

## REDUKSI SELEKTIF UNTUK NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN NATRIUM KLOORIDA DAN ARANG CANGKANG SAWIT DILANJUTKAN DENGAN PEMISAHAN MAGNETIK

Hafid Zul Hakim<sup>1\*</sup>, Edy Sanwani<sup>2</sup>, Yuliana Sari<sup>3</sup>, Fajar Nurjaman<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Pertambangan, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, Institut Teknologi Sumatera Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365

<sup>2</sup> Program Magister Teknik Metalurgi - Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganeca No.10 Bandung, Jawa Barat

<sup>3,4</sup> Balai Penelitian Teknologi Mineral, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Lampung. Jl. Ir. Sutami, Serdang Tanjung Bintang Kab. Lampung Selatan, Lampung

\* Corresponding email: [hafid.hakim@ta.itera.ac.id](mailto:hafid.hakim@ta.itera.ac.id)

### Riwayat Artikel

Diterima  
21/01/2022  
Disetujui  
08/04/2022  
Diterbitkan  
15/06/2022

### Abstrak

Teknik pengolahan bijih nikel laterit melalui metode pirometalurgi masih terus dikembangkan untuk menghasilkan produk ferronikel kadar tinggi dengan konsumsi energi rendah. Salah satu metode tersebut adalah reduksi selektif yang dilanjutkan dengan pemisahan magnet. Umumnya metode ini menggunakan batubara sebagai reduktor, namun karena batubara merupakan sumber energi tidak terbarukan serta tidak ramah lingkungan, maka perlu dicari reduktor alternatif, salah satunya adalah biomassa berupa arang cangkang sawit. Penelitian ini mempelajari pengaruh fraksi ukuran bijih nikel laterit dan kuat medan magnet dalam proses reduksi bijih nikel laterit menggunakan aditif NaCl dan reduktor arang cangkang sawit. Aditif NaCl sebanyak 10% berat dan reduktor arang cangkang sawit sebanyak 5% berat ditambahkan ke bijih nikel laterit (variasi ukuran -60+80 mesh, -80+100 mesh, dan -100 mesh). Ketiga material tersebut dibentuk menjadi pelet berukuran diameter 10-15 mm. Pellet tersebut direduksi pada temperatur 950°C, 1050°C, dan 1150°C menggunakan *muffle furnace* selama 60 menit. Selanjutnya pellet yang telah direduksi tersebut dilakukan pemisahan magnetik secara basah (menggunakan variasi kuat medan magnet 500G, 1000G, dan 1500G) untuk memperoleh konsentrat feronikel (magnetik) dan *tailing* (non-magnetik). Hasil penelitian memperoleh bahwa kadar nikel yang tinggi (2,9%) dihasilkan pada kondisi temperatur reduksi tinggi (1150 °C), ukuran partikel bijih nikel laterit -60+80#, dan kuat medan magnet 1000G.

**Kata Kunci:** nikel laterit, reduksi selektif, arang cangkang sawit, NaCl

### Abstract

Nickel laterite process using pyrometallurgical method is still developing for producing high-grade ferronickel with low energy consumption. One of the methods is selective reduction with the magnetic separation process. This method uses coal as a reducing agent and it's non-renewable and not environmentally friendly, alternative reducing agents should be investigated such as palm kernel shell charcoal. This work investigated the effect of sizes of nickel laterite particle and magnetic field on the selective reduction process of nickel laterite by using NaCl as additive and palm kernel shell charcoal as reducing agent. A 10 weight% of NaCl and 5 weight% of palm shell charcoal were added into nickel laterite (with various particle sizes 60+80#, -80+100#, dan -100#). Those materials were mixed into pellets with 10-15 of diameter. Then reduced at temperature 950°C, 1050°C, dan 1150°C by using a muffle furnace for 60 minutes. The reduced pellets were cooled rapidly. The wet magnetic separation process was carried out by using various 500G, 1000G, and 1500G of a magnetic field to generate concentrate of ferronickel (magnetic) and impurities (non-magnetic), a high nickel grade was obtained at the high-temperature reduction, the very fine particle size, and the low magnetic field at the magnetic separation.

