

# Kajian Awal Produksi Fero Sulfat dari Slag Nikel Melalui Proses Pelindian Menggunakan Asam Sulfat

Asep Nurohmat Majalis<sup>1</sup>, Nur Vita Permatasari<sup>1</sup>, Yeni Novitasari<sup>1</sup>, Noviarso Wicaksono<sup>1</sup>, Dedi Armin<sup>2</sup>, dan Rizki Pratiwi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Mineral, BPPT; e-mail: [asepnurohmatmajalis@gmail.com](mailto:asepnurohmatmajalis@gmail.com)

<sup>2</sup> PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur

## ABSTRAK

Produksi nikel dengan proses pirometalurgi menghasilkan hasil samping yaitu slag nikel. Slag nikel berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun termasuk limbah bahan berbahaya dan beracun dari sumber spesifik khusus dengan kategori bahaya 2. Kajian pemanfaatan slag nikel cukup menarik dilakukan karena secara kimia slag nikel masih mengandung mineral dan logam-logam yang berharga, dan kandungan logam besi di dalam slag nikel adalah yang paling dominan. Kajian awal produksi fero sulfat dari slag nikel yang berpotensi dapat dimanfaatkan untuk proses pengolahan air limbah pertambangan bijih nikel yang biasanya mengandung kromium heksavalen dan total padatan terlarut telah dilakukan. Tahapan yang dilakukan yaitu karakterisasi slag nikel menggunakan alat XRD untuk mengetahui komposisi mineral utama, SEM-EDX untuk mengetahui morfologi dan kandungan unsur dominan dan ICP-OES untuk mengetahui konsentrasi logam, dan selanjutnya pelindian slag nikel menggunakan asam sulfat pada variasi konsentrasi asam dan waktu pelindian. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa komposisi mineral utama slag nikel adalah fayalit, magnetit dan kristobalit dengan kandungan unsur dominan Fe, O, Si, S, Mg, Ni, dan Cu. Morfologi slag nikel adalah poligon tidak beraturan dan permukaannya halus serta padat. Kandungan logam Fe, Ni, Co, dan Cu dalam sampel slag nikel secara berturut-turut yaitu 37%, 0,479%, 0,361%, dan 0,0843%. Pelindian slag nikel yang dilakukan pada perbandingan volume pelindi terhadap berat slag nikel yaitu 1000 ml/500 gram, konsentrasi asam sulfat 0,2; 0,25; 0,3 dan 0,35 mol/L dan waktu pelindian 5 hari telah berhasil melarutkan Fe(II) dari slag nikel secara berturut-turut 2790; 1940; 4180 dan 5160 mg/L.

**Kata kunci:** Proses pirometalurgi, Slag nikel, Karakterisasi slag, Pelindian, Fero sulfat, Asam sulfat

## ABSTRACT

Nickel production with a pyrometallurgical process produces slag nickel as a side product. Base on Republic Indonesia Government Regulation No.101 of 2014 concerning Management of Hazardous and Toxic Waste, nickel slag included in hazardous and toxic materials from specific sources with hazard category 2. The study of the use of nickel slag is quite interesting because chemically still contains valuable minerals and metals, and iron metal contained in nickel slag is the most dominant. Preliminary studies of ferrous sulfate production from nickel slag that could potentially be used for the nickel ore mining wastewater treatment process which usually contains chromium hexavalent and total dissolved solids have been carried out. The stages have been taken are nickel slag characterization using XRD, SEM-EDX and ICP-OES respectively to determine the composition of the main minerals, the morphology and content of dominant elements, and metal concentration, and subsequently leaching of nickel slag using sulfuric acid at various acid concentrations and leaching time. The results of the nickel slag characterization showed that the main mineral composition of the nickel slag was fayalite, magnetite, and cristobalite with the dominant elements Fe, O, Si, S, Mg, Ni, and Cu. Nickel slag morphology is an irregular polygon and the surface is smooth and dense. The content of Fe, Ni, Co and Cu in nickel slag samples are 37%, 0.479%, 0.361%, and 0.0843% respectively. Nickel slag leaching carried out on the ratio of the volume of the leachate to the weight of the slag is 1000 ml/500 g, acid concentration are 0.2, 0.25, 0.3 and 0.35 and leaching time is 5 days had successfully dissolved Fe(II) from nickel slag 2790, 1940, 4180 and 5160 mg/L respectively.

**Keywords:** Pyrometallurgical process, Nickel slag, Slag characterization, Leaching, Ferrous sulfate, Sulfuric acid

**Citation:** Majalis, A. N., Permatasari, N. V., Novitasari, Y., Wicaksono, N., Armin, D., dan Pratiwi, R. (2020). Kajian Awal Produksi Fero Sulfat dari Slag Nikel Melalui Proses Pelindian Menggunakan Asam Sulfat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(1), 31-38, doi:10.14710/jil.18.1.31-38

## 1. Pendahuluan

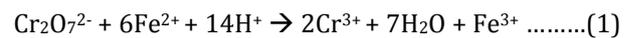
Pengolahan bijih nikel dengan proses pirometalurgi menghasilkan produk samping berupa paduan logam yang disebut slag nikel. Jika produk samping ini tidak bisa dimanfaatkan lebih lanjut maka bisa dikategorikan menjadi limbah. Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) No 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, slag nikel (kode limbah B401) masuk kategori limbah B3 dari sumber spesifik khusus dengan kategori bahaya dua. Oleh karena itu, slag nikel yang dihasilkan telah menimbulkan masalah tersendiri karena dari segi jumlah cukup banyak dan laju pertumbuhannya meningkat seiring dengan laju produksi nikel. Sebagai contoh, produksi nikel matte (kadar nikel di atas 75%) PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur mencapai rata-rata 75.000 ton pertahun dan setiap ton produk yang dihasilkan tersebut akan menimbulkan slag nikel sekitar 50 kalinya yaitu sekitar 3.750.000 ton per tahun (Jefriyanto, 2018).

