

Proses Produksi Feronikel dari Bijih Nikel Laterit dengan Metode *Rotary Kiln – Electric Furnace* (RKEF)

Sudaryanto Sudaryanto

Prodi Teknik Metalurgi, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral,
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Untung Sukamto

Prodi Teknik Metalurgi, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral,
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Ibnu Cahyo Nugroho

Prodi Teknik Metalurgi, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral,
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Alamat: Jl. Babarsari 2, Tambakbayan, Depok, Sleman, Yogyakarta, 55281

Korespondensi Penulis: 116190048@student.upnyk.ac.id

Abstract. Indonesia is one of the leading producers of nickel. The process of producing nickel from laterite ore is mainly used to make ferronickel, nickel matte, or nickel metal. Laterite nickel ore with a Ni content greater than 1.8% can be processed through pyrometallurgical methods. The production of ferronickel using the Rotary Kiln-Electric Furnace method involves a series of steps, including the transportation of raw materials, drying of samples, moisture content testing, sample testing, smelting, pouring, and metal testing. The object of this study is laterite nickel from the Bahodopi and Pomalaa sites of PT Vale Indonesia Tbk. The object has been divided into four samples, namely Bahodopi Low Limit, Bahodopi Upper Limit, Pomalaa Low Limit, and Pomalaa Upper Limit, with varying levels of nickel content. The aim of this research is to produce ferronickel with a high nickel grade. The grade and recovery of nickel from the smelting of Bahodopi Low Limit, Bahodopi Upper Limit, Pomalaa Low Limit, and Pomalaa Upper Limit samples are as follows grade Ni 7.98%; 12.75%; 8.94%; 10.85% and recovery Ni 37.46%; 90.52%; 50.43%; 86.85%. The low grade and recovery in the Bahodopi Low Limit sample can be attributed to the initial nickel melted being much lower than the other samples and the appearance of eustantite, clinoesnantite ($(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Mg})_2\text{Si}_2\text{O}_6$), and forsterite ($\text{Mg}_{1.7}\text{NiO}_{.3}\text{O}_4\text{Si}$) phases in the slag which can trap nickel and iron so that they remain in the slag.

Keywords: Nickel, Laterite, Saprolite, Ferronickel, Pyrometallurgy.

Abstrak. Indonesia merupakan salah satu penghasil nikel. Proses pembuatan nikel dari bijih laterit umumnya digunakan untuk membuat ferronikel, nikel matte, atau logam nikel. Bijih nikel laterit dengan kadar Ni > 1.8% dapat diolah dengan jalur pirometalurgi. Pembuatan feronikel ini dengan metode *Rotary Kiln – Electric Furnace*. Metode ini dilakukan mulai dari pengangkutan bahan baku, pengeringan sampel, pengujian *moisture content*, pengujian sampel, peleburan, penuangan hingga pengujian logam. Objek yang diteliti yaitu nikel laterit yang dikirimkan dari PT Vale Indonesia Tbk. site Bahodopi dan Pomalaa. Objek tersebut dibagi menjadi 4 sampel yaitu Bahodopi Low Limit, Bahodopi Upper Limit, Pomalaa Low Limit, dan Pomalaa Upper Limit dengan kadar yang berbeda-beda. Tujuan dari penelitian ini agar didapatkan produk berupa feronikel dengan *grade* nikel yang tinggi. Adapun *grade* dan *recovery* nikel hasil peleburan sampel Bahodopi Low Limit, Bahodopi Upper Limit, Pomalaa Low Limit, dan Pomalaa Upper Limit berturut-turut sebagai berikut grade Ni 7.98%; 12.75%; 8.94%; 10.85% dan *recovery* Ni 37.46%; 90.52%; 50.43%; 86.85%. Rendahnya *grade* dan *recovery* pada sampel Bahodopi Low Limit dapat disebabkan nikel awal yang dilebur jauh rendah dibandingkan sampel yang lain dan munculnya fasa *eustantite*, *clinoesnantite* ($(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Mg})_2\text{Si}_2\text{O}_6$), dan *forsterite* ($\text{Mg}_{1.7}\text{NiO}_{.3}\text{O}_4\text{Si}$) pada *slag* yang dapat menjebak nikel dan besi sehingga tertinggal pada *slag*.

Kata Kunci: Nikel, Laterit, Saprolit, Feronikel, Pirometalurgi.