**Keywords:** nickel laterite, selective reduction, palm kernel shell charcoal; NaCl

## 1. Pendahuluan

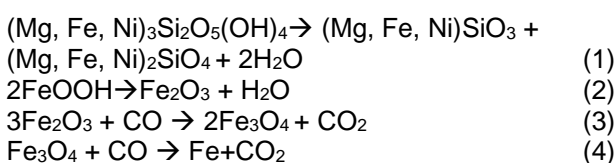
Nikel saat ini merupakan salah satu logam yang sedang banyak digunakan karena logam ini memiliki sifat dan karakteristik diantaranya seperti ketahanan korosi, konduktivitas thermal, dan ketahanan listrik yang bernilai tinggi. Sebanyak 68% produk nikel digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan baja tahan karat (stainless steel), sedangkan 32% lainnya diperuntukkan sebagai logam dasar berbasis nikel dan komponen-komponen logam paduan yang digunakan pada kegiatan yang menggunakan suhu dan kekuatan tinggi [1].

Nikel berasal dari sumber primer, yaitu bijih nikel sulfida dan bijih nikel oksida (laterit). Sebagian besar produksi nikel di dunia saat ini dihasilkan dari pengolahan bijih sulfida, meskipun cadangan nikel oksida (laterit) terhitung lebih banyak, yaitu 72% dari total cadangan nikel di dunia, namun hasil produksi nikel laterit hanya sebesar 42% [2]. Penyebab dari kurangnya produksi nikel oksida (laterit) dikarenakan lebih sulitnya mengolah dan memproses nikel laterit yang memiliki struktur mineralogi yang lebih kompleks dibandingkan bijih nikel sulfida. Nikel dalam bijih nikel laterit berasosiasi dengan besi oksida dan silikat sebagai isomorph dari magnesium dan besi [3]. Bijih nikel laterit secara fisik dan kimia dibagi menjadi dua yaitu; saprolit (dengan kandungan Ni  $\geq$  1,8%) dan limonit (dengan kandungan Ni  $\leq$  1,5%) [4].

Pengolahan bijih nikel laterit menjadi tantangan bagi para pelaku industri dikarenakan semakin berkurangnya cadangan nikel sulfida. Metode yang paling banyak digunakan untuk mengolah bijih nikel laterit adalah pirometalurgi, dengan produk berupa feronikel dan nikel matte. Akan tetapi, proses ini membutuhkan energi yang sangat besar karena melibatkan proses peleburan pada suhu 1500°C hingga 1600°C [5].

Metode pembuatan feronikel lainnya adalah dengan cara mereduksi langsung bijih nikel laterit yang dilanjutkan dengan pemisahan secara fisik (separasi magnet), dimana proses reduksi berlangsung pada temperatur 1100°C - 1300°C, sehingga kebutuhan/konsumsi energi lebih sedikit dibandingkan dengan proses pyrometalurgi konvensional lain, seperti Blast Furnace dan Rotary Kiln-Electric Furnace. [6].

Reaksi (1-7) yang terjadi saat menggunakan reduksi selektif untuk nikel laterit adalah sebagai berikut: [6]–[8]



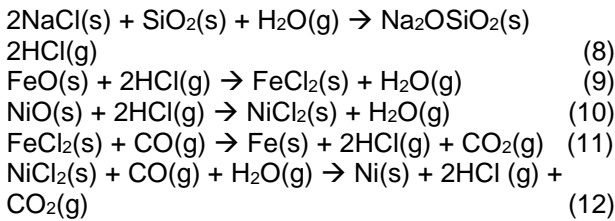
Proses reduksi selektif merupakan suatu metode yang saat ini sedang banyak dikembangkan, dimana bijih nikel laterit direduksi dengan penambahan sejumlah reduktor dan aditif untuk membatasi reduksi besi oksida menjadi logam besi, sehingga akan diperoleh konsentrat feronikel yang lebih kaya akan nikel. Pada penelitian yang dilakukan oleh [9]–[12] Cao (2010); Li (2021); Zhu (2012); dan Zhou (2012) menggunakan reduktor batubara dengan zat aditif Natrium Karbonat, Sodium Sulfat, dan Kalsium Sulfat.

