

PENGARUH PENAMBAHAN SENYAWA ALKALI UNTUK PEMBUATAN *NUGGET* FERONIKEL DALAM TUNGKU PUTAR

Effect of the Alkali Compounds Addition on Making Ferronickel Nugget in a Rotary Kiln

NURYADI SALEH, SITI ROCHANI dan NGURAH ARDHA

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211
Telp. 022 6030483, Fax. 022 6003373
e-mail: nuryadi@tekmira.esdm.go.id

SARI

Pembuatan logam paduan feronikel pada umumnya melalui jalur tungku putar - tungku busur listrik yang membutuhkan energi (suhu 1300 - 1400°C) dan investasi besar pada skala produksi yang juga besar, karena itu diperlukan penelitian pembuatan *nugget* feronikel melalui proses reduksi *semi-solid* selektif menggunakan tungku putar pada suhu lebih rendah agar dapat diterapkan pada skala kecil. Agar suhu *semi-solid* reduksinya dapat diturunkan, maka dicoba penambahan senyawa alkali (natrium klorida, natrium karbonat dan kapur) ke dalam proses pada suhu 1150°C selama 4 jam. Penambahan 5% NaCl menghasilkan *nugget* FeNi berkadar sekitar 11% Ni dengan perolehan nikel sebesar 72%. Penambahan Na₂CO₃ ke dalam proses reduksi berbasis 1% NaCl dan 1% kapur memengaruhi penurunan tingkat segregasi Ni.

Kata kunci: feronikel, tungku putar, *nugget* feronikel, senyawa alkali

ABSTRACT

A ferronickel alloy is generally produced through energy intensive of rotary kiln – electric arc furnace with temperature around 1300 -1400°C. However, the process requires high cost investment in large production scale. Hence, the present study is focused on making the ferronickel nugget through selective semi-solid reduction process in a rotary kiln with lower temperature. This typical process could be applied in small scale industries. In order to reduce temperature of the reduction process, the addition of alkali compounds (sodium chloride, sodium carbonate and lime) was tested to the process with temperature 1150°C within 4 hours. An addition of 5% NaCl produced FeNi nugget containing 11% Ni with nickel recovery of 72%. Na₂CO₃ addition into the process with condition of 1% NaCl and 1% lime decreases the nickel segregation level.

Keywords: ferronickel, rotary furnace, ferronickel nugget, alkali compounds.

PENDAHULUAN

Permintaan dunia terhadap paduan logam feronikel sangat besar, diperkirakan akan mencapai 40 juta ton per tahun hingga menjelang tahun 2020 (Cartman, 2010). Besarnya permintaan tersebut sangat dipengaruhi oleh peningkatan produksi besi baja nirkarat. Indonesia sebagai negara pemilik sumber

daya mineral nikel cukup besar ke tiga di dunia dan didukung oleh adanya UU minerba No.4/2009 yang mewajibkan setiap usaha tambang agar melakukan pengolahan dan pemurnian menjadi produk logam dan paduan logam berbasis nikel serta material oksida, sulfida dan garam berbasis nikel yang memenuhi spesifikasi tertentu. Namun hingga saat ini nampaknya terjadi tarik ulur antara

pengusaha dengan pemerintah dalam hal proses pendirian pabrik pengolahan dan pemurnian tersebut, khususnya untuk mereka yang memiliki usaha tambang skala menengah/kecil. Usaha tambang bijih nikel laterit skala menengah/kecil di Sulawesi Tenggara dan Maluku Utara jumlahnya banyak, tetapi karena kurangnya dana menjadi masalah dalam pembangunan pabrik pengolahan dan pemurniannya.

