

Karakterisasi Fisik dan Kimia Slag Feronikel Kecamatan Pomalaa Sulawesi Tenggara

Ichsan Invanni Baharuddin^{1,4*}, A M Imran², Adi Maulana², Alimuddin Hamzah³

¹*Jurusan Geografi, Universitas Negeri Makassar*

²*Departemen Teknik Geologi, Universitas Hasanuddin*

³*Departemen Geofisika, Universitas Hasanuddin*

⁴*Pascasarjana Teknologi Kebumihan, Universitas Hasanuddin*

**E-mail: ichsan.invanni@unm.ac.id*

Abstract

Ferronickel slag is solid waste produced from the ferronickel treatment process. This study aims to determine the physical characteristics of ferronickel slag, determine the chemical characteristics of ferronickel slag and determine the potential leaching of pollutants from the ferronickel slag in Pomalaa District. This study uses TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) analysis to determine the leaching potential, XRD (X-Ray Diffractions) and SEM (Scanning Electron Microscope) to determine the mineral composition. Data of particle size and density of ferronickel slag were processed using Microsoft Excel. The results of XRD (X-Ray Diffractions) and SEM (Scanning Electron Microscope) analysis showed a diverse composition of ferronickel slag minerals, consisting of oxygen (O), magnesium (Mg), aluminum (Al), silica, calcium (Ca), chromium (Cr), iron (Fe), nickel (Ni), manganese (Mn) and sulfur (S). The density of ferronickel slag ranges from 3.34 g/ml - 3.53 g/ml and the particle size of ferronickel slag varies with size variations of 2 mm, 1.18 mm, 0.6 mm, 0.3 mm, 0.21 mm, 0.106 mm and 0.075 mm. TCLP analysis shows the leaching potential in nickel slag, the element boron (B) has a leaching potential of 1.10 mg/l, mercury (Hg) with a leaching potential of <0.001mg/l. Arsenic (As), Silver (Ag), Cadmium (Cd), Chromium Hexavalent (Cr⁶⁺), copper (Cu), lead (Pb), and zinc (Zn) with leaching potential of <0.003 mg/l, <0.03 mg/l, <0.004 mg/l, 0.031 mg/l, 0.054 mg/l, 0.030 mg/l, and 0.098 mg/l, respectively. Ferronickel slag relatively alkaline with pH ranging from 8.80 - 9.86.

Keywords: ferronickel slag, leaching, smelting, TCLP

PENDAHULUAN

Kegiatan penambangan nikel di Sulawesi telah berlangsung sangat lama, sejak ditemukannya nikel di awal tahun 1900-an. Hingga kini di wilayah Sulawesi Tenggara saja sudah terdapat sekitar tiga ratus izin usaha pertambangan nikel, termasuk dua perusahaan besar yaitu PT. Aneka Tambang (ANTAM) dan PT. Vale Indonesia (dulu PT. INCO).

Secara umum, kegiatan pertambangan yang meliputi aktivitas eksplorasi, eksploitasi lahan, proses peleburan nikel dan aktivitas lain yang dilakukan oleh masyarakat di sekitar tambang akan mempengaruhi kehidupan fisik, sosial dan ekonomi masyarakat sekitar. Perubahan rona lingkungan (bentang fisik dan kimia), pencemaran tanah, air maupun udara merupakan contoh dampak negatif

yang ditimbulkan oleh kegiatan pertambangan. Selain kegiatan pertambangan, kegiatan industri pengolahan nikel juga dapat menghasilkan limbah yang dapat mencemari lingkungan bila tidak ditangani dengan baik.

Undang-undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara (UU Minerba tahun 2009) 'memaksa' para pemegang IUP (Izin Usaha Pertambangan) untuk melakukan pengolahan dan pemurnian hasil penambangan di dalam negeri. Hal ini akan mengakibatkan lebih banyak kegiatan industri pengolahan nikel dan tentu saja menambah limbah (cair dan padat) dalam jumlah yang signifikan.