PENDAHULUAN

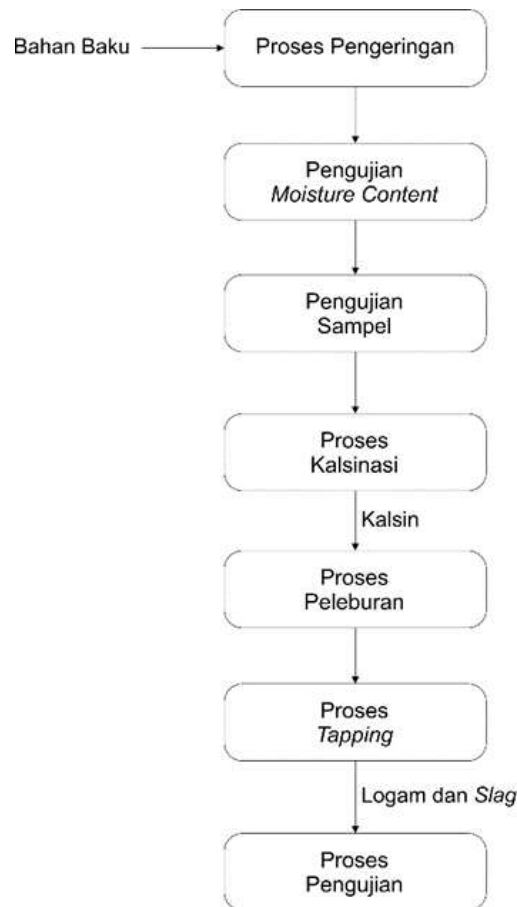
Nikel merupakan unsur paduan utama dari *stainless steel* dan sangat cepat mengalami pertumbuhan seiringan peningkatan permintaan *stainless steel*. Pada saat ini nikel sangat banyak digunakan dalam industri *stainless steel*, manufaktur *super alloy* atau *non-ferrous alloy*. Indonesia adalah salah satu negara penghasil nikel. Pada saat ini, bahan baku untuk membuat logam nikel berasal dari bijih nikel laterit dan bijih nikel sulfida. Peningkatan kadar untuk bijih nikel sulfida melalui cara flotasi, sedangkan untuk bijih nikel laterit sulit untuk ditingkatkan kadar nikel dengan cara flotasi. Proses pembuatan nikel dari bijih laterit umumnya digunakan untuk membuat ferronikel, nikel matte, logam nikel, atau bahan kimia yang mengandung unsur kimia. Proses ekstraksi ini dipengaruhi oleh kandungan kadar nikel. Bijih nikel laterit dengan kandungan Ni > 1,8% umumnya dapat diproses melalui jalur pirometalurgi. (Subagja et al., 2016)

Pembuatan ferronikel dari bijih nikel laterit dengan jalur pirometalurgi dapat dilakukan dengan metode *Rotary Kiln Electric Furnace* (RKEF). Awal proses ini dengan pengeringan kandungan *moisture* hingga 45% dengan proses *pre-treatment*. Bijih nikel laterit dikeringkan pada temperatur 250 °C dengan hingga kandungan *moisture*-nya mencapai 15-20% dengan *rotary dryer*. *Rotary dryer* menghasilkan produk yang selanjutnya menjadi umpan ke tahap kalsinasi (*pre-reduksi*) dengan temperatur 800-900 °C menggunakan *rotary kiln*. Proses reduksi adalah salah satu cara agar dapat meningkatkan kandungan mineral Ni dalam bijih nikel laterit dengan cara mereduksi bijih sehingga terjadi reaksi kimia dan terjadi reaksi reduksi seperti Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} dan Nio menjadi Ni yang dilanjutkan pemisahan *magnetic* sehingga kandungan Ni meningkat. Hasil tahap kalsinasi kemudian menjadi umpan proses peleburan di dalam *electric arc furnace* pada temperatur 1500-1600°C menghasilkan ferronikel. Pada proses peleburan terjadi reduksi nikel oksida dan besi oksida kalsin menjadi nikel, pelelehan dan pelarutan nikel dalam feronikel, dan pemisahan feronikel dari *slag* silika-magnesia. (Setiawan, 2016)

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam produksi feronikel yaitu dengan metode *Rotary Kiln – Electric Furnace* (RKEF) dengan bahan baku yang digunakan berupa bijih nikel laterit dari PT Vale Indonesia Tbk. yang dibagi menjadi empat macam sampel yaitu Bahodopi Low Limit, Bahodopi Upper Limit, Pomalaa Low Limit, dan Pomalaa Upper Limit. Proses produksi dilakukan mulai dari pengangkutan bahan baku, pengeringan sampel, pengujian

moisture content, pengujian sampel, peleburan, penuangan hingga pengujian logam. Alur proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. berikut.



Gambar 1 Diagram Alir Proses

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengeringan bijih dilakukan untuk mengurangi kadar air pada bijih. Kandungan air ini harus dikurangi hingga $<20\%$. Hal tersebut dilakukan agar pada proses kalsinasi di dalam *rotary kiln* tidak memakan terlalu banyak energi dan pada saat proses peleburan nantinya tidak menimbulkan ledakan pada *electric arc furnace*. Pengeringan dilakukan dengan menjemur bijih dan pemanasan bijih pada *oven*. Pengeringan awal sampel dilakukan dengan memanggang pada *oven* yang dilanjutkan pengeringan dengan penjemuran di bawah terik matahari.