Teknologi pembuatan logam paduan feronikel pada umumnya menggunakan jalur tungku putar (*Rotary Kiln-RK*) dilanjutkan dengan peleburan dalam tungku busur listrik (*Electric Arc Furnace - EAF*). Teknologi ini telah teruji kemampuannya karena dapat beradaptasi dengan berbagai tipe kandungan nikel dalam bijihnya. Di dalam bijih nikel laterit, kandungan air dan kandungan pengotornya sangat tinggi (khususnya bijih laterit kadar rendah), akibatnya proses RK-EAF membutuhkan energi yang besar. Selain itu, proses tersebut juga memerlukan investasi yang besar dan hanya bisa menguntungkan jika dibangun pada skala besar. Fokus penelitian ini adalah mempelajari alternatif proses reduksi semi-solid selektif langsung dari bijihnya yang diperkirakan akan mengkonsumsi energi lebih rendah karena hanya menggunakan tungku putar untuk menghasilkan *nugget* feronikel. Prosesnya disebut juga peningkatan kadar FeNi cara termal (Rodrigues, 2013) Alternatif proses ini diharapkan mampu dimanfaatkan oleh usaha tambang bijih nikel laterit skala menengah/kecil.

Beberapa peneliti yang telah mencoba model proses reduksi *semi-solid* langsung dari bijihnya antara lain Liu dkk. (2010) juga Bo Li dkk. (2011). Mereka telah mencoba reduksi bijih nikel laterit yang menghasilkan *nugget* feronikel dengan variabel suhu, waktu, jenis reduktor dan CaO. Hasil pengamatan mereka menunjukkan bahwa total % konversi bijih nikel menjadi logam Ni sangat dipengaruhi oleh suhu reduksi; yaitu semakin tinggi suhu, proses reduksinya akan semakin baik. Selain itu % konversi (> 80%) bisa dicapai dengan cara meningkatkan konsumsi gas CO yang berasal dari antrasit. Selama proses reduksi terbentuk komponen taenit (FeNi) yang diakibatkan oleh tereduksinya oksida besi dan terbentuknya logam nikel. Konsumsi energi yang masih tinggi sebagai akibat dari tingginya suhu dan lamanya pemanggangan/peleburannya. Zhu dkk. (2012) melakukan reduksi bijih nikel laterit kadar rendah. Hasil reduksinya dikonsentrasikan melalui pemisah magnetik sehingga diperoleh konsentrat logam FeNi berkadar 6% Ni dengan perolehan nikel sebesar 92,1%. Proses reduksi dilakukan dengan

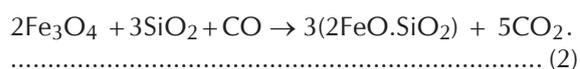
penambahan fluks CaSO₄ dan sangat dipengaruhi oleh atmosfer dalam tungku serta tingkat kandungan silikanya. Proses terbaik berlangsung pada suhu 1100°C selama 1 jam. Xuwei dkk. (2013) berhasil membuat *nugget* feronikel dari bijih nikel laterit kadar rendah dalam tungku putar dengan hasil yang baik yaitu *nugget* feronikel berkadar Ni 12,6% dengan perolehan 96%. Kondisi proses berlangsung pada suhu 1400°C, basisitas 0,6 dengan rasio C/O = 0,67. Penelitian ini masih menunjukkan konsumsi energi yang tinggi.

Penelusuran pustaka nampaknya belum menemukan adanya upaya penambahan aditif senyawa alkali secara lengkap sebagai fluks yang diharapkan mampu menurunkan suhu reduksi *semi-solid*-nya (Liu dkk., 2010). Oleh karena itu, studi ini mencoba mempelajari pengaruh penambahan beberapa jenis senyawa alkali (natrium klorida, natrium karbonat dan kapur) agar suhu reduksi dapat diturunkan dengan hasil *nugget* feronikel yang cocok sebagai bahan baku industri besi baja. Manfaat studi ini diharapkan dapat diaplikasikan oleh usaha tambang bijih nikel skala menengah/kecil karena dapat menurunkan konsumsi energi.