Penelitian mengenai pemanfaatan slag nikel cukup menarik untuk dilakukan. Hal ini karena slag nikel secara kimiawi masih mengandung logam-logam yang berharga seperti nikel, kobalt dan tembaga (Huang et al, 2015). Slag nikel merupakan produk yang terbentuk pada temperatur tinggi membentuk paduan logam yang cukup stabil sehingga menjadi tantangan peneliti, diantaranya untuk menemukan metode ekstraksi logam tertentu yang berharga dengan hasil optimal, atau mengkaji apakah paduan logam yang terbentuk tersebut dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan tertentu misalnya material konstruksi. Penelitian tentang slag nikel yang telah dilakukan diantaranya: perilaku Co dan Ni dalam slag nikel INCO selama proses pelindian dengan SO<sub>2</sub> cair (Gbor et al, 2000), penggunaan slag nikel sebagai bahan baku untuk produksi semen *portland* dan konstruksi jalan (Wu et al, 2018), perolehan kembali logam-logam berharga dari slag nikel dengan proses pelindian menggunakan asam sulfat pada temperatur tinggi (Huang et al, 2015), pengolahan converter slag dan pirotit melalui pelindian oksidatif pada tekanan tinggi untuk mendapatkan logam-logam berharga seperti Ni, Co dan Cu (Perederiy et al, 2011) dan potensi pemanfaatan slag dari proses peleburan bijih nikel khususnya slag feronikel yaitu sebagai agregat atau campuran beton, bahan baku untuk produksi klinker semen, fiber mineral anorganik, sulfat, batu bata refraktori, *glass ceramic*, perolehan kembali logam berharga dan pupuk di bidang pertanian (Xi et al, 2018).

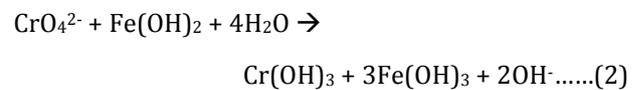
Kandungan unsur besi di dalam slag nikel adalah yang paling tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa diantara unsur-unsur yang lain seperti Ni, Co, Cu, Si, dan S, kandungan unsur Fe adalah yang paling banyak (Huang et al, 2015). Sementara itu, pemanfaatan besi dari slag nikel untuk saat ini masih jarang dilakukan. Potensi pemanfaatan besi dari slag nikel menjadi lebih menarik jika dikaitkan dengan proses pengolahan air limbah pertambangan bijih

nikel karena masalah utama di dalam proses pengelolaan air limbah pertambangan bijih nikel adalah Cr(VI) dan total padatan tersuspensi (*total suspended solid, TSS*).

Reduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) dapat dilakukan dengan menggunakan ion Fe(II) yang berasal dari fero sulfat. Fero sulfat selain digunakan untuk mereduksi Cr(VI) juga sekaligus sebagai koagulan untuk mengendapkan logam-logam terlarut dan padatan tersuspensi (*suspended solid, SS*). Di dalam air Cr(VI) umumnya ada dalam spesi Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>, CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, H<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> dan HCrO<sub>4</sub><sup>-</sup> (Pradhan et al, 2017). Reaksi Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup> dengan Fe<sup>2+</sup> dalam media asam adalah sebagai berikut (Sevin, 2008):



Jika spesi Cr(VI) yang ada di dalam air adalah CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> maka reaksi reduksinya adalah sebagai berikut (Moncekova et al, 2016):



Partikel Fe(OH)<sub>3</sub> yang terbentuk selama proses reduksi akan bertindak mendestabilkan partikel koloid di dalam air limbah dan sebagai adsorben di dalam proses agregasi dan aglomerasi polutan yang ada di dalam air limbah (Smoczynski et al, 2019).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh fero sulfat dari slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur yang berpotensi dapat dimanfaatkan untuk proses pengolahan air limbah pertambangan bijih nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur. Oleh karena itu, karakterisasi slag nikel dan proses pelindian slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur untuk mendapatkan fero sulfat telah dilakukan.

## 2. Bahan dan Metoda

### 2.1. Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam proses karakterisasi slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur adalah *pulverizer* dan saringan, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk menentukan mineral utama di dalam slag, SEM-EDX untuk menentukan morfologi dan kandungan unsur-unsur utama, dan ICP-OES untuk menentukan kandungan logam sesuai Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.09 Tahun 2006, ditambah logam arsenik. Karakterisasi slag nikel tersebut dilakukan di tiga tempat yang berbeda. Analisis XRD dilakukan di laboratorium Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Mineral (PTPSM) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Analisis SEM-EDX dilakukan di Laboratorium Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Dan analisis slag nikel dengan ICP-OES di lakukan di laboratorium ALS.

Alat-alat yang digunakan dalam proses pelindian slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu

Timur adalah spektrofotometer Hach DR/900, pH meter Hanna 98129, wadah plastik kapasitas 5 liter, pipet makro dan mikro, labu takar 100 ml, gelas ukur 2 liter, *handheld vacuum pump*, kertas saring Whatman 0.45 mikron, gelas ukur plastik 2 liter dan timbangan.

Bahan-bahan yang digunakan dalam proses pelindian slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur adalah sampel slag nikel yang diberikan dari pihak perusahaan, asam sulfat teknis 98% dari SmartLab, dan *ferrous iron reagent* dari Hach untuk proses analisis Fe(II).