Limbah padat dari pengolahan feronikel berupa tailing padat (*slag*). Slag telah digunakan sebagai material timbunan dalam pembuatan jalan raya, agregat campuran dalam pembuatan jalan dan beton, pupuk fosfat (Geiseler, 1996; Li, 1999; Motz and Geiseler, 2001; Wang and Thompson, 2011). Sebagai limbah, komponen yang bersifat polutan dari *slag* dapat terpapar ke lingkungan yang akan mempengaruhi kondisi soil, air tanah, air permukaan, ekosistem laut dan juga kesehatan manusia. Di beberapa tempat di Sulawesi, *slag* digunakan sebagai bahan timbunan di jalan raya ataupun di rumah penduduk serta ditimbun/ditumpuk di lokasi pabrik feronikel. Pengkajian mendalam tentang potensi pencemaran paparan slag feronikel terhadap kondisi lingkungan (utamanya soil, air tanah dan air permukaan) di daerah tersebut dianggap perlu, mengingat pentingnya pencegahan pencemaran oleh unsur-unsur yang bersifat beracun (*toxic*) dari *slag* tersebut.

Sesuai izin Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) berdasarkan SK Menteri Lingkungan Hidup Nomor: SK.610/Menlhk/Setjen/PLB.3/8/2016 tanggal 8 Agustus 2016, pada tahun 2018, PT. ANTAM memanfaatkan kembali 100% limbah B3 berupa slag feronikel sebesar 1.023.111 ton. Pemanfaatan limbah B3 tersebut digunakan sebagai yardbase, area pabrik untuk pedestrian, fasilitas parkir kendaraan pada *departement ore blending*, pembangunan *sport center* dan taman edukasi, fasilitas mess atau penginapan dan perumahan karyawan. Persentase pemanfaatan slag adalah yardbase 99,82% (1.021.238 ton), roadbase 0,13% (1.322 ton) dan bahan campuran POTON (Pomalaa Beton) 0,005% (550 ton) (Laporan Keberlanjutan Antam, 2018).

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Pengambilan data lapangan dilakukan di beberapa titik lokasi timbunan jalan yang menggunakan material slag feronikel di Kecamatan Pomalaa Kabupaten Kolaka Provinsi Sulawesi Tenggara. Analisis TCLP dilakukan di Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, Semarang dan Analisis XRD-SEM dilakukan di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Makassar.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah GPS (*Global Positioning System*), sekop, kantong sampel, roll meter, alat gerus, XRD, SEM, Rotary Agitator, pH meter. Bahan yang digunakan pada penelitian ini berupa aquades, Asam Klorida (HCl 1N), Asam Nitrat (HNO₃ 1N), Natrium Hidroksida (NaOH 1N) dan asam asetat glasial (CH₃CH₂OOH).

Pengumpulan Data Slag Feronikel

Data lapangan yang diambil berupa letak dan sebaran slag feronikel yang dijadikan sebagai timbunan jalan di Kecamatan Pomalaa Kabupaten Kolaka di 3 titik dan 1 titik timbunan slag feronikel di wilayah pelabuhan Pomalaa.

Metode Analisis Laboratorium

Analisis TCLP mengikuti prosedur USEPA SW-846 Method 1311 (1992). Analisis *X-ray Diffraction* (XRD) menggunakan difraktometer Shimadzu Maxima X-7000 (radiasi Cu-K α , $\lambda=1,540\text{\AA}$) pada sampel bubuk (200 mesh). Difraktogram diperoleh dengan memindai sampel bubuk pada sudut 2θ 5° sampai 70°, *scanning step* 0.02°, dan *counting time* 2°/menit.