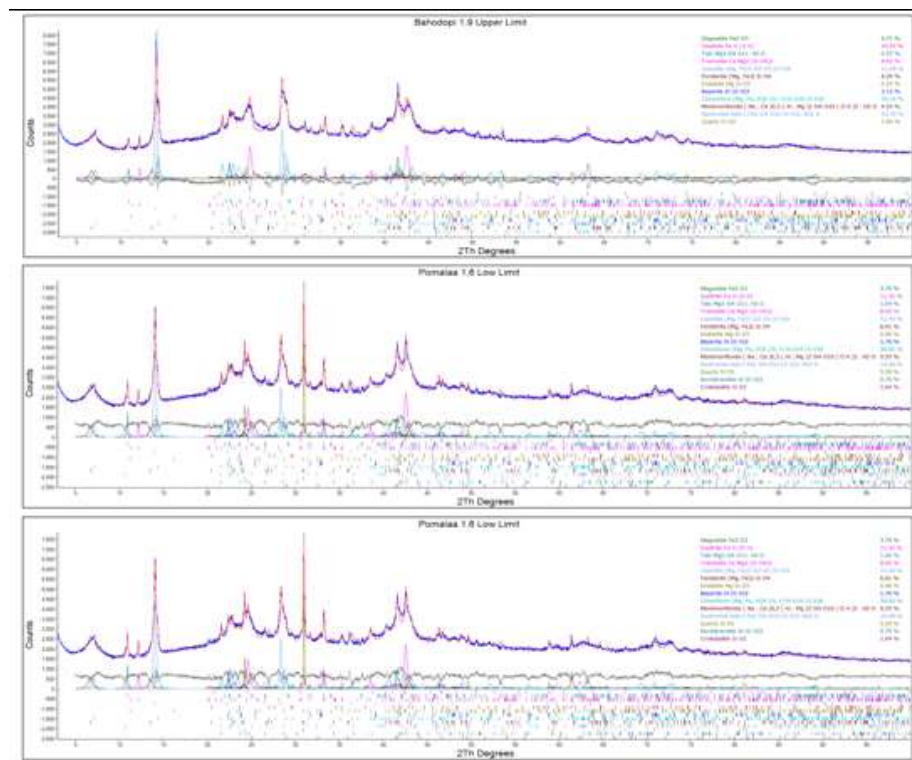
Proses selanjutnya dilanjutkan dengan pengujian *moisture content* guna mengetahui kadar air dari bijih. Penentuan ini dilakukan untuk mengetahui kondisi optimal guna mereduksi nikel *losses*, *maintenance* mesin, dan menekan polusi, dan keawetan mesin. *Moisture content* tidak dihilangkan sepenuhnya karena apabila *ore* dalam keadaan terlalu kering akan menjadi debu sehingga tidak dapat dilanjutkan ke proses selanjutnya. Apabila

hasil pengujian *moisture content* pada sampel masih lebih dari 20% maka akan dilakukan proses pengeringan kembali. Pengujian *moisture content* ini dilakukan dengan menggunakan alat yaitu *moisture analyzer*.

Untuk mengetahui sebaran mineral pada bijih yang diteliti dilakukan pengujian dengan *X-Ray Diffraction* (XRD). Hasil pengujian dari XRD didapatkan *peak* senyawa yang terkandung pada sampel pengujian. Semakin dominan senyawa yang terkandung di dalam bijih dapat dilihat dari semakin tinggi *peak* yang terbentuk. Hasil Analisa pada keempat sampel menunjukkan fasa dominan pada bijih nikel laterit berupa *clinochlore* $((\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Si,Cr})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8)$, *lizardite* $((\text{Mg,Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4)$, dan *goethite* (FeOOH) . Selain itu juga dilakukan pengujian XRF guna mengetahui komposisi unsur yang ada. Hasil analisa XRD dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1 Hasil Pengujian XRF dari Sampel

SAMPEL	Ni	FeO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	LOI
Bahodopi 1.6 Low Limit	1.61	22.55	38.08	21.77	2.86	0.67	10.72
Bahodopi 1.9 Upper Limit	2.01	26.17	35.06	20.49	2.62	0.49	10.96
Pomalaa 1.6 Low Limit	1.71	24.17	39.13	19.66	2.30	0.62	10.03
Pomalaa 1.9 Upper Limit	1.85	26.51	37.5	18.04	2.37	0.64	10.67



Gambar 2 Hasil Pengujian XRD pada Sampel

Dari hasil pengujian XRF seperti ditunjukkan pada Tabel 1. dapat dilihat bahwa kadar nikel yang dibenefisiassi melalui metode *Rotary Kiln – Electric Furnace* berada pada rentang 1.6 – 2.01%. Tingkat keekonomisan proses peleburan bijih nikel laterit ditentukan oleh kadar

unsur Ni dengan kadar diatas 1.7% yang dapat diproses dengan layak dalam kondisi skala besar, energi yang relatif rendah, dan biaya infrastruktur. Oleh karena itu, pemilihan proses jalur pirometalurgi melalui metode RKEF masih menarik untuk dilakukan pada sampel tersebut (Dalvi, 2004).