Dalam penelitian ini digunakan arang cangkang sawit sebagai reduktor yang merupakan produk sampingan dari industri kelapa sawit di Indonesia yang merupakan negara produsen terbesar kelapa sawit. Selain itu, fixed carbon yang cukup tinggi, yaitu sebesar 77%, dan juga keberadaannya yang mudah didapat serta harga yang lebih ekonomis dibandingkan dengan batubara, maka potensi penggunaan arang cangkang sawit sebagai reduktor dalam proses selective reduction cukup besar. Beberapa penelitian yang menggunakan arang cangkang sawit sebagai reduktor pada proses reduksi selektif telah dilakukan sebelumnya [13], [14], namun yang ditekankan pada penelitian ini adalah pengaruh ukuran fraksi bijih nikel laterit serta kuat medan magnet yang diprediksi akan berpengaruh terhadap proses reduksi selektif bijih nikel laterit, dimana hal tersebut belum banyak dipelajari oleh peneliti sebelumnya.

## 2. Metode

### Material

Bijih nikel laterit jenis limonit yang akan digunakan dalam penelitian ini berasal dari Sulawesi Tenggara. Komposisi kimia dari bijih nikel laterit (as-received) dengan kandungan 50,5% Fe dan 1,2% Ni, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1. Arang cangkang sawit digunakan sebagai reduktor, dengan hasil uji proksimat disajikan dalam Tabel 2. Sedangkan untuk material aditif digunakan sodium klorida (NaCl) pro-analisis (p.a). Tujuan dari penggunaan NaCl sebagai aditif adalah agar terjadi proses klorinasi terhadap Fe dan Ni [15], reaksi dari penambahan aditif NaCl dapat dilihat pada reaksi (8-12), yang terdiri dari Pembentukan asam klorida, yang kemudian bereaksi dengan Fe dan Ni sehingga membentuk logam klorida lalu dengan bantuan karbon dari reduktor akan memisahkan logam dari kloridanya [15]. Tidak terdeteksinya Mg pada fraksi ukuran setelah dilakukan penggerusan adalah karena jumlahnya sudah terlalu sedikit sehingga tidak terbaca saat dilakukan uji XRF.



**Proses Reduksi**

Bijih nikel laterit terlebih dahulu digerus hingga ukuran tertentu (60+80#, -80+100#, dan -100#), sedangkan arang cangkang sawit dan NaCl digerus hingga berukuran -100#. Ketiganya dicampur secara merata dan diaglomerasi ke dalam bentuk pellet berukuran diameter 10-15 mm. Pellet tersebut diletakkan dalam krusibel grafit untuk direduksi menggunakan muffle furnace dengan temperatur 950°C, 1050°C, 1150°C selama 60 menit. Setelah melalui proses reduksi, pellet tersebut didinginkan secara cepat dengan menggunakan media air (water quench). Pellet hasil reduksi tersebut dikeringkan pada temperatur 120°C selama 4 jam, kemudian digerus hingga berukuran -200#. Selanjutnya dilakukan proses pemisahan magnet secara basah dengan menggunakan kuat medan magnet bervariasi, yaitu 500G, 1000G, dan 1500G, sehingga diperoleh konsentrat/feronikel (magnetik) dan pengotor/tailing (non-magnetik).

**Pengujian**

Untuk mengetahui kadar nikel dalam konsentrat dilakukan dengan menggunakan alat uji XRF. Analisis XRD struktur mikro dilakukan untuk mengetahui komposisi fasa dan struktur morfologi feronikel yang terbentuk setelah proses reduksi.

Tabel 1. Hasil analisis menggunakan XRF (% berat)

Ukuran Partikel (#)	Ni	Fe	Si	Mg	Al	Ca	Cr
As-received	1,2	50,5	16,5	1,81	4,86	0,177	2,68
-60+80	1,18	31,44	2,52	-	1,27	0,22	1,34
-80+100	1,22	30,97	3,05	-	1,35	0,25	1,32
-100	1,36	39,15	2,45	-	1,45	0,22	1,52

**3. Hasil dan Pembahasan**

**3.1. Pengaruh Temperatur Reduksi**

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur reduksi 950°C, 1050°C, dan 1150°C terhadap proses reduksi selektif dengan menggunakan bijih nikel laterit *as-received* (dari lokasi tambang), penambahan zat aditif NaCl sebanyak 10% berat dan reduktor arang cangkang