HASIL

Sampel slag feronikel di lapangan tersebar pada beberapa titik timbunan jalan di Kecamatan Pomalaa dengan kondisi yang berbeda-beda. Sebaran sampel slag feronikel dan kondisinya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Sebaran dan Kondisi Sampel Slag Feronikel

No.	Nama Sampel	Koordinat (DMS)	Ketebalan Timbunan (cm)	Tahun Penimbunan	Keterangan
1.	Slag Nikel A	04°10'21" S dan 121°39'14.1" E	10	2000	Jalan dengan timbunan slag feronikel
2.	Slag Nikel B	04°10'29,4" S dan 121°39'15.5" E	30	2003	Jalan dengan timbunan slag feronikel
3.	Slag Nikel C	04°10'7" S dan 121°39'17.4" E	40	2003	Jalan dengan timbunan Sirtu berada di atasnya (30 cm)
4.	Slag Nikel D	04°10'42" S dan 121°39'55" E	-	2013	Timbunan slag nikel di pelabuhan Pomalaa

1) Karakteristik Fisik

a) Komposisi Mineral

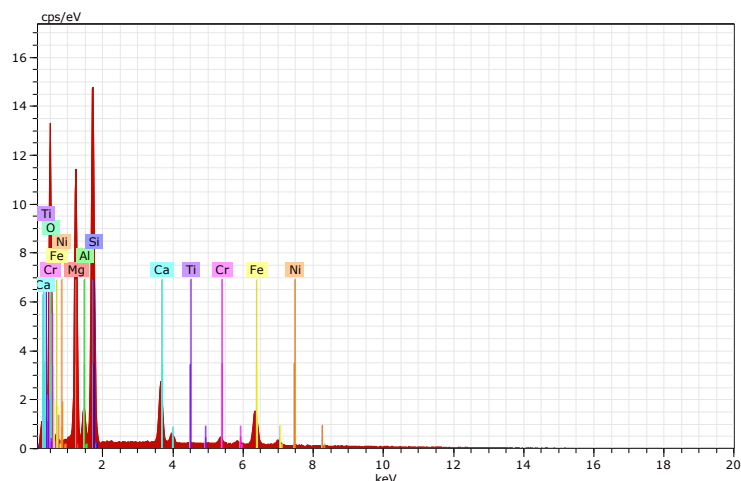
Komposisi mineral dalam slag Nikel dapat diketahui dengan metode analisis XRD-SEM. Analisis XRD (*X-Ray Diffractions*) dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) merupakan teknik yang digunakan untuk menentukan struktur suatu padatan dan kandungan unsur dalam padatan. Sampel berupa serbuk padatan slag feronikel sebanyak 20 g, yang ditempatkan pada suatu plat kaca.

i) Slag Feronikel A

Tabel 2 dan gambar 1 menunjukkan jumlah persentase kandungan unsur dan senyawa yang terkandung dalam slag feronikel. Berdasarkan data tersebut, kandungan unsur silika (Si) yaitu sebesar 15.36% dan berikatan dengan unsur oksigen (O₂) membentuk senyawa SiO₂ dengan persentase kandungan sebesar 41.82%. Sedangkan unsur Nikel (Ni) hanya berkisar 0.25% yang terdapat dalam senyawa NiO dengan persentase sebesar 0.83%.

Tabel 2. Persentase Kandungan Unsur dan Senyawa dalam Slag Feronikel A

No.	Unsur	% Unsur	Senyawa	% Senyawa
1.	Magnesium	16.48	MgO	30.10
2.	Aluminium (Al)	1.81	Al ₂ O ₃	4.19
3.	Silicon (Si)	15.36	SiO ₂	41.82
4.	Calcium (Ca)	3.38	CaO	8.59
5.	Chromium (Cr)	0.59	Cr ₂ O ₃	2.02
6.	Iron (Fe)	3.77	FeO	12.26
7.	Nickel (Ni)	0.25	NiO	0.83
8.	Oxygen (O)	58.31	-	0
9.	Titanium (Ti)	0.05	TiO ₂	0.18