Peleburan dilakukan dengan menggunakan *Electric Arc Furnace*. Peleburan dilakukan sebanyak empat kali peleburan dengan empat jenis smapel yang berbeda. Proses peleburan diawali dengan mempersiapkan alat dan bahan.

Proses selanjutnya yaitu membersihkan *slag* hasil peleburan sampel sebelumnya di dalam *electric arc furnace*. Hal ini bertujuan untuk sampel yang akan dilebur tidak bercampur dengan *slag* peleburan sampel sebelumnya. Pembersihan *slag* ini dilakukan dengan cara memeringkan *electric arc furnace* agar nantinya *slag* dapat dibersihkan dan dipindah dengan mudah.

Proses selanjutnya yaitu menimbang elektroda yang digunakan pada *electric arc furnace*. Elektroda yang digunakan berupa batangan grafit dan krusibel yang digunakan juga dari bahan grafit. Penggunaan grafit dikarenakan memiliki kemampuan tahan api atau temperatur yang tinggi. Kemudian dilanjutkan dengan penimbangan sampel peleburan. Selain digunakan sebagai penghantar arus listrik, elektroda ini digunakan juga sebagai reduktor tambahan selain batubara yang sudah tercampur di dalam kalsin. Kemudian dilanjutkan dengan proses penimbangan sampel dan elektroda dengan timbangan fiksasi. Adapun berat elektroda pada peleburan sampel Bahodopi *Low Limit*, Bahodopi *Upper Limit*, Pomalaa *Low Limit*, dan Pomalaa *Upper Limit* didapatkan berat elektroda masing-masing yaitu 18.77 kg, 19.72 kg, 18.53 kg, dan 18.84 kg. Sementara itu, berat sampel hasil penimbangan pada peleburan sampel Bahodopi *Low Limit*, Bahodopi *Upper Limit*, Pomalaa *Low Limit*, dan Pomalaa *Upper Limit* didapatkan berat sampel masing-masing yaitu 73.57 kg, 56.05 kg, 62 kg, dan 57.49 kg.

Proses selanjutnya yaitu memasang elektroda pada *electric arc furnace*. Kemudian dilanjutkan dengan menyalakan *electric arc furnace* dan melakukan *pre-heating*. Hal ini dilakukan bertujuan untuk menghindari terjadinya *thermal shock* pada sampel. *Pre-heating* dilakukan selama 15 menit. Sebelum proses *pre-heating* dilakukan pengecekan kWh terlebih dahulu sebagai titik awal untuk mengukur konsumsi energi selama proses peleburan. Adapun hasil pengecekan kWh awal pada peleburan sampel Bahodopi *Low Limit*, Bahodopi *Upper Limit*, Pomalaa *Low Limit*, dan Pomalaa *Upper Limit* berturut-turut sebagai berikut 220.37 kWh, 213.91 kWh, 200.45 kWh, dan 207.29 kWh.

Setelah dilakukan proses *pre-heating*, sampel dimasukkan ke dalam *electric arc furnace* secara berkala. Hal ini dilakukan agar sampel dapat dilebur dengan sempurna. Selanjutnya mengecek *furnace* dengan *thermocouple* secara berkala agar dapat diketahui temperatur yang ingin dicapai untuk melelehkan logam dan *slag*. Alat *thermocouple*.

Selama proses peleburan tegangan dijaga dengan tetap dengan cara mengontrol jarak elektroda dengan permukaan kalsin melalui mekanisme naik turun elektroda. Arus listrik yang mengalir dijaga konstan pada kisaran 1000-2000 mA agar tidak terjadi ledakan, keluarnya gas dan cairan dapat terhalangi jika kandungan air di dalam kalsin masih tinggi ataupun rendah sehingga terbentuk debu-debu yang halus dan cukup tebal. Energi yang digunakan untuk melebur dapat terbuang jika permukaan elektroda tercelup terlalu ke dalam *slag* sehingga energi yang digunakan untuk memanaskan *slag*. Oleh karena itu, ujung pada elektroda harus berada tepat di permukaan kalsin sehingga busur api yang timbul dapat efektif untuk melebur kalsin.