**2.2. Prosedur kerja dan pengumpulan data**

**2.2.1. Pembuatan larutan pelindian**

Konsentrasi asam sulfat yang digunakan pada proses pelindian adalah 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,5; 1 dan 2 mol/L. Penentuan molaritas asam sulfat dari asam sulfat 98 % dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Molaritas (M) = \frac{\rho * \% * 10}{Mr} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana ρ adalah massa jenis asam sulfat yaitu 1,8 g/ml, % adalah kemurnian asam sulfat dan Mr adalah massa molar asam sulfat yaitu 98 g/mol. Dengan persamaan tersebut maka diperoleh molaritas asam sulfat 98% yaitu 18 mol/L.

Penentuan molaritas asam sulfat yang lebih encer dihitung dengan menggunakan rumus pengenceran yaitu sesuai persamaan:

$$M_1V_1 = M_2V_2 \dots\dots\dots(2)$$

Dimana M<sub>1</sub> dan M<sub>2</sub> adalah molaritas (mol/L) larutan, V<sub>1</sub> dan V<sub>2</sub> adalah volume larutan dalam ml.

**2.2.2. Pelindian pada variasi asam**

Ditimbang masing-masing sebanyak 500 gram sampel slag nikel kemudian dimasukkan ke dalam masing-masing wadah plastik kapasitas 5 liter. Ditambahkan masing-masing 1 liter larutan pelindi pada tiap-tiap sampel slag yang ada di dalam wadah plastik tersebut dengan variasi konsentrasi asam 0,2 M; 0,25 M; 0,3 M; 0,35 M; 0,5 M; 1 M; dan 2 M. Sampel slag yang telah direndam larutan pelindi tersebut dibiarkan selama 24 jam. Diakhir pelindian dilakukan analisis kandungan Fe(II) dan pH larutan pelindiannya.

**2.2.3. Pelindian pada variasi waktu**

Ditimbang masing-masing sebanyak 500 gram sampel slag nikel kemudian dimasukkan ke dalam masing-masing wadah plastik kapasitas 5 liter. Ditambahkan masing-masing 1 liter larutan pelindi pada tiap-tiap sampel slag yang ada di dalam wadah plastik tersebut dengan variasi konsentrasi asam 0,2 M; 0,25 M; 0,3 M; dan 0,35 M. Sampel slag yang telah direndam oleh larutan pelindi tersebut didiamkan selama lima hari. Sampling dilakukan setiap 24 jam dan dianalisis kandungan Fe(II) serta pH larutannya.

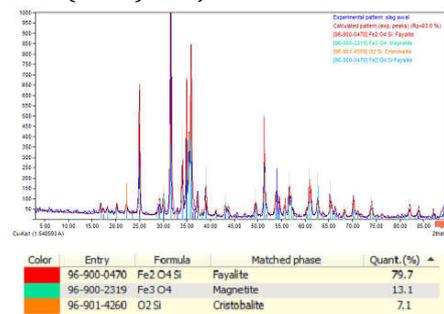
**2.2.4. Analisis Fe(II) dengan metode 1,10 phenanthroline**

Di *setting* angka program 33 untuk *ferrous iron* pada spektrofotometer Hach DR/900, kemudian ditekan enter. Pada layar akan muncul tulisan mg/L Fe dan ZERO. Dimasukkan blanko ke dalam kuvet 25 ml selanjutnya kuvet dimasukkan ke dalam spektrofotometer, kemudian ditekan tombol ZERO, maka akan muncul 0,00 mg/L Fe. Dimasukkan sampel ke dalam kuvet 25 ml, tambahkan reagent *ferrous iron*, diaduk sampai homogen. Ditekan tombol TIMER ENTER, diamkan sampel selama 3 menit (apabila muncul warna orange menunjukkan bahwa pada sampel tersebut mengandung Fe(II)). Setelah 3 menit, dimasukkan kuvet ke dalam spektrofotometer, tekan tombol READ, maka akan muncul hasil Fe(II) dalam mg/L.

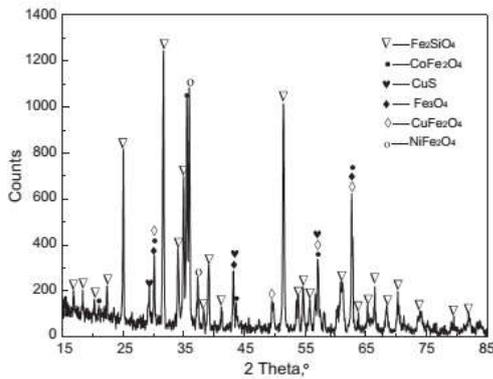
**3. Hasil dan Pembahasan**

**3.1. Analisis Mineralogi**

Analisis mineralogi dengan XRD dan pengolahan datanya dengan software “Match” menunjukkan hasil bahwa mineral utama penyusun sampel slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur adalah fayalit (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) dan kristobalit (SiO<sub>2</sub>). Pola XRD dari slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur disajikan di dalam Gambar 1. Sementara itu dari hasil penelitian lain diperoleh data bahwa komposisi mineral dalam *converter slag* nikel adalah fayalit, magnetit, tembaga sulfida dan logam ferat (Huang et al, 2015), dan dalam slag nikel adalah *forsterite*, *ferroan*, *clinoenstatite*, *akermanite* dan *quartz* (Wu et al, 2018). Slag nikel yang digunakan di dalam penelitian ini lebih mendekati dengan *converter slag* nikel yang diteliti oleh Huang et al. (2015) karena kandungan mineral utamanya terdiri dari fayalit dan magnetit serta peak pada pola XRD dari 2θ 25-85° relatif sama. Di PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur sendiri slag nikel dikelompokkan berdasarkan lokasinya yang terdiri dari *electric furnace slag* (EFS), *converter slag* (CS), *Petea slag file*, *Bonsora slag file*, *slag dump* dan slag MHR. Pola XRD dari *converter slag* nikel yang telah diperoleh oleh Huang et al. (2015) disajikan di dalam Gambar 2.