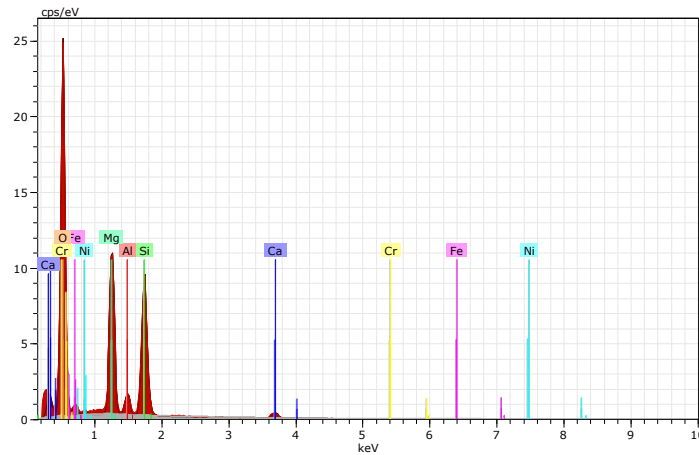
Gambar 1. Grafik Kandungan Unsur Hasil Analisis XRD Slag Feronikel A

ii) Slag Feronikel B

Tabel 3 dan gambar 2 menunjukkan jumlah persentase kandungan unsur dan senyawa yang terkandung dalam slag feronikel B. Berdasarkan data diatas kandungan unsur silika (Si) yaitu sebesar 19% dan berikatan dengan unsur oksigen (O) membentuk senyawa SiO₂ dengan persentase kandungan sebesar 55.37%. Sedangkan unsur Nikel (Ni) hanya berkisar 0.54% yang terdapat dalam senyawa NiO dengan persentase sebesar 1.95%.

Tabel 3. Persentase Kandungan Unsur dan Senyawa dalam Slag Feronikel B

No.	Unsur	% Unsur	Senyawa	% Senyawa
1.	Magnesium	16.44	MgO	32.16
2.	Aluminium (Al)	2.21	Al ₂ O ₃	5.46
3.	Silicon (Si)	19.00	SiO ₂	55.37
4.	Calcium (Ca)	1.41	CaO	1.41
5.	Chromium (Cr)	0.01	Cr ₂ O ₃	0.04
6.	Iron (Fe)	0.34	FeO	1.19
7.	Nickel (Ni)	0.54	NiO	1.95
8.	Oxygen (O)	60.05	-	0



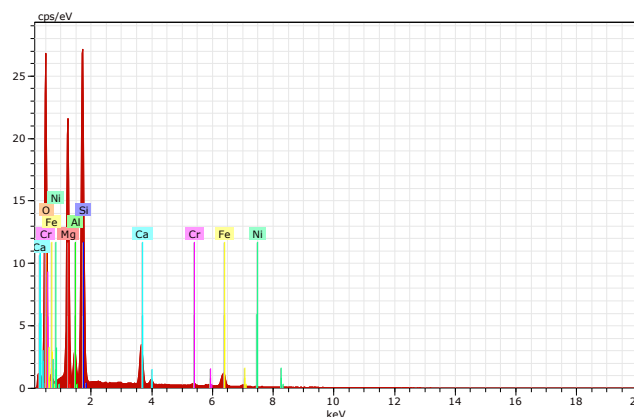
Gambar 2. Grafik Kandungan Unsur Hasil Analisis XRD Slag Feronikel B

iii) Slag Feronikel C

Tabel 4 dan gambar 3 menunjukkan jumlah persentase kandungan unsur dan senyawa yang terkandung dalam slag feronikel C. Berdasarkan data diatas kandungan unsur silika (Si) yaitu sebesar 16.69% dan berikatan dengan unsur oksigen (O) membentuk senyawa SiO₂ dengan persentase kandungan sebesar 47.49%. Sedangkan unsur nikel (Ni) hanya berkisar 0.01% yang terdapat dalam senyawa NiO dengan persentase sebesar 0.04%.