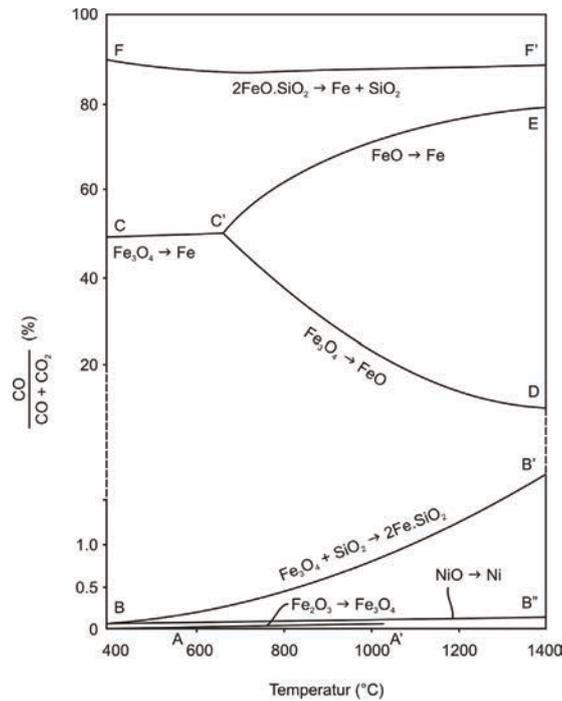
Mekanisme proses reduksi bijih nikel laterit berlangsung menurut diagram kesetimbangan Fe-SiO₂-C-O sebagaimana disajikan pada Gambar 1. Mineral laterit dan garmerit dalam bijih nikel laterit yang mengandung unsur besi dalam bentuk limonit (Fe₂O₃nH₂O) akan terjadi reaksi pengurangan kandungan air pada suhu 300-350°C dan berubah menjadi besi feri (Fe₂O₃, hematit). Hematit sangat mudah tereduksi oleh gas karbon monoksida (CO) membentuk Fe₃O₄ sebagaimana disajikan oleh reaksi :



Reaksi (1) diilustrasikan oleh garis A-A' pada Gambar 1. Jika terdapat silika dalam sistem reduksi maka Fe₃O₄ (magnetit) akan bereaksi dengan SiO₂ membentuk fayalit (2FeO.SiO₂) sebagaimana diilustrasikan oleh garis B-B'. Reaksi pembentukan fayalit adalah sebagai berikut:



Kandungan minimum CO terhitung dalam sistem reduksi adalah 1,6% pada rentang suhu 400-1400°C fasa fayalit mudah terbentuk. Namun demikian jika tidak terdapat SiO₂ dalam sistem reduksi, maka Fe₃O₄ cenderung akan terus tereduksi membentuk



Gambar 1. Keseimbangan sistem FeO-SiO₂-C-O (Levac dan Berryman, 1997)

FeO dan Fe seperti ditunjukkan oleh garis C-C'-D dan FeO akan terus tereduksi membentuk Fe seperti ditunjukkan oleh garis C'-E. Dengan demikian dalam sistem reaksi reduksi ini sangat mungkin terbentuk *sponge* Fe-Ni dari bijih saprolit kadar rendah dengan cara mengatur komposisi gas CO. Pembentukan fayalit menjadi logam Fe terjadi pada komposisi gas CO ± 90% atau lebih tinggi sebagaimana ditunjukkan oleh garis F-F'.

Untuk bijih limonit dengan kandungan Fe tinggi dan Ni serta SiO₂ rendah dimungkinkan terjadi proses reduksi untuk menghasilkan butir-butir logam nikel (*nugget*) dengan penambahan silika untuk menghindari terbentuknya reaksi reduksi Fe oksida menjadi Fe. Tetapi pembentukan paduan NiO dan silikat yang dikenal dengan fasa olivin (2NiO.SiO₂) harus dihindari karena cenderung menyebabkan nikel oksida sulit direduksi. Adapun keberadaan mineral magnesia dalam sistem reduksi akan sangat membantu mengurangi kandungan silika dengan membentuk fasa fosterit atau MgSiO₂ (Huang dan Lu, 2011).

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari proses reduksi *semi-solid* bijih nikel laterit menggunakan tungku putar, dengan variasi komposisi fluks NaCl, NaCO₃, kapur, sedangkan suhu dan waktu reduksi

dibuat tetap untuk mendapatkan produk *nugget* feronikel yang memenuhi persyaratan bahan baku industri besi baja.