**Gambar 1** Pola XRD dan komposisi mineral utama slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur



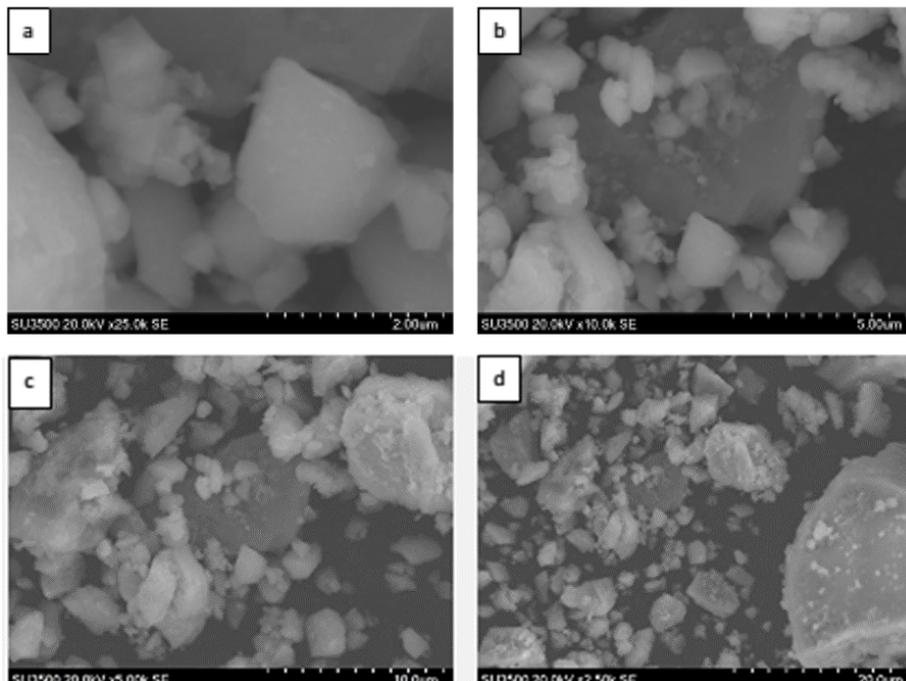
Gambar 2 Pola XRD dari *converter slag* nikel

**3.2. Analisis morfologi dan unsur-unsur utama**

Analisis morfologi dan unsur-unsur dominan pada sampel slag nikel yang sudah dikeringkan pada temperatur 105 derajat Celsius selama 24 jam, dihaluskan dengan proses *pulverizer* dan kemudian disaring hingga mendapatkan sampel dengan ukuran partikel -200 mesh dilakukan menggunakan alat *scanning electron microscope-energy dispersive X-ray* (SEM-EDX) dengan melakukan *scanning* pada pembesaran 25k, 10k, 5k dan 2,5k. Morfologi sampel slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur berdasarkan hasil analisis SEM adalah bentuknya poligon tidak beraturan (teramati pada foto hasil SEM dengan pembesaran 5k dan 2,5k) dan permukaannya halus serta padat (teramati pada foto hasil SEM dengan pembesaran 25k). Sementara pori-pori pada permukaan slag tidak dapat teramati pada foto hasil SEM sehingga kemungkinannya slag memiliki porositas yang kecil. Hasil analisis morfologi

yang diperoleh ini terkonfirmasi dengan hasil analisis morfologi slag nikel yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang menyatakan bahwa morfologi slag nikel adalah bentuknya poligon tidak beraturan, memiliki permukaan halus dan padat (Qi et al, 2019). Hasil foto SEM slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur pada beberapa pembesaran (*magnification*) disajikan di dalam Gambar 3.

Hasil analisis unsur-unsur utama di dalam slag nikel yang dilakukan pada beberapa titik pengamatan sesuai data di Tabel 1, menunjukkan hasil bahwa unsur-unsur dominannya adalah besi (Fe), oksigen (O), silika (Si), sulfur (S), magnesium (Mg), nikel (Ni), tembaga (Cu) dan aluminium (Al). dan unsur-unsur lain yang juga teramati adalah kromium (Cr), Indium (In), timah (Sn) dan talium (Tl). Unsur besi (Fe) dan silika (Si) adalah unsur yang paling dominan di dalam slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur, kecuali pada titik pengamatan 4 dimana Fe yang teramati hanya 0,6%. Pada titik 4 tersebut kemungkinan sampel mineral yang tertembak permukaannya oleh EDX adalah kristobalit karena hasil menunjukkan kandungan Si dan O yang dominan. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya (Huang et al, 2015), seperti data yang disajikan di dalam Tabel 2, maka unsur-unsur utama penyusun slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur relatif hampir mendekati dengan unsur-unsur utama penyusun *converter slag* nikel.



