Korelasi antara Co vs S/SAF



**Gambar 11.** Korelasi antara Ni vs S/SAF

## 5. KESIMPULAN

Endapan laterit yang mengandung unsur ekonomis Fe-Ni-Co di daerah penelitian terbentuk dari hasil pelapukan batuan asal harsburgit. Perbedaan utama produk pelapukan dikendalikan oleh derajat lateritisasi. Pengayaan antara Fe, Co dengan derajat lateritisasi selalu berkorelasi negatif. Tetapi derajat lateritisasi tidak dapat berkorelasi dengan pengayaan Ni, karena mobilitas unsur tersebut. Pada umumnya, di zona limonit Ni akan tercuci oleh air meteorik. Semuanya disebabkan oleh perilaku unsur utama Fe, Ni, Co, topografi, dan iklim juga penting untuk proses laterit yang rumit. Ada penurunan besar MgO dan peningkatan SiO<sub>2</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari batuan induk melalui lateritisasi yang terdekomposisi menjadi laterit.

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Sebuku Iron Lateritic Ores telah mengizinkan kami untuk menggunakan data, Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung sebagai tempat melakukan analisis.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, W. (2008). Nickel laterites— Fundamentals of chemistry, mineralogy, weathering processes, formation, and exploration. Vale Inco–VITSL.

Aquino, K., Arcilla, C., Schardt, C., & Tupaz, C. (2021). Linking serpentinization and weathering of peridotit: A study on the mineralogical and geochemical evolution of the Sta. Cruz nickel laterite deposit, Zambales, Philippines.

Butt, M. Cluzel, D., 2013, Nickel Laterite Ore Deposits: Weathered Serpentinites, Elements v.9, pp 123-128.

Marsh, E. Anderson, Eric. Gray, F., 2013, Nickel-cobalt laterites - A deposit model, chap. H of Mineral deposit models for resource assessment: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–H, 38 p.

OGURA, Y. (1977). Mineralogical Studies on the Occurrence of Nickeliferous Laterite Deposits in the Southwestern Pacific Area. *Mining Geology*, 27(146), 379-399.

Robb, L. (2005). Introduction to ore-forming processes. John Wiley & Sons.

Rollinson, H. R. (2014). Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Routledge.

Rustandi, E., Nila, E.S., Sanyoto, P. dan Margono, U. 1995. Laporan Geologi Lembar Kotabaru, Kalimantan Selatan Skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Streckeisen, A.L. (1973) Plutonic Rocks: Classification and Nomenclature Recommended by the I.U.G.S. Sub-Commission on the Systematic of Igneous. Rocks, *Geo, Times*, 18, 26-30.

Taylor, R.M., McKenzie, R.M., Norrish, K. 1964. The mineralogy and chemistry of

manganese in some Australian soils. *Aust. Jour. Soil. Res.*2, p.235-248. Australia.

-----, 2022. Neraca Sumber Daya dan Cadangan Mineral dan Batubara Indonesia Tahun 2022, Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi, Bandung.