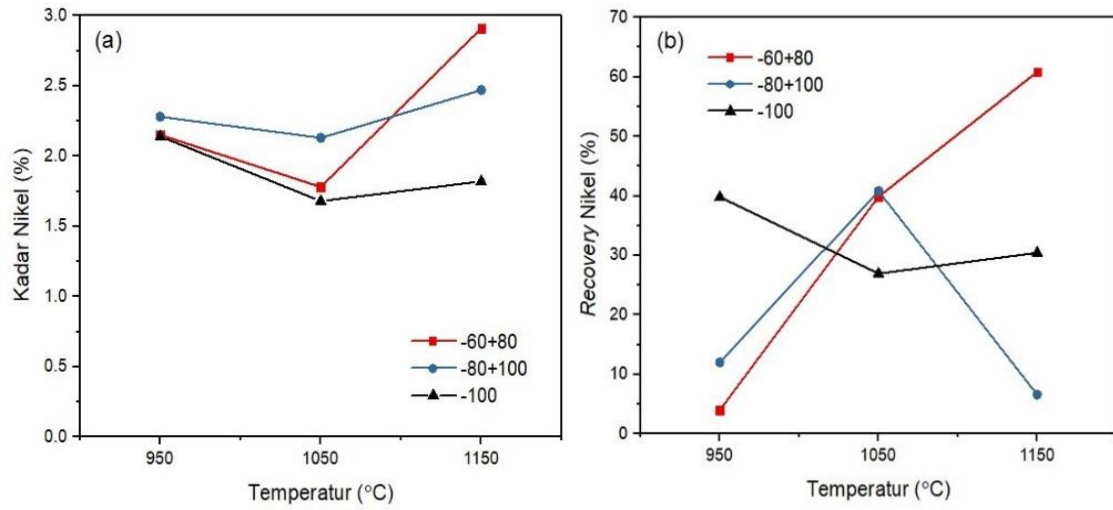
sawit sebanyak 5% berat. Proses pemisahan magnetic dilakukan dengan menggunakan kuat medan magnet 1000 G. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 1.

Dari Gambar 1(a) tampak bahwa kadar nikel pada saat temperatur dinaikkan menjadi 1050°C terjadi penurunan dan pada saat dinaikkan menjadi 1150°C kadar nikel meningkat bahkan melebihi kadar saat temperatur 950°C kecuali pada fraksi ukuran -100#. Karena terdapat anomali pada temperatur 1050°C dan fraksi ukuran -100# maka dilakukan analisis XRF pada kedua data tersebut dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2.

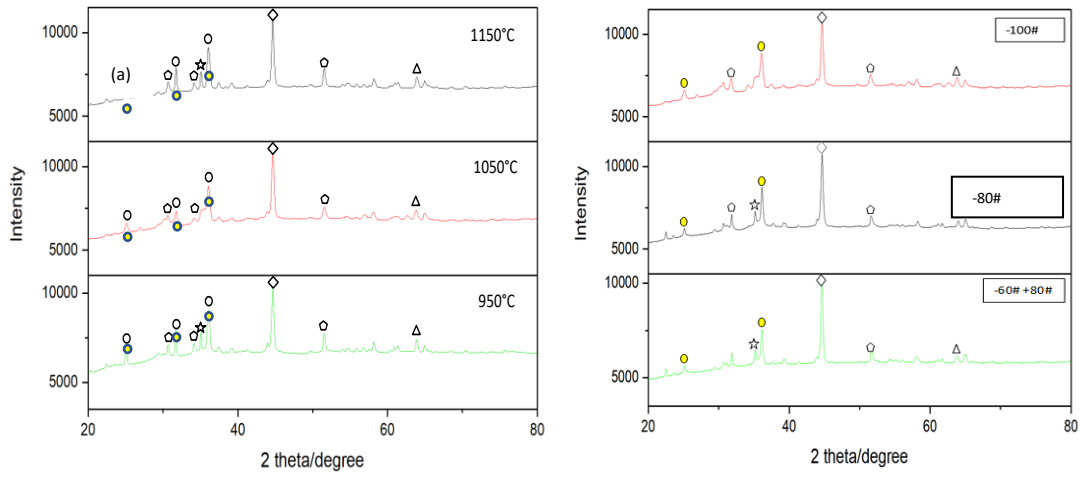
Gambar 2(a) menunjukkan pada temperatur 1050°C ternyata tidak terdapat puncak magnetit, hal ini yang menyebabkan kadar nikel yang didapat pada temperatur ini lebih rendah. Puncak magnetit yang terdapat pada temperatur 950°C pada saat temperatur dinaikkan kemungkinan menjadi fayalit. Gambar 2(b) juga menunjukkan tidak hadirnya puncak magnetit pada fraksi ukuran -100#. Hal lain yang dapat diamati adalah dimana puncak feronikel meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur reduksi. Semakin rendahnya puncak magnesioferrite dan magnetite menunjukkan bahwa laju reduksi semakin tinggi dengan semakin tingginya temperatur reduksi. Dari Gambar 1(b) tampak bahwa kenaikan temperatur reduksi memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap recovery nikel. Untuk fraksi ukuran -60+80#, recovery nikel meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur reduksi.