Tabel 4. Persentase Kandungan Unsur dan Senyawa dalam Slag Feronikel C

No.	Unsur	% Unsur	Senyawa	% Senyawa
1.	Magnesium	17.61	MgO	33.62
2.	Aluminium (Al)	2.16	Al ₂ O ₃	5.23
3.	Silicon (Si)	16.69	SiO ₂	47.49
4.	Calcium (Ca)	2.65	CaO	7.03
5.	Chromium (Cr)	0.23	Cr ₂ O ₃	0.82
6.	Iron (Fe)	1.70	FeO	5.78
7.	Nickel (Ni)	0.01	NiO	0.04
8.	Oxygen (O)	58.94	-	0



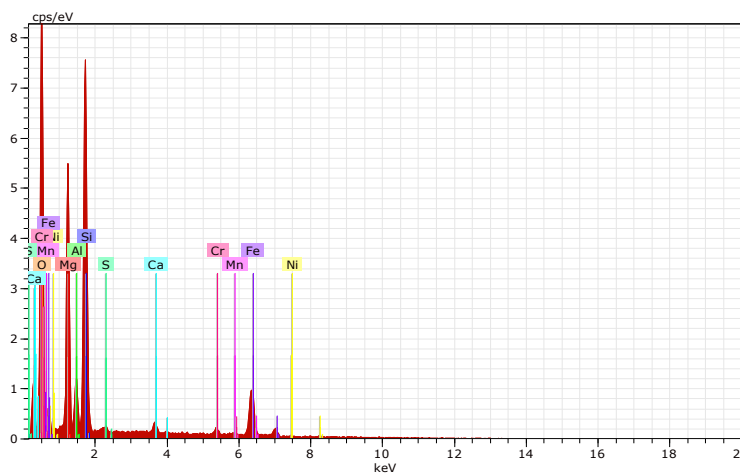
Gambar 3. Grafik Kandungan Unsur Hasil Analisis XRD Slag Feronikel C

iv) Slag Feronikel D

Tabel 5 dan gambar 4 menunjukkan jumlah persentase kandungan unsur dan senyawa yang terkandung dalam slag feronikel D. Berdasarkan data diatas kandungan unsur silika (Si) yaitu sebesar 15.83% dan berikatan dengan unsur Oksigen (O₂) membentuk senyawa SiO₂ dengan persentase kandungan sebesar 43.25%. Sedangkan unsur Nikel (Ni) hanya berkisar 0.14% yang terdapat dalam senyawa NiO dengan persentase sebesar 0.47%.

Tabel 5. Persentase Kandungan Unsur dan Senyawa dalam Slag Feronikel D

No.	Unsur	% Unsur	Senyawa	% Senyawa
1.	Magnesium	15.74	MgO	28.86
2.	Aluminium (Al)	3.00	Al ₂ O ₃	6.95
3.	Silicon (Si)	15.83	SiO ₂	43.25
4.	Calcium (Ca)	0.57	CaO	1.45
5.	Chromium (Cr)	0.51	Cr ₂ O ₃	1.76
6.	Iron (Fe)	5.01	FeO	16.37
7.	Nickel (Ni)	0.14	NiO	0.47
8.	Oxygen (O)	58.95	-	0
9.	Mangan (Mn)	0.10	MnO	0.32
10.	Sulfur (S)	0.16	SO ₃	0.57



Gambar 4. Grafik Kandungan Unsur Hasil Analisis XRD Slag Feronikel D

b) Massa Jenis

Berdasarkan hasil pengukuran massa jenis pada sampel slag feronikel diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 6. Massa Jenis Sampel Slag Nikel

No.	Sampel	Massa Jenis (gr/mL)
1.	Slag Nikel A	3.53
2.	Slag Nikel B	3.48
3.	Slag Nikel C	3.51
4.	Slag Nikel D	3.34

Hasil pengukuran massa jenis pada sampel slag feronikel memperlihatkan nilai massa jenis untuk nilai massa jenis berkisar antara 3.34 – 3.51 g/ml.