Gambar 3 Foto hasil SEM dari slag nikel pada pembesaran 25k (a), 10k (b), 5k (c) dan 2,5k (d)

**Tabel 1.** Kandungan unsur-unsur dominan di dalam slag nikel berdasarkan hasil EDX pada beberapa titik pengamatan

No	Unsur	Satuan	Hasil (titik pengamatan)						
			1	2	3	4	5	6	7
1	O	% massa	31,55	37,89	49,48	62,40	34	35,07	33,86
2	Mg	% massa	0,39	-	15,24	-	0,40	0,16	0,19
3	Al	% massa	0,26	-	0,22	-	0,17	0,18	0,18
4	Si	% massa	4,55	12,00	15,50	35,56	11,72	11,28	11,44
5	S	% massa	1,28	0,36	0,79	-	0,99	1,74	0,25
6	Cr	% massa	1,24	-	-	-	-	-	-
7	Fe	% massa	60,05	49,55	15,91	0,60	52,37	50,95	53,55
8	Ni	% massa	0,49	0,21	2,56	0,02	0,21	0,37	0,51
9	Cu	% massa	0,20	-	0,30	-	0,16	0,26	0,03
10	In	% massa	-	-	-	0,28	-	-	-
11	Sn	% massa	-	-	-	0,44	-	-	-
12	Tl	% massa	-	-	-	0,71	-	-	-

**Tabel 2.** Komposisi kimia *converter slag* nikel (% berat) (Huang et al, 2015)

Ukuran fraksi (µm)	Ni	Co	Cu	Fe	Si	S
-250 + 150	1,456	0,593	0,642	47,820	12,340	0,497
-150 + 74	1,475	0,601	0,650	47,340	13,250	0,569
-74 + 48	1,485	0,587	0,659	48,060	12,850	0,502
-48	1,480	0,594	0,650	47,490	12,890	0,542

**3.3. Analisis kandungan logam**

Analisis kandungan logam pada sampel slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur bertujuan untuk mengetahui kandungan logam dalam slag nikel. Analisis dilakukan di laboratorium ALS. Parameter logam yang dianalisis yaitu As, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Ni dan Zn. Parameter-parameter tersebut kecuali As, merupakan parameter yang ada di dalam Baku Mutu air limbah pertambangan bijih nikel sesuai PerMenLH No. 9 Tahun 2006.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada sampel slag nikel kandungan logam besi merupakan yang paling tinggi, disusul nikel, kobal dan tembaga. Logam-logam tersebut merupakan logam-logam yang berharga. Konsentrasi besi dalam sampel slag nikel adalah 370.000 mg/kg atau 37%, nikel 4790 mg/kg atau 0,479%, kobal 3610 mg/kg atau 0,361% dan tembaga 843 mg/kg atau 0,0843%. Hasil analisis kandungan logam di dalam slag nikel pada penelitian ini dan dari beberapa peneliti yang lain disajikan di dalam Tabel 3.

**Tabel 3.** Kandungan logam dalam slag nikel

No	Parameter	Satuan	Hasil Penelitian	Huang, et al. (2015)	Ettler et al. (2016)	Perederiy et al. (2011)	Gbor et al. (2000)
1	Arsenik (As)	mg/kg	<0.1	-	26,2±0	-	-
2	Kadmium (Cd)	mg/kg	6.79	-	4,58±0,23	-	-
3	Kromium (Cr) total	mg/kg	361	-	7580±150	20	-
4	Kobal (Co)	mg/kg	3610	587	73,3±1,1	630	1222
5	Tembaga (Cu)	mg/kg	843	659	<5	690	120
6	Besi (Fe)	mg/kg	370.000	480.600	95.400±4600	528.000	337.780
7	Timbal (Pb)	mg/kg	15.9	-	-	40	-
8	Nikel (Ni)	mg/kg	4790	1485	779±22	1050	2960
9	Seng (Zn)	mg/kg	110	-	98,6±0,9	160	190

**3.4. Pelindian slag nikel**

Pelindian adalah proses ekstraksi zat dari padatan dengan melarutkannya di dalam larutan, baik secara alami maupun melalui proses industri. Pelindian logam dari slag telah banyak dikembangkan diantaranya pelindian menggunakan agen pelindi seperti ferisulfat, amonium sulfat, feriklorida, asam sulfat dan asam sulfur/oksigen (Gbor et al, 2000). Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses pelindian logam dalam sistem padat-cair adalah jenis agen pelindi, ukuran partikel, heterogenitas fasa mineral dalam matriks padatan, waktu, temperatur, pH, kondisi redoks dan kompleksasi (Van der Sloot, 1997).

Proses pelindian besi dari slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur dilakukan dengan proses yang sederhana. Disebut sederhana karena proses pelindiannya tidak melakukan pengkondisian parameter seperti tekanan (P),

temperatur (T), penambahan zat aditif, pengendalian ukuran partikel slag ataupun pengadukan.

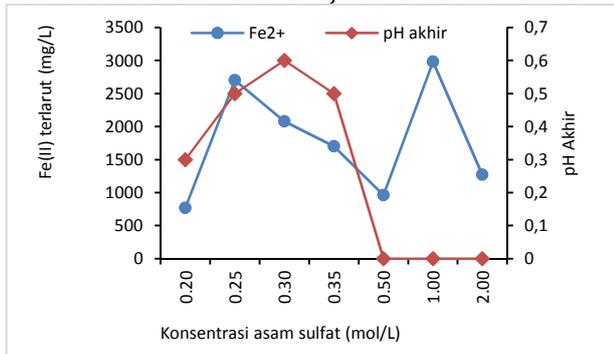


**Gambar 4** Sampel slag dan pelindiannya

Proses percobaan pelindian dilakukan dengan menggunakan variasi konsentrasi asam sulfat dan waktu. Perbandingan antara pelindi dan material yang dilindi (L/S) yaitu 500 gram slag dilindi dalam 1 liter pelarut asam, atau rasio berat/volume yang digunakan adalah sekitar 0,5 gram/volume. Percobaan pelindian dilakukan untuk menentukan pengaruh konsentrasi asam sulfat dan waktu terhadap besarnya Fe(II) yang dapat terlarutkan.