Untuk fraksi ukuran -80+100# dan -100#, nilai recovery nikel berfluktuasi. Dari hasil analisis XRD menunjukkan bahwa rendahnya recovery nikel disebabkan oleh masih terdapatnya fasa magnetite dan magnesioferrite, dimana nikel berasosiasi dengan besi dalam fasa tersebut.

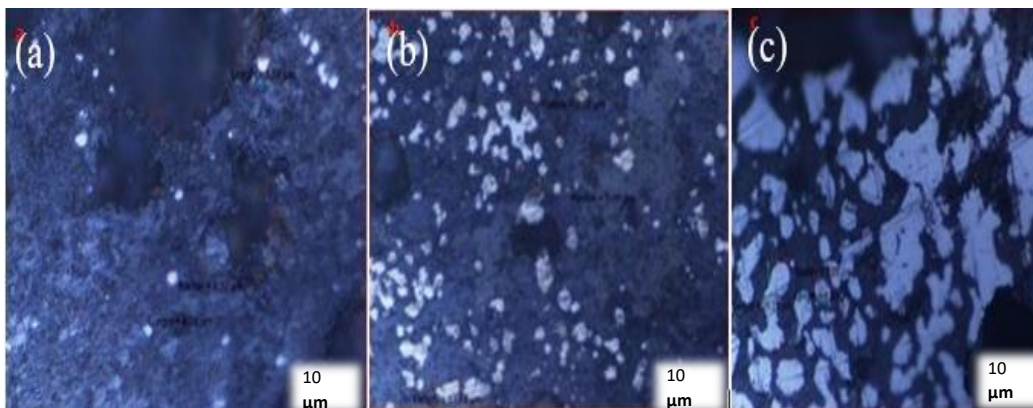
Gambar 3 menunjukkan struktur mikro dari bijih nikel hasil reduksi dengan ukuran partikel bijih nikel -100#, dimana butir feronikel ditunjukkan oleh partikel berwarna putih. Dari Gambar 3 terlihat bahwa pertumbuhan ukuran partikel feronikel yang semakin besar dan banyak dengan semakin meningkatnya temperatur reduksi, dimana hal ini kemungkinan disebabkan oleh semakin tingginya volume fasa cair sehingga terjadi peningkatan laju perpindahan massa yang akan meningkatkan pertumbuhan butir Fe-Ni [12], [16]. Gambar 4 merupakan hasil uji SEM-EDS dari bijih nikel laterit hasil reduksi dengan variasi temperatur reduksi dan ukuran 100 mesh.



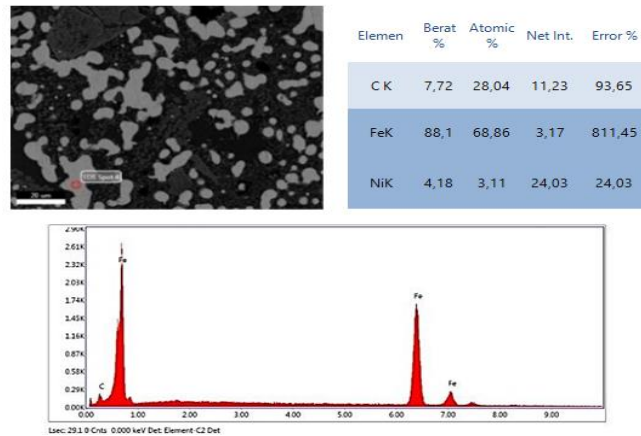
Gambar 1. Pengaruh temperatur reduksi dan ukuran partikel bijih nikel laterit terhadap kadar dan recovery nikel