c) Ukuran Partikel

Berdasarkan hasil pengukuran ukuran partikel pada sampel Slag Nikel diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 7. Persentase Ukuran Partikel Sampel Slag Feronikel

No.	Ukuran Ayakan (mm)	Ukuran Butir (%)				Rata-rata
		Slag A	Slag B	Slag C	Slag D	
1	2	23.20	24.12	23.31	20.10	22.68
2	1.18	21.51	21.10	21.91	18.00	20.63
3	0.6	38.42	39.01	38.02	43.62	39.77
4	0.3	8.03	6.41	7.55	8.86	7.71
5	0.21	8.49	8.95	8.79	9.09	8.83
6	0.106	0.23	0.28	0.28	0.18	0.24
7	0.075	0.12	0.13	0.15	0.16	0.14
Total		100	100	100	100	

Berdasarkan hasil pengukuran agregat partikel diperoleh persentase tertinggi ukuran partikel slag nikel A sebesar 38.42% dengan ukuran partikel 0.6 mm, dan persentase terendah dengan ukuran partikel 0.075 mm sebesar 0.12%. Persentase tertinggi ukuran partikel slag Nikel B sebesar 39.01% dengan ukuran partikel 0.6 mm, dan persentase terendah dengan ukuran partikel 0.075 mm sebesar 0.13%. Persentase tertinggi ukuran partikel slag Nikel C sebesar 38.02% dengan ukuran partikel 0.6 mm, dan persentase terendah dengan ukuran partikel 0.075 mm sebesar 0.15%. Persentase tertinggi ukuran partikel slag nikel D sebesar 43.62% dengan ukuran partikel 0.6 mm, dan persentase terendah dengan ukuran partikel 0.075 mm sebesar 0.16%.

2) Karakteristik Kimia

a) Potensi Pelindian

Analisis TCLP dilakukan untuk mengetahui potensi pelindian logam berat yang terdapat dalam slag feronikel. Hasil analisis TCLP pada sampel slag feronikel D dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 8. Hasil Analisis TCLP Sampel Slag Feronikel D

No.	Parameter	Hasil Analisis (mg/L)	Baku Mutu (PP. 101/2014) (mg/L)					
			Penetapan Kategori Limbah B3		Penetapan Standar Pengolahan Limbah B3	Pengolahan Tanah Terkontaminasi Limbah B3		
			TCLP A	TCLP B		TCLP A	TCLP B	TCLP C
1.	Arsen (As)	<0.003	3	0.5	0.5	3	0.5	0.2
2.	Perak (Ag)	<0.03	40	5	5	40	5	2
3.	Boron (B)	1.10	150	25	25	150	25	10
4.	Cadmium (Cd)	<0.004	0.9	0.15	0.15	0.9	0.15	0.06
5.	Chrom Hexavalent	<0.031	15	2.5	2.5	15	2.5	1
6.	Copper (Cu)	0.054	60	10	10	60	10	4
7.	Mercury (Hg)	<0.001	0.3	0.05	0.05	0.3	0.05	0.02
8.	Timbal (Pb)	<0.030	3	0.5	0.5	3	0.5	0.2
9.	Seng (Zn)	0.098	300	50	50	300	50	20

Analisis TCLP menunjukkan komposisi kimia kandungan logam berat pada slag nikel dan potensi pelindian dengan konsentrasi yang bervariasi. Unsur dengan konsentrasi tertinggi adalah boron (B) memiliki potensi pelindian sebesar 1.10 mg/L, sedangkan unsur dengan konsentrasi terendah adalah merkuri (Hg) dengan potensi pelindian sebesar <0.001mg/L. Unsur lain yang terdapat pada slag nikel D adalah arsen (As), perak (Ag), kadmium (Cd), kromium heksavalen (Cr⁶⁺), tembaga (Cu), timbal (Pb), dan seng (Zn) dengan masing-masing konsentrasi dan potensi pelindian berturut-turut sebesar <0.003 mg/L, <0.03 mg/L, <0.004 mg/L, 0.031 mg/L, 0.054 mg/L, 0.030 mg/L, dan 0.098 mg/L.

b) Uji PH

Berdasarkan hasil analisis pH pada sampel memperlihatkan kondisi slag feronikel umumnya bersifat basa. Berikut adalah hasil uji pH sampel slag nikel dengan pH meter.