Dengan temperatur operasi yang tinggi ~1500 C, maka akan terjadi pemisahan antara metal dan slag yang disebabkan oleh reaksi reduksi. Hasil reduksi berupa metal *metal* akan berada di bawah permukaan leburan sedangkan *slag* di atas permukaan leburan. Hal ini disebabkan karena *metal* cair memiliki berat jenis yang lebih besar dibandingkan *slag*. Bagian-bagian utama dari *slag* adalah SiO₂, MgO, dan yang lainnya adalah CaO, Al₂O₃, Cr₂O₃, dan MnO. Di dalam kalsin terdapat oksida-oksida yang tidak tereduksi seperti SiO₂, MgO, dan CaO, dan lain-lain yang akan meleleh dan membentuk *slag*.

Tapping dilakukan ketika logam yang di dalam *furnace* sudah meleleh menjadi logam cair. Sebelum proses *tapping*, temperatur dinaikkan 25°C sampai 50°C diatas temperatur 1500°C dan ditahan selama 5 menit sebelum *tapping* yang bertujuan untuk menghindari *solidification* dengan cepat. *Slag* dan logam dikeluarkan melalui tempat yang sama dilakukannya pemasukan sampel ke dalam *electric arc furnace*. Hal ini dikarenakan konstruksi *electric arc furnace* yang ada hanya menggunakan satu jalur untuk mengeluarkan logam dan *slag* ataupun memasukan sampel. Proses *tapping* dilakukan dengan menuangkan *slag* terlebih dahulu pada krusibel grafit dikarenakan *slag* berada di atas leburan yang disebabkan *slag* memiliki berat jenis lebih kecil dibandingkan berat jenis logam. Pada saat *tapping slag* sudah dituangkan sepenuhnya langsung dilanjutkan proses *tapping* logam pada cetakan yang dilakukan dengan sangat cepat agar logam tidak cepat mengalami *solidification*.

Setelah proses *tapping* dilanjutkan dengan penimbangan logam, *slag*, dan elektroda. Berat logam dari hasil peleburan sampel Bahodopi *Low Limit*, Bahodopi *Upper Limit*, Pomalaa *Low Limit*, dan Pomalaa *Upper Limit* didapatkan berat logam masing-masing yaitu

5.56 kg, 8.99 kg, 5.98 kg, dan 8.94 kg. Sementara itu, berat *slag* hasil dari peleburan sampel Bahodopi *Low Limit*, Bahodopi *Upper Limit*, Pomalaa *Low Limit*, dan Pomalaa *Upper Limit* didapatkan berat *slag* masing-masing yaitu 39.33 kg, 45.68 kg, 49.4 kg, dan 46.71 kg. Kemudian dilanjutkan dengan hasil pengecekan berat elektroda akhir pada peleburan sampel Bahodopi *Low Limit*, Bahodopi *Upper Limit*, Pomalaa *Low Limit*, dan Pomalaa *Upper Limit* berturut-turut sebagai berikut 16.37 kg, 16.87 kg, 15.87 kg, dan 16.58 kg. Selain itu, dilakukan juga pengecekan kWh setelah peleburan tiap sampel. Adapun hasil pengecekan kWh akhir pada peleburan sampel Bahodopi *Low Limit*, Bahodopi *Upper Limit*, Pomalaa *Low Limit*, dan Pomalaa *Upper Limit* berturut-turut sebagai berikut 227.27 kWh, 219.46 kWh, 207.23 kWh, dan 213.43 kWh. Adapun data peleburan ditunjukkan pada Tabel 2. berikut.

Tabel 2 Data Proses Peleburan

SAMPEL	Berat sampel (kg)	Konsumsi Elektroda (kg)	Berat logam (kg)	Berat slag (kg)	Konsumsi Daya (kWh)
Bahodopi 1.6 <i>Low Limit</i>	73.57	2.4	5.56	39.33	6.8
Bahodopi 1.9 <i>Upper Limit</i>	56.05	2.85	8.99	45.68	5.55
Pomalaa 1.6 <i>Low Limit</i>	62	2.66	5.98	49.4	6.78
Pomalaa 1.9 <i>Upper Limit</i>	57.49	2.265	10.24	43.02	7.98

Proses selanjutnya yaitu untuk mengetahui komposisi kimia produk peleburan yang berupa logam dan *slag* dianalisa menggunakan *X-Ray Fluorescence*. Adapun hasil pengujian tersebut disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut.