Gambar 2. Hasil analisis XRD hasil reduksi selektif dengan aditif NaCl, (a) Variasi temperatur pada fraksi -100#, (b) Variasi ukuran pada temperatur 1050°C



Gambar 3. Hasil analisis dengan mikroskop optik pada hasil reduksi dengan variasi suhu reduksi (a) 950°C, (b) 1050°C, dan (c) 1150°C untuk bijih nikel laterit dengan ukuran



Gambar 4. Hasil EDS dari konsentrat pada fraksi ukuran -80+100# dan suhu reduksi 1150°C.

### 3.2. Pengaruh Ukuran Butir Bijih Nikel dan Kuat Medan Magnet

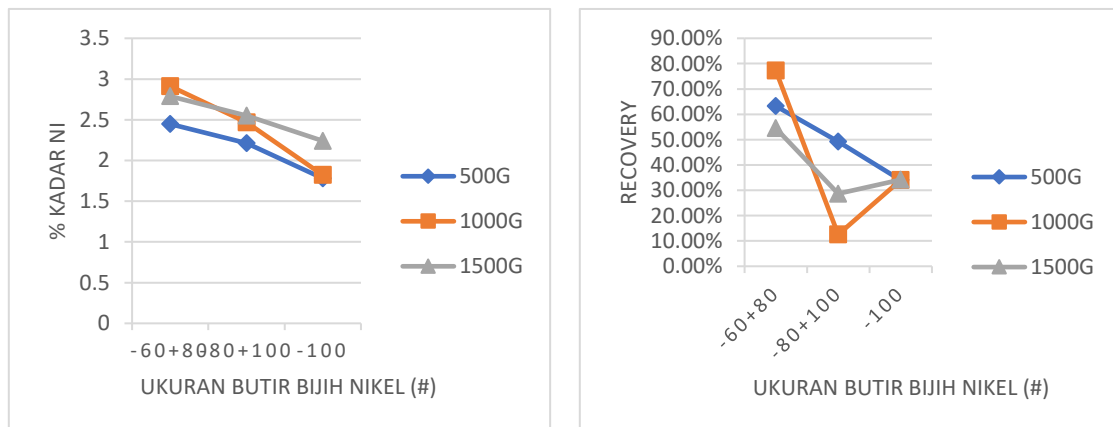
Percobaan untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran butir bijih nikel laterit terhadap kadar dan recovery nikel setelah proses reduksi dilakukan pada suhu reduksi 1150°C, dengan penambahan aditif sebanyak 10% berat dan reduktor arang cangkang sawit sebanyak 5% berat.

Dari Tabel 1 tampak bahwa terdapat kandungan nikel yang berbeda untuk tiap ukuran fraksi bijih nikel laterit, dimana kadar nikel semakin meningkat (walaupun tidak terlalu signifikan) dengan semakin kecilnya ukuran fraksi bijih nikel laterit. Hal ini menunjukkan bahwa proses fraksinasi ukuran partikel bijih nikel dapat menyebabkan terliberasinya feronikel dari pengotor/impurities.

Dari Gambar 5 tampak bahwa kadar dan recovery nikel cenderung menurun dengan semakin halusya ukuran butir bijih nikel laterit. Dengan semakin halus ukuran partikel, maka luas penampang reaksi akan semakin besar, sehingga laju kecepatan reaksi akan meningkat. Dari hasil analisis terkait pe ngaruh kuat medan magnet