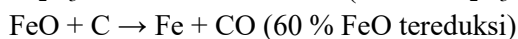
Tabel 9. Hasil Pengukuran pH Sampel Slag Nikel

No.	Sampel	pH
1.	Slag Nikel A	9,20
2.	Slag Nikel B	9,07
3.	Slag Nikel C	9,86
4.	Slag Nikel D	8,80

PEMBAHASAN

Hasil Analisis XRD (*X-Ray Diffractions*) dan SEM (*Scanning Electron Microscopic*) menunjukkan persentasi kandungan unsur dan senyawa yang terdapat pada slag nikel. Berdasarkan tabel analisis XRD dan SEM diatas menunjukkan kandungan unsur pada semua sampel slag yang paling tinggi adalah oksigen, berturut-turut (slag A, slag B, slag C dan slag D) sebesar 58.31%; 60.05%; 58.94% dan 58.95%. Hal ini disebabkan karena unsur oksigen (O) mampu dan mudah berikatan dengan semua unsur yang terdapat pada sampel slag . Hasil analisis XRD-SEM pada slag feronikel A menunjukkan persentase unsur tertinggi setelah oksigen adalah magnesium yaitu sebesar 16.48 % yang terdapat dalam senyawa MgO sebesar 30.10%. Pada slag feronikel B unsur tertinggi setelah oksigen adalah silika yaitu sebesar 19.00 % yang terdapat dalam senyawa SiO₂ sebesar 55.37%. Total konsentrasi unsur silika dalam slag feronikel C berdasarkan sebesar 16.69% dengan total konsentrasi senyawa SiO₂ sebesar 47.49%. Berdasarkan analisis XRD-SEM terdapat beberapa unsur tambahan pada slag nikel D yaitu unsur Mangan (Mn) dengan konsentrasi sebesar 0.10% yang terdapat dalam senyawa MnO dengan kosentrasi senyawa sebesar 0.32%, dan unsur sulfur (S) sebesar 0.16% dengan total kosentrasi senyawa SO₂ sebesar 0.57. Hal ini disebabkan karena sampel slag feronikel D merupakan slag feronikel yang diproduksi tahun 2013, sehingga masih mempunyai kandungan unsur yang lebih banyak dibandingkan dengan slag yang lain yang telah digunakan sebagai material pengerasan jalanan. Unsur lain yang terdapat pada slag nikel D adalah aluminium (3.00%), magnesium (15.74%), kalsium 0.57%), kromium (0.51%), besi (5.01%).

Menurut Zubayr (2009), senyawa-senyawa yang terdapat pada slag nikel tersebut merupakan hasil reaksi pada saat tahapan peleburan Nikel, yang dilakukan di dalam dapur listrik (*Electric Smelting Furnace*) berkapasitas 100 ton/jam dengan temperatur 1.600°C. Dalam dapur listrik tersebut terjadi proses peleburan *Calcine* dan reduksi semua oksida.



Oksida-oksida di dalam biji (*calcine*) yang tidak tereduksi akan diikat oleh CaO dari batu kapur dan membentuk slag. Unsur-unsur logam yang terbentuk dari hasil oksida logam akan membentuk logam feronikel. Berdasarkan hasil analisis XRD-SEM, unsur yang tertinggi adalah Si dan Mg. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Demotica et al. (2012) dan Tangahu dkk (2015) yang memperlihatkan bahwa mineral yang dominan dalam slag feronikel adalah forsterit ((Mg,Fe)₂SiO₄).