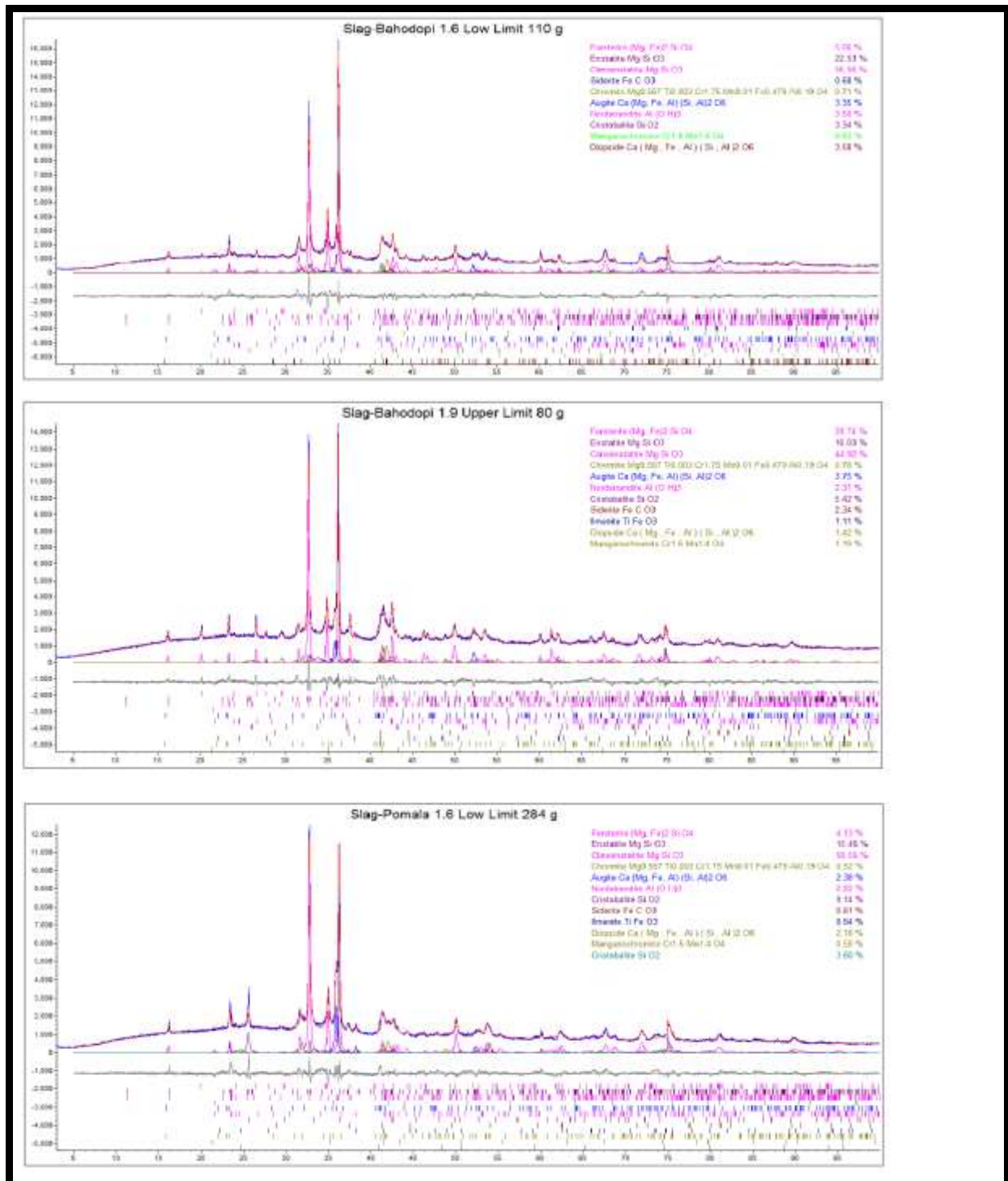
Tabel 3 Data Komposisi Logam Hasil Peleburan

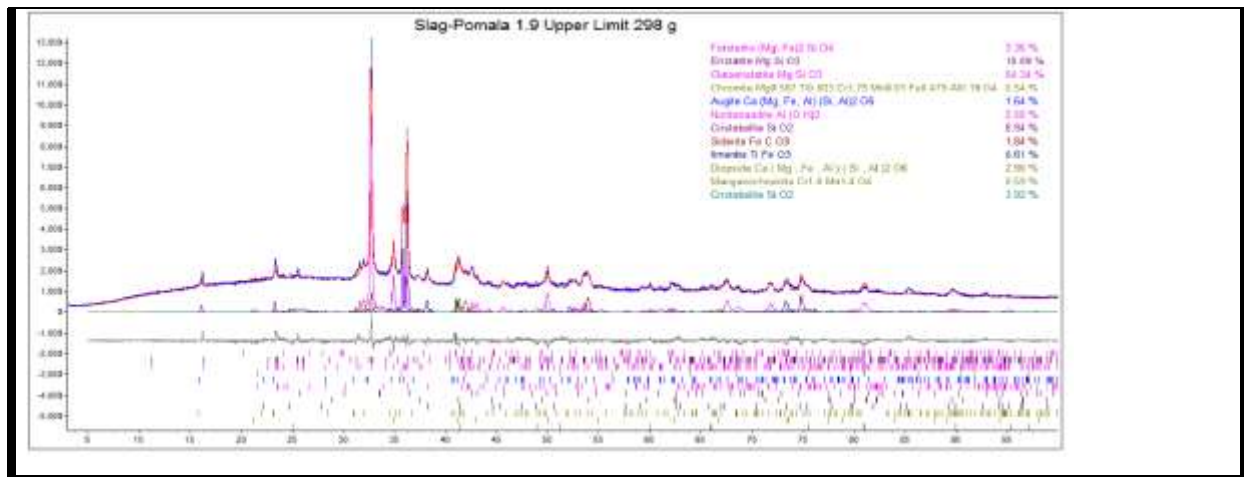
SAMPEL	Ni	Fe	C	Si
Bahodopi 1.6 <i>Low Limit</i>	7.98	74.32	3.20	11.83
Bahodopi 1.9 <i>Upper Limit</i>	12.75	77.31	4.25	3.36
Pomalaa 1.6 <i>Low Limit</i>	8.94	84.99	3.49	0.68
Pomalaa 1.9 <i>Upper Limit</i>	10.85	81.70	4.09	1.57