**3.4.1. Pengaruh konsentrasi asam**

Percobaan untuk menentukan pengaruh konsentrasi asam terhadap proses pelindian Fe(II) dari slag nikel telah dilakukan dengan menggunakan variasi konsentrasi asam sulfat 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,5; 1; dan 2 mol/L serta waktu pelindian selama satu hari. Pemakaian variasi konsentrasi asam sulfat tersebut mampu menghasilkan Fe(II) terlarut secara berturut-turut yaitu 770; 2700; 2080; 1700; 960; 2980 dan 1270 mg/L. Sementara itu pH akhir proses pelindian adalah secara berturut-turut 0,3; 0,5; 0,6; 0,5; <0,1; <0,1 dan <0,1. Hasil pelindian slag nikel pada variasi konsentrasi asam sulfat disajikan di dalam Gambar 5.

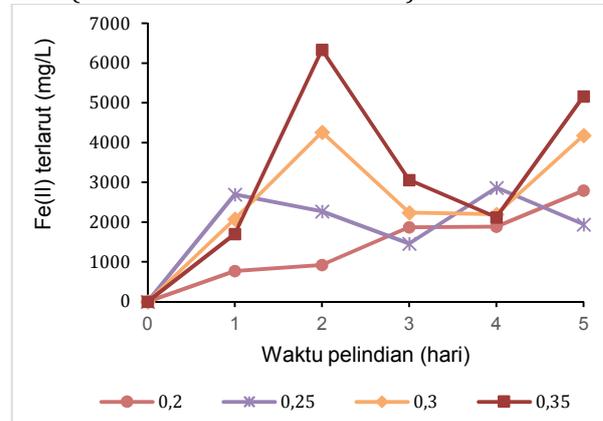


**Gambar 5** Pengaruh konsentrasi asam terhadap pelarutan Fe(II) dari slag nikel

Hasil tersebut menunjukkan belum ditemukan adanya korelasi antara konsentrasi asam terhadap pelarutan besi(II) dan juga pH akhir pelindian. Hasil ini berbeda dengan apa yang telah diperoleh oleh peneliti sebelumnya dimana ada korelasi antara konsentrasi asam terhadap pelarutan besi(II) dan pH akhir pelindian slag yaitu semakin tinggi konsentrasi asam sulfat maka besi(II) yang terlarut semakin tinggi dan pH akhir pelarutan semakin rendah (Huang et al, 2015). Perbedaan hasil yang diperoleh ini kemungkinan diakibatkan oleh sebaran besi di dalam sampel slag nikel dalam penelitian ini yang tidak merata, karena tidak dilakukan pengkondisian ukuran partikel sementara itu Huang et al. (2015) melakukannya dengan melakukan pengkondisian ukuran menggunakan alat ball mill dan penyaringan basah.

Secara kualitatif, pemakaian konsentrasi asam sulfat pada rentang 0,2-0,35 mol/L menarik untuk dikaji lebih jauh. Hal ini karena konsentrasinya relatif rendah namun dapat melarutkan Fe(II) yang relatif cukup tinggi. Konsentrasi asam yang rendah juga lebih memudahkan di dalam proses

penanganannya jika dikaitkan dengan aspek keselamatan. Selain itu pH akhir yang dihasilkan relatif lebih tinggi dibandingkan dengan pemakaian konsentrasi asam 0,5-2 mol/L. Dengan demikian, ketika larutan hasil pelindian mempunyai Fe(II) terlarut dan pH tinggi akan lebih menguntungkan jika digunakan di dalam proses reduksi Cr(VI) di dalam air limbah pertambangan karena diakhir proses tidak perlu menaikkan lagi pH ke rentang 6-9 sesuai Baku Mutu (PerMenLH No 9 Tahun 2006).

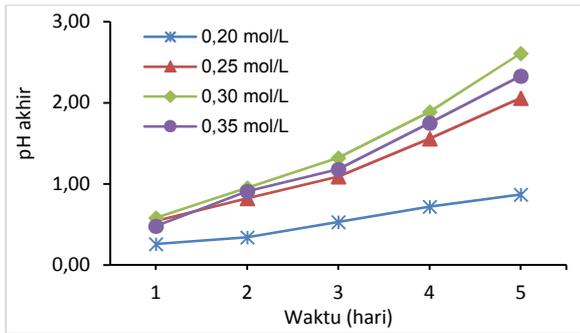


**Gambar 6** Pengaruh waktu terhadap pelarutan Fe(II) dari slag nikel

**3.4.2. Pengaruh waktu**

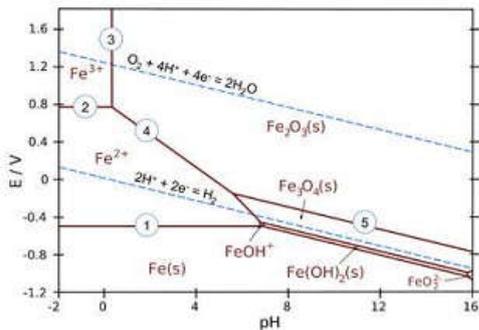
Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap proses pelindian padat-cair adalah waktu. Untuk menentukan pengaruh waktu terhadap pelarutan Fe(II) dari slag nikel maka dilakukan pelindian menggunakan konsentrasi asam sulfat 0,2; 0,25; 0,3; dan 0,35 mol/L, dan pelindian selama 5 hari dimana setiap hari dilakukan sampling untuk analisis Fe(II) yang terlarut. Hasilnya menunjukkan bahwa pada pemakaian asam sulfat 0,2 mol/L, pelarutan Fe(II) dari hari ke-1 hingga hari ke-5 terus mengalami kenaikan. Sementara pada pemakaian asam sulfat 0,25; 0,3; dan 0,35 mol/L, pelarutan Fe(II) dari hari ke-1 hingga hari ke-5 terdapat fluktuatif. Data tersebut seperti yang dapat dilihat di dalam Gambar 6.