METODOLOGI

Bahan Baku dan Reduktor

Bijih nikel laterit sebagai bahan baku berasal dari daerah Sulawesi Tenggara. Komposisi kimia dan kadar yang dianalisis adalah Ni, Fe_{total}, FeO, SiO₂, MgO. Pengujian karakteristik bijih nikel laterit dan *nugget* hasil reduksi dilakukan dengan metode XRD dan mineralogi untuk mengidentifikasi jenis mineral nikel yang terkandung. Analisis XRD terhadap bijih dilakukan per fraksi. Analisis mineralogi dilakukan secara mikroskop optik. Pengujian SEM-EDS metode *X-ray Mapping* juga dilakukan untuk memperkuat identifikasi penyebaran unsur-unsur Ni, Fe, Si dan Mg di dalam partikel mineral nikel. Selain itu, pengujian DTA dilakukan untuk melihat pengaruh komposisi karbon sebagai fungsi suhu reduksi sehingga dapat ditentukan suhu optimal proses reduksi bijih nikel. Batubara tipe sub-bituminus sebagai bahan reduktor juga dianalisis untuk mengetahui kadar C, abu, VM, S dan P.

Percobaan Reduksi

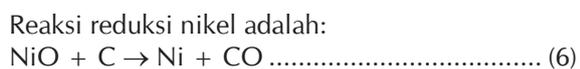
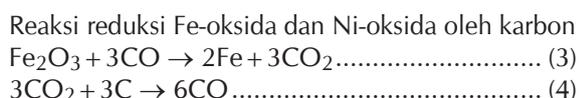
Proses reduksi dilakukan terhadap percontoh bijih nikel laterit yang telah dicampur dengan batubara serta ditambahkan fluks yang jenis dan jumlahnya bervariasi, kemudian dilakukan pemanggangan di dalam tungku putar (Gambar 2) untuk mengubah gutit menjadi hematit pada suhu 600°C. Selanjutnya suhu dinaikkan hingga 1150°C agar terjadi proses reduksi. Total waktu proses 4 jam. Variabel yang diamati pada proses reduksi adalah komposisi fluks (NaCl = 1; 2,5 dan 5%, Na₂CO₃ = 1; 2,5 dan 5% dan kapur 2,5; 5 dan 8,7%). Kondisi tetap adalah suhu = 1150°C, waktu 4 jam dan penambahan reduktor batubara 12,7%. Produknya berupa *nugget* feronikel yang masih bercampur dengan pengotor ukuran halus.

Proses Pengonsentrasian

Produk *nugget* kotor hasil proses reduksi didinginkan lalu digiling hingga berukuran 150 mesh, kemudian dikonsentrasikan melalui *magnetic separator* untuk mendapatkan produk akhir *nugget* feronikel bersifat magnetik berkadar lebih tinggi yang terpisah dari ampas halus non-magnetik. Bagan alir percobaan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Perhitungan Kebutuhan Karbon

Karakteristik kimia bijih nikel dan karakteristik batubara sangat penting diketahui untuk dapat menghitung kebutuhan karbon yang berfungsi sebagai reduktor di dalam proses reduksi. Perhitungan tersebut didasarkan pada reaksi yang akan terjadi sebagai berikut:



Maka bijih nikel dengan kandungan 12,83% Fe dan 1,83% Ni membutuhkan karbon sebanyak 8,62% dengan demikian dibutuhkan batubara yang memiliki nilai FC = 44% sebanyak 19,59%. Proses reduksi yang akan dilakukan dibuat pada kondisi selektif agar unsur nikel tereduksi sempurna sedangkan besi tereduksi tidak sempurna, sehingga pemakaian batubara maksimum 65% dari kebutuh-

an 19,59% atau sekitar 12,73% untuk batubara yang memiliki nilai FC 44%.

Perhitungan Kebutuhan Kapur

Selama proses reduksi selektif diharapkan terjadi reaksi pembentukan fayalit (2FeO.SiO₂); sebaliknya harus dihindari pembentukan fasa fosterit (Huang dan Lu, 2011). Silikat yang akan bereaksi secara stoikhiometrik membentuk fayalit sebanyak 13,75% sedangkan silikat yang akan membentuk fosterit sebanyak 25,56% sehingga terdapat SiO₂ yang belum bereaksi sebanyak 13,42% dan diharapkan dapat terikat dengan penambahan CaO sebanyak 8,72% berdasarkan reaksi :