Berdasarkan hasil pengukuran massa jenis pada sampel Slag Nikel diperoleh nilai massa jenis untuk slag feronikel berkisar antara 3,34-3,51 g/ml. Hasil tersebut tidak terlalu berbeda dengan hasil penelitian sejenis yang dilakukan oleh Demotica *et al.* (2012) di Filipina dengan nilai berkisar antara 3.13-3.17 g/ml. Nilai tersebut menunjukkan bahwa massa jenis slag nikel lebih besar dibandingkan dengan massa jenis pasir biasa (2.5 – 2.6 g/ml). Hal ini memungkinkan partikel slag feronikel akan terendapkan hingga ke bawah tanah.

Hasil analisis ukuran butir partikel slag feronikel menunjukkan potensi partikel slag feronikel untuk melayang di udara, ketika dibawa oleh angin dari tempat penimbunan. Selain itu, juga

berpotensi terhadap tanah di sekitar tempat penimbunan ketika terbawa oleh aliran air (secara infiltrasi maupun perkolasi), masuk ke dalam tanah dan terendapkan.

Analisis TCLP menunjukkan komposisi kimia kandungan logam berat pada slag feronikel dan potensi pelindian dengan konsentrasi yang bervariasi. Berdasarkan baku mutu Peraturan Pemerintah No. 101 tahun 2014 tentang penetapan kategori limbah B3, menunjukkan bahwa ketika konsentrasi bahan pencemar sama dengan atau lebih kecil dari standar baku mutu maka dapat digunakan sebagai pelapis tanah. Hasil TCLP menunjukan konsentrasi bahan pencemar lebih kecil dari standar baku mutu yang dimaksud sehingga sampel slag nikel tersebut dapat digunakan sebagai bahan pengerasan jalan.

KESIMPULAN

Slag feronikel mempunyai ukuran partikel yang bervariasi dari besar hingga kecil, yang memungkinkan kandungan logam berat dalam slag feronikel untuk tertransportasi di udara lalu kemudian terendapkan di dalam tanah. Akan tetapi, kandungan logam berat yang ada pada slag tidak melewati ambang batas yang telah ditetapkan oleh pemerintah sehingga dapat digunakan sebagai bahan pengerasan jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Demotica, J.S., Amparado Jr, R.F., Malaluan, R.M., and Demayo, C.G., 2012. *Characterization and Leaching Assessment of Ferronickel Slag from a Smelting Plant in Iligan City, Philippines*. Int. Jour. of Environmental Science and Development. 3(5): 470-474.
- Geiseler, J., 1996. *Use of steelworks slag in Europe: Waste Management (Oxford)* 16 (1-3), 59-63.
- Laporan Keberlanjutan. 2018. *Memperkuat Paradigma Keberlanjutan*. PT Aneka Tambang Tbk.
- Li, Y., 1999. *The Usage of Waste Basic Oxygen Furnace Slag and Hydrogen Peroxide to Degrade 4-Chlorophenol: Waste Management (Oxford)* 19, 495-502.
- Motz, H., and Geiseler, J., 2001. Products of Steel Slags an Opportunity To Save Natural Resources: *Waste Management*. 21: 285-293.
- Tangahu, B.V., IDAA Warmadewanthi, Saptarini, D., Pudjiastuti, L., Tardan, M.A.M., and Luqman, A., 2015. *Ferronickel Slag Performance from Reclamation Area in Pomalaa, Southeast Sulawesi, Indonesia*. *Advances in Chemical Engineering and Science*. 5:408-412.
- Wang, G., and Thompson, R., 2011. *Slag Use In Highway Construction - The Philosophy and Technology of Its Utilization*. *Int. J. Pavement Res. Technol*. 4(2): 97-103.
- Zubayr, dan Alam, S., 2009. *Analisis Status Pencemaran Logam Berat di Wilayah Pesisir (Studi Kasus Pembuangan Limbah Cair dan Tailing Padat/Slag Pertambangan Nikel Pomalaa)*. Tesis tidak diterbitkan. Institut Pertanian Bogor.