Nilai pH larutan hasil pelindian dari hari ke-1 hingga hari ke-5 cenderung meningkat. Perubahan pH larutan tersebut diukur satu kali dalam sehari. Pada pemakaian pelindi asam sulfat 0,2 mol/L, pH yang terukur di hari ke-1,2,3, 4 dan ke-5 yaitu 0,26; 0,34; 0,53; 0,72 dan 0,87. Peningkatan pH yang terjadi tersebut adalah yang terendah jika dibandingkan dengan peningkatan yang terjadi pada pemakaian larutan pelindi yang lain. Hal ini dapat tergambarkan dari kemiringan garis atau *slope* pada grafik yang terdapat di dalam Gambar 7. Sementara itu perubahan pH yang terjadi pada konsentrasi asam sulfat lain yaitu 0,54; 0,82; 1,09; 1,56 dan 2,06 pada pelindi asam sulfat 0,25 mol/L kemudian 0,58; 0,95; 1,32; 1,89 dan 2,61 pada pelindi asam sulfat 0,30 mol/liter dan 0,48; 0,91; 1,18; 1,75 dan 2,33 pada pelindi asam sulfat 0,35 mol/L.



**Gambar 7** Perubahan pH yang terjadi pada proses pelindian selama 5 hari

Kestabilan ion Fe(II) di dalam air sangat dipengaruhi oleh proses reduksi-oksidasi dan pH lingkungan. Hal ini terilustrasikan sesuai dengan diagram Pourbaix yang ada di dalam Gambar 8.



**Gambar 8** Diagram Pourbaix Fe pada konsentrasi ionik 1 mM (Revie dan Uhlig, 2008)

Kestabilan ion Fe(II) menurut diagram tersebut dibatasi oleh garis yang ditandai no 1, 2 dan 4. Pada garis no 1 dan 2 reaksinya dipengaruhi murni oleh proses redoks dan tidak tergantung pada pH. Sementara pada garis no 4 reaksinya dipengaruhi oleh proses redoks dan reaksi asam basa. Reaksi yang terjadi pada kondisi tersebut yaitu:

- Pada garis no.1 reaksi yang terjadi adalah :  $Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe(s)$
- Pada garis no.2 reaksi yang terjadi adalah :  $Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$
- Pada garis no.4 reaksi yang terjadi adalah :  $2Fe^{2+} + 3H_2O \rightarrow Fe_2O_3(s) + 6H^+ + 2e^-$

Proses pelarutan Fe(II) pada penggunaan konsentrasi asam sulfat 0,2 mol/L, meningkat seiring dengan lamanya waktu pelindian hingga 5 hari. Sementara itu pada rentang konsentrasi asam sulfat 0,25-0,35 mol/L konsentrasi Fe(II) yang terlarut nilainya fluktuatif dari waktu ke waktu. Pada konsentrasi asam sulfat 0,2 mol/L, peningkatan konsentrasi Fe(II) terlarut seiring dengan perubahan pH yang terjadi yang meningkat secara gradual. Peningkatan pH yang lebih signifikan terjadi pada penggunaan asam sulfat 0,25-0,35 mol/L dan seiring dengan kelarutan Fe(II) dari slag nikel yang cukup tinggi tetapi berubah secara fluktuatif seiring waktu pelindian. Konsentrasi Fe(II) yang fluktuatif tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh reaksi Fe(II) menjadi  $Fe_2O_3$  dimana reaksinya sangat dipengaruhi oleh pH dan proses redoks. Jadi ketika konsentrasi Fe(II) meningkat maka laju pelarutan jauh lebih tinggi

dibandingkan laju reaksi Fe(II) menjadi  $Fe_2O_3$ , hal ini terbukti pada waktu pelindian hingga hari ke-2 pada penggunaan konsentrasi asam sulfat 0,3 dan 0,35 mol/L. Hal sebaliknya terjadi pada waktu pelindian dari 2 hingga 4 hari yaitu laju reaksi Fe(II) menjadi  $Fe_2O_3$  lebih tinggi dibandingkan laju pelarutan Fe(II). Kemungkinan pH larutan juga dipengaruhi oleh batuan asal dari bijih nikel yang bersifat ultra basa yang hingga proses peleburan karakteristik kebiasaannya masih ada.

Proses pelindian Fe(II) dari slag nikel menggunakan  $H_2SO_4$  dapat melarutkan logam-logam yang lain. Kondisi ini terjadi karena slag nikel mempunyai komposisi mineral dan unsur yang cukup banyak. Tujuan berikutnya dari kajian awal pelindian Fe(II) dari slag nikel adalah untuk menentukan bahwa fero sulfat yang diperoleh dapat digunakan untuk proses pengolahan air limbah pertambangan bijih nikel, untuk itu maka larutan hasil pelindian dianalisis kandungan logamnya yang terkait dengan Baku Mutu air limbah pertambangan bijih nikel yaitu Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, serta Cr, dan sebagai tambahan logam arsenik (As) juga dianalisis karena unsur ini sangat toksik bagi lingkungan. Hasil analisis terhadap larutan hasil pelindian slag nikel selama 4 hari dengan menggunakan rasio volume pelindi terhadap berat slag nikel yaitu 1000 ml/500 gram dan konsentrasi asam sulfat 0,2 mo/L disajikan di dalam Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil analisis larutan hasil pelindian slag nikel