HASIL DAN DISKUSI

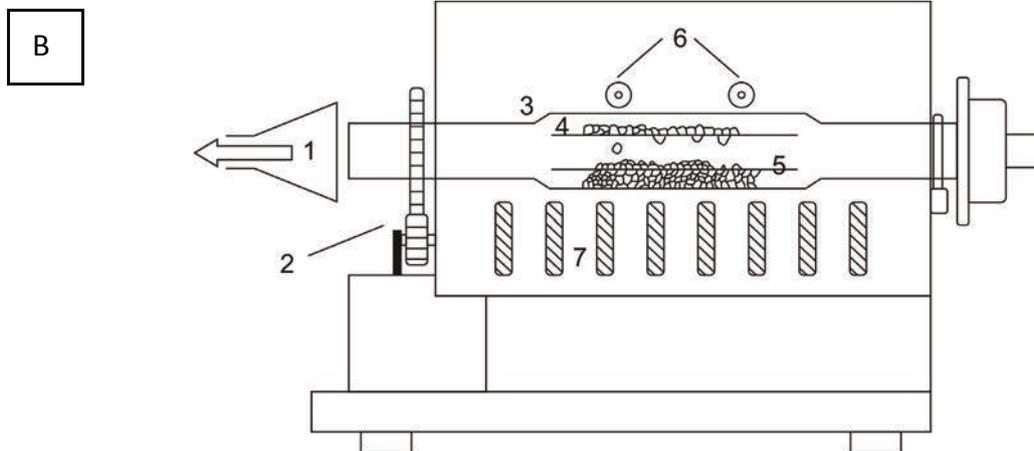
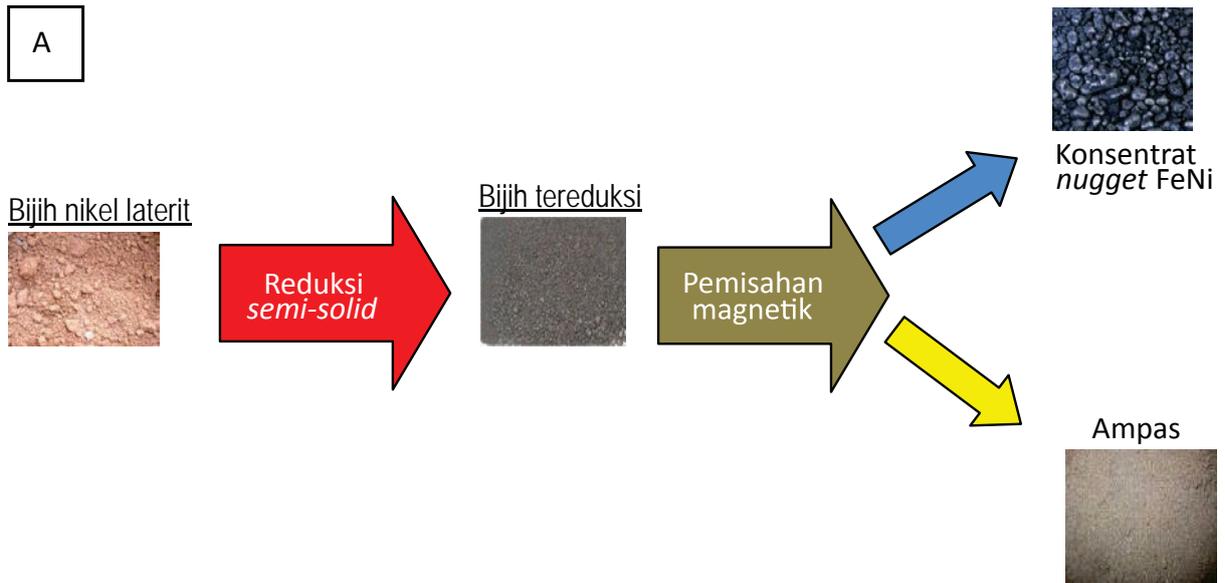
Komposisi Kimia Bijih Nikel Laterit dan Bahan Reduktor Batubara