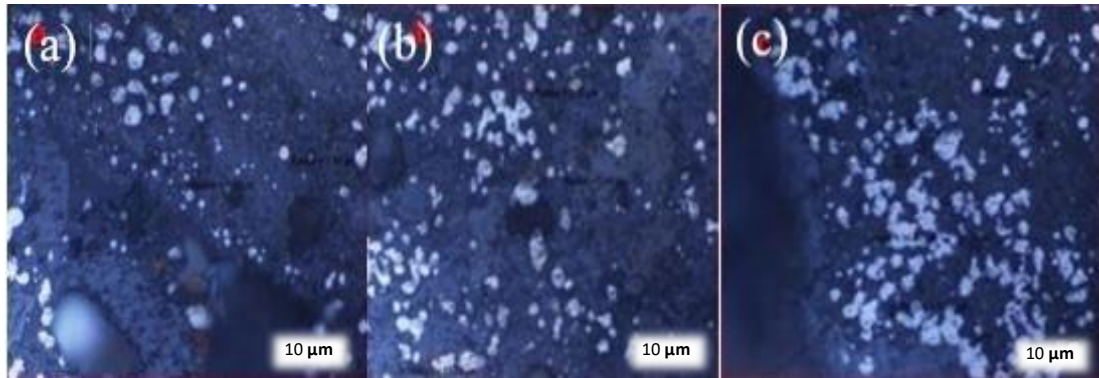
terhadap proses reduksi selektif bijih nikel laterit, tampak bahwa kuat medan magnet 1000 G menghasilkan kadar nikel tertinggi. Pada kuat medan magnet yang tinggi akan sulit untuk memisahkan fasa yang bersifat paramagnetik, sehingga dapat menyebabkan fasa magnesioferrite ikut terbawa ke dalam konsentrat, sehingga akan menurunkan kadar nikel dalam konsentrat. Kadar nikel optimum diperoleh pada ukuran partikel bijih nikel laterit -60+80# dengan kuat medan magnet 1000 Gauss, yaitu 2,912% dengan recovery 77,22%. Sementara hasil dari proses selektif reduksi tanpa menggunakan aditif menghasilkan kadar nikel maksimal 2,51%. [17]

Analisis struktur mikroskop pada Gambar 6 memperlihatkan bahwa pada ukuran -60+80# memiliki partikel feronikel dengan ukuran lebih kecil dibanding fraksi ukuran lainnya. Ukuran partikel feronikel meningkat seiring dengan semakin halusya ukuran partikel bijih nikel laterit. Ukuran butir feronikel yang halus akan memudahkan proses liberasi dari pengotor pada proses penggerusan yang dilanjutkan dengan pemisahan magnet, sehingga recovery feronikel akan meningkat [18].



Gambar 5. Grafik pengaruh ukuran partikel bijih nikel laterit terhadap proses reduksi selektif





Gambar 6. Hasil analisis struktur mikro pada hasil reduksi dengan ukuran partikel bijih nikel laterit: (a) -60+80#; (b) -80+100#; dan (c) -100

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian ini telah dilakukan proses reduksi selektif bijih nikel laterit yang dilanjutkan dengan menggunakan NaCl sebagai zat aditif dan arang cangkang sawit sebagai reduktor. Kadar nikel dan ukuran partikel feronikel cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur reduksi. Ukuran partikel feronikel yang halus akan berdampak terhadap peningkatan derajat liberasi nikel sehingga mudah dipisahkan dari pengotor saat proses pemisahan magnet. Hal tersebut akan memberikan efek positif terhadap recovery nikel. Kuat medan magnet dalam proses pemisahan magnet juga berpengaruh terhadap proses reduksi selektif bijih nikel laterit, dimana kuat medan magnet 1000G mampu memisahkan fasa paramagnetic (yang mengandung unsur besi) sehingga mampu menghasilkan kadar nikel yang cukup tinggi dalam konsentrat (2,9%).

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada ITERA karena telah memberikan kesempatan untuk bekerja sama dengan LIPI. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Balai Penelitian Teknologi Mineral-LIPI Lampung atas fasilitas riset yang telah diberikan, serta Kemenristekdikti atas pendanaan riset melalui program INSINAS 2019.