Tabel 4 Data Komposisi Slag Hasil Peleburan

SAMPEL	Ni	Al ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	MgO	CaO
Pomalaa 1.6 <i>Low Limit</i>	0.03	3.90	0.58	55.47	35.98	1.00
Pomalaa 1.9 <i>Upper Limit</i>	0.18	3.77	9.91	53	31.52	1.03
Bahodopi 1.6 <i>Low Limit</i>	0.05	5.16	0.48	58.41	34.34	0.91
Bahodopi 1.9 <i>Upper Limit</i>	0.05	4.42	5.44	59.29	29.66	0.73

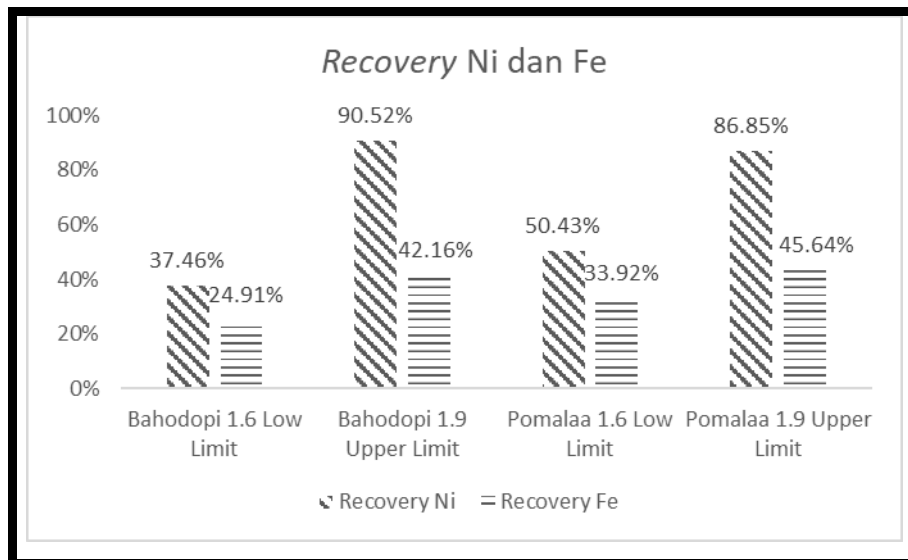
Komposisi mineral pada slag hasil peleburan dianalisis dengan *X-Ray Diffraction* (XRD). Hasil pengujian tersebut disajikan pada Gambar 3. berikut.