No	Parameter	Satuan	Hasil
1	Besi (Fe)	mg/L	7520
2	Kobal (Co)	mg/L	49.6
3	Nikel (Ni)	mg/L	52.3
4	Tembaga (Cu)	mg/L	0.0282
5	Seng (Zn)	mg/L	1.90
6	Kadmium (Cd)	mg/L	<0.001
7	Timbal (Pb)	mg/L	<0.005
8	Kromium (Cr) total	mg/L	0.0723
9	Arsenik (As)	mg/L	<0.001

#### 4. Kesimpulan

Komposisi mineral utama slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur adalah fayalit ( $Fe_2SiO_4$ ), magnetit ( $Fe_3O_4$ ) dan kristobalit ( $SiO_2$ ), morfologinya adalah bentuknya poligon tidak beraturan dengan permukaannya halus dan padat, unsur-unsur dominan penyusunnya adalah besi (Fe), oksigen (O), silika (Si), sulfur (S), magnesium (Mg), nikel (Ni), tembaga (Cu), aluminium (Al) dan kromium (Cr). Hasil analisis ICP-OES menunjukkan bahwa dalam slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur kandungan logam besi merupakan yang paling tinggi disusul nikel, kobal dan tembaga. Logam-logam tersebut merupakan logam-logam yang berharga. Konsentrasi besi dalam sampel slag nikel

adalah 370.000 mg/kg atau 37%, nikel 4790 mg/kg atau 0,479%, kobal 3610 mg/kg atau 0,361% dan tembaga 843 mg/kg atau 0,0843%.

Pelindian slag nikel PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur yang dilakukan pada perbandingan volume pelindi terhadap berat slag nikel 1000 ml/500 gram (v/w), konsentrasi asam sulfat 0,2; 0,25; 0,3 dan 0,35 mol/L dan waktu pelindian 5 hari telah berhasil melarutkan Fe(II) secara berturut-turut 2790; 1940; 4180 dan 5160 mg/L.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur atas dukungan serta pembiayaan kegiatan penelitian ini sesuai kontrak no 46000029407 amandemen ke-4.

#### DAFTAR PUSTAKA

Ettler, V., Kvail, J., Sebek, O., Johan, Z., Mihaljevic, M., Ratie, G., Garnier, J., Quantin, C., 2016, Leaching behaviour of slag and fly ash from laterite nickel ore smelting (Niquelandia, Brazil), *J. Appl. Geochem*, 64, 118-127.

Gbor, P.K., Ahmed, I. B., Jia, C.Q., 2000, Behaviour of Co and Ni during aqueous sulphur dioxide leaching of nickel smelter slag, *Hydrometallurgy*, 57, 13-22.

Huang, F., Liao, Y., Zhou, J., Wang, Y., Li, H., 2015, Selective recovery of valuable metals from nickel converter slag at elevated temperature with sulfuric acid solution, *Sep. Purif. Technol*, 156, 572-581

Jefriyanto, W., 2018, Analisis karakteristik paduan logam oksida Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan slag nikel, *J. Neutrino*, 1, 33-38.

Moncekova, M., Novotny, R., Koplík, J., Kalina, L., Bilek, V., Soukal, F., 2016, Hexavalent chromium reduction by ferrous sulphate heptahydrate addition into the Portland clinker, *Procedia. Eng*, 151, 73-79.

Pemerintah Republik Indonesia. (2006). Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 09 Tahun 2006 Tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Bijih Nikel. Jakarta, Sekretariat Negara.

Pemerintah Republik Indonesia. (2014). Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Jakarta, Sekretariat Negara.

Perederiy, I., Papangelakis, V. G., Buarzaiga, M., Mihaylov, I., 2011, Co-treatment of converter slag and pyrrhotite tailings via high pressure oxidative leaching, *J. Hazard. Mater*, 194, 399-406.

Pradhan, D., Sukla, L. B., Sawyer, M., Rahman, P.K.S.M., 2017, Review: Recent bioreduction of hexavalent chromium in wastewater treatment: A review, *J. Ind. Eng. Chem*, 55, 1-20.

Qi. W., Changjuan, Y., Jianming. Y., Linlin. C., Xuacheng. X., Qisheng. W., 2019, Influence of nickel slag powders on properties of magnesium potassium phosphate cement paste, *Constr. Build. Mater*, 2015, 668-678.

Revie, R. W., Uhlig, H. H., (2008). *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering*, Fourth Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Sevim, F., Demir, D., 2008, Investigation of reduction kinetics of Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup> in FeSO<sub>4</sub> solution, *Chem. Eng. J*, 143, 161-166.

Smoczynski, L., Kalinowski, S., Cretescu, I., Smoczynski, M., Ratnaweera, H., Trifescu, M., Kosobucka, M., 2019, Study of sludge particles formed during coagulation of synthetic and municipal wastewater for increasing the sludge dewatering efficiency, *Water*, 11, 101; doi:10.3390/w11010101.

Van der Sloot, H., Heasman, L., quevauviller, P., 1997, Harmonization of Leaching Extraction Tests, in *Studies in environmental Science* 70, Elsevier, 13-39.

Wu, Q., Wu, Y., Tong, W., Ma, H., 2018, Utilization of nickel slag as raw material in the production of Portland cement for road construction, *Constr. Build. Mater*, 193, 426-434.

Xi, B., Li, R., Zhao, X., Dang, Q., Zhang, D., Tan, W., 2018, Perspective Constrains and opportunities for the recycling of growing ferronickel slag in China, *Resour. Conserv. Recycl*, 139, 15-16