#### Daftar Pustaka

- [1] sg.org, "International Nickel Study Group," 2017. <http://www/insg.org/prodnickel.aspx>
- [2] Dalvi, A., Bacon, W., Osborne, R., "The past and the future of nickel laterites," *DAC International Convention*, 2004.
- [3] Moskalyk, R.R., Alfantazi, A.M., "Nickel laterite processing and Electrowinning practice," *Minerals Engineering*, vol. 15, no. 8, pp. 593–605, 2002.
- [4] H. T. Rhamdani, R, and Petrus, "Characterization of nickel laterite reduction from Pomalaa, Sulawesi Tenggara," *International Conference of Chemical and Material Engineering*, vol. 1699, pp. 1–6, 2015.
- [5] T. Norgate and S. Jahanshahi, "Low Grade Ores-Smelt, Leach or Concentrate," *Minerals Engineering*, vol. 23, pp. 65–73, 2010.
- [6] F. Nurjaman et al., "Journal Homepage : KAJIAN LITERATUR PARAMETER PROSES REDUKSI SELEKTIF BIJIH NIKEL LITERATURE REVIEW OF PARAMETER IN SELECTIVE REDUCTION PROCESS OF," vol. 42, no. 2, 2020.
- [7] Harris, C.T., Peacey, J.G., Pickles, C.A., "Selective Sulfidation of nickeliferous lateritic ore," *Minerals Engineering*, vol. 24, pp. 651–660, 2010.
- [8] M. Valix and W. H. Cheung, "Effect of sulfur on the mineral phases of laterite at high temperature reduction," *Minerals Engineering*, vol. 16, no. 7, pp. 523–530, 2002.
- [9] Z. Cao, T. Sun, H. Yang, and X. Wu, "Recovery of iron and nickel from nickel laterite ore by direct reduction roasting and magnetic separation," *J. Univ. Sci. Technol*, vol. 32, pp. 708–712, 2010.
- [10] G. Li, T. Shi, M. Rao, T. Jiang, and Y. Zhang, "Beneficiation of nickeliferous laterite by reduction roasting in the presence of sodium sulfate," *Minerals Engineering*, vol. 32, pp. 19–26, 2012, doi: 10.1016/j.mineng.2012.03.012.
- [11] D. Q. Zhu et al., "Upgrading low nickel content laterite ores using selective reduction followed by magnetic separation," *International Journal of Mineral Processing*,

- vol. 106–109, pp. 1–7, 2012, doi: 10.1016/j.minpro.2012.01.003.
- [12] Zhou, Xian-lin, D. Q. Zhu, Guo-Lin, and J. Pan, "Utilization of nickel slag using selective reduction followed by magnetic separation," *Trans. Nonferrous met. Soc. China*, vol. 23, pp. 3421–3427, 2012.
- [13] A. Shofi, A. Rahmahwati, F. Nurjaman, and B. Suharno, "Effect of reduction temperature and sodium-based additives on nickel upgrading process of laterites ores," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 541, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/541/1/012002.
- [14] B. Suharno, F. Nurjaman, C. Ramadini, and A. Shofi, "Additives in Selective Reduction of Lateritic Nickel Ores: Sodium Sulfate, Sodium Carbonate, and Sodium Chloride," *Mining, Metallurgy and Exploration*, vol. 38, no. 5, pp. 2145–2159, 2021, doi: 10.1007/s42461-021-00456-1.
- [15] S. Zhou, Y. Wei, B. Li, H. Wang, B. Ma, and C. Wang, "Chloridization and Reduction Roasting of High-Magnesium Low-Nickel Oxide Ore Followed by Magnetic Separation to Enrich Ferronickel Concentrate," *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*, vol. 47, no. 1, pp. 145–153, 2016, doi: 10.1007/s11663-015-0478-8.
- [16] M. Rao, G. Li, X. Zhang, J. Luo, Z. Peng, and T. Jiang, "Reductive roasting of nickel laterite ore with sodium sulphate for Fe-Ni production. Part II: Phase transformation and grain growth," *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, vol. 51, no. 10, pp. 1727–1735, 2016, doi: 10.1080/01496395.2016.1166134.
- [17] B. Suharno, N. Primadha Iman, A. Shofi, D. Ferdian, and F. Nurjaman, "Study of Low-Grade Nickel Laterite Processing Using Palm Shell Charcoal as Reductant," 2020. [Online]. Available: [www.scientific.net](http://www.scientific.net).
- [18] S. K. Tripathy and N. Suresh, "Influence of particle size on dry high-intensity magnetic separation of paramagnetic mineral," *Advanced Powder Technology*, vol. 28, no. 3, pp. 1092–1102, 2017, doi: 10.1016/j.appt.2017.01.018.