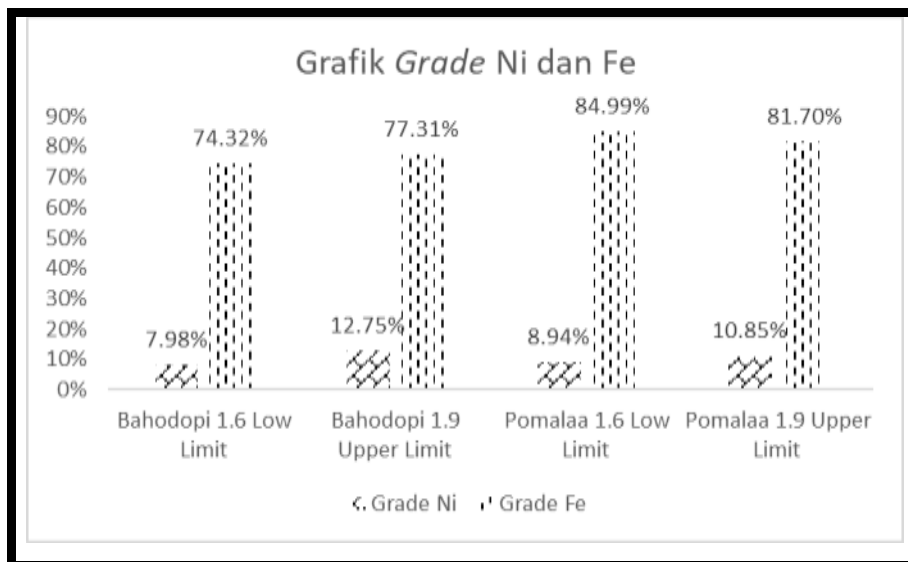


Gambar 3 Hasil Pengujian XRD pada Slag

Dari hasil analisa terhadap data-data yang telah diperoleh menunjukkan bahwa *recovery* dan *grade* nikel tertinggi diperoleh pada sampel bahodopi 1.9 *upper limit* dengan *recovery* 90.52% dan *grade* Ni sebesar 12.75%. Sementara paling rendah pada sampel bahodopi 1.6 *low limit*, dengan *recovery* 37.46% dan *grade* Ni 7.98%. Grafik *recovery* dan *grade* dapat dilihat pada Gambar 4. dan Gambar 5. Rendahnya *grade* dan *recovery* pada sampel bahodopi 1.6 *low limit* tersebut dapat terjadi karena kadar nikel awal yang dilebur jauh lebih rendah dibanding sampel yang lain. Selain itu dari hasil pengujian XRD diperoleh informasi bahwa 79.1% fasa slag berupa *enstatite* dan *clinoenstatite* ((Fe,Ni,Mg)₂Si₂O₆) atau dengan kata lain fasa slag didominasi oleh struktur mineral magnesium silikat. Hal tersebut menyebabkan nikel dan besi masih terjebak pada struktur mineral tersebut atau dapat dikatakan masih tertinggal di dalam *tailing*.



Gambar 4 Recovery Ni dan Fe



Gambar 5 Grade Ni dan Fe

KESIMPULAN

Adapun hasil pembahasan didapatkan kesimpulan dari laporan kerja praktik ini sebagai berikut :

1. Fasa dominan pada bijih nikel laterit berupa *clinocllore* $((\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{SiCr})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8)$, *lizardite* $((\text{Mg,Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4)$, dan *goethite* (FeOOH) .
2. Hasil pengujian XRD pada keempat *slag* hasil peleburan sampel menunjukkan fasa *slag* yang teridentifikasi berupa *forsterite* $((\text{Mg,Fe,Ni})_2\text{SiO}_4)$ dan kelompok mineral *pyroxene* seperti *enstatite* dan *clinoenstatite* $((\text{Fe,Ni,Mg})_2\text{Si}_2\text{O}_6)$.
3. *Grade* dan *recovery* nikel tertinggi didapatkan pada sampel Bahodopi 1.9 *Upper Limit* dengan *grade* Ni 12,75% dan *recovery* 90,52%.

4. *Grade* dan *recovery* nikel paling rendah didapatkan pada sampel Bahodopi 1.6 *Low Limit* dengan *grade* Ni 7,98% dan *recovery* 37,46%.
5. Rendahnya *grade* dan *recovery* pada sampel Bahodopi 1.6 *Low Limit* karena kadar nikel awal yang dilebur jauh lebih rendah dibandingkan dengan sampel yang lain dan juga disebabkan sebagian nikel terjebak pada *slag*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Nuryadi Saleh dari Balai Besar Pengujian Mineral dan Batubara tekMIRA selaku pembimbing lapangan, serta Bapak Sudaryanto selaku dosen pembimbing, dan pihak lain yang sudah membantu dalam pelaksanaan kerja praktik.

DAFTAR PUSTAKA

- Forster, J., Pickles, C. A., & Elliott, R. (2016). Microwave carbothermic reduction roasting of a low grade nickeliferous silicate laterite ore. *Minerals Engineering*, 88, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2015.09.005>
- Habashi, F. (1997) *Handbook of Extractive Metallurgy* Edited by Fatbi Habashi Volume I : The Metal Industry.
- Setiawan, I. (2016) ‘Pengolahann Nikel Laterit secara Pirometalurgi: Kini dan Penelitian Kedepan’, *Prosiding Semnastek (Seminar Nasional Sains dan Teknologi)*, 1(November), pp. 1–7.
- Sheng, Y.Y., Irons, G.A. and Tisdale, D.G. (1998) ‘Transport phenomena in electric smelting of nickel matte: Part I. Electric potential distribution’, *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*, 29(1), pp. 77–83. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11663-998-0009-y>.
- Subagja, R., Prasetyo, A. B., & Sari, W. M. (2016). Peningkatan Kadar Nikel Dalam Laterit Jenis Limonit Dengan Cara Peletasi, Pemanggangan Reduksi Dan Pemisahan Magnet Campuran Bijih, Batu Bara, Dan Na₂SO₄ [Upgrading of Nickel Content in The Limonitic Laterite Ores by Pelletizing, Reduction Roasting and Ma. *Metalurgi*, 31(2), 103. <https://doi.org/10.14203/metalurgi.v31i2.156>