Berdasarkan hasil analisis ayak dan komposisi kimia per fraksi, maka komposisi kimia terhitung untuk percontoh bijih nikel laterit adalah 12,83% Fetotal; 18,34% Fe₂O₃; 52,73% SiO₂; 0,49% CaO; 17,17% MgO; 1,82% Ni; 0,02% P₂O₅; 0,78% Cr₂O₃ dan 0,03% Co. Terlihat kadar nikel sebesar 1,82% yang dapat dikategorikan sebagai kadar bijih nikel yang cukup tinggi untuk proses pembuatan *nugget* feronikel melalui proses reduksi di dalam tungku putar. Kualitas bijih ini relatif sama dengan bijih yang digunakan dalam percobaan yang dilakukan oleh Biswabandita dan Tapan (2013).

Batubara yang digunakan sebagai reduktor adalah jenis sub-bituminus yang memiliki komposisi 44% FC; 34,5% VM; 17,5% abu; 0,4% S dan 0,005% P. Batubara ini mengandung karbon yang cukup untuk dapat membentuk gas CO sebagai bahan reduktor dalam proses pembuatan *nugget* feronikel, namun nampaknya nilai VM cukup tinggi (34,5%) yang cenderung terjadi emisi sewaktu proses reduksi (Bunjaku, 2013), tetapi diharapkan tidak mengganggu proses reduksi itu sendiri.

Analisis XRD

Analisis XRD bertujuan untuk mengetahui jenis mineral nikel yang terdapat di dalam bijih nikel laterit. Analisis dilakukan per fraksi. Tiap fraksi ternyata memiliki puncak-puncak yang sama seperti diwakili oleh salah satu percontoh (Gambar 3).



Skema tungku putar skala laboratorium
(1. penutup, 2. wheel rotary, 3. stainless steel tube, 4. pengaduk (blades), 5. percontoh bijih terproses, 6. termokopel, 7. elemen pemanas)

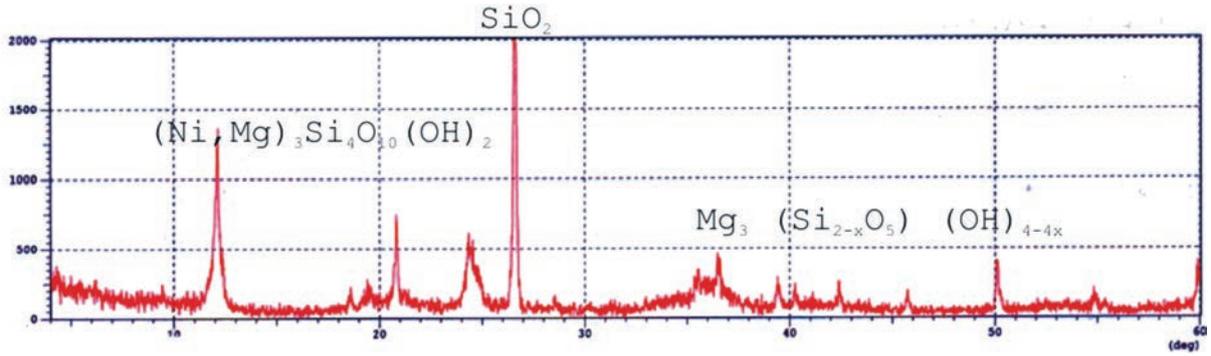
Gambar 2. Bagan alir proses dan model tungku putar yang digunakan pada proses reduksi bijih nikel laterit

Puncak-puncak nilai *X-ray* memperlihatkan keberadaan mineral nikel $(\text{Ni,Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{30}(\text{OH})_2$ dan keberadaan mineral silikat $\text{Mg}_3(\text{Si}_{2-x}\text{O}_5)(\text{OH})_{4-4x}$ serta dominan mengandung silika bebas (SiO_2). Hasil analisis XRD ini hanya memperlihatkan keberadaan mineral nikel silikat yang terikat dengan magnesium, namun unsur nikel yang terikat pada mineral lainnya tidak teridentifikasi seperti halnya mineral pembawa nikel gutit $(\text{Fe,Ni})\text{O}(\text{OH})$. Hal ini mungkin disebabkan mineral tersebut relatif rendah dibandingkan mineral-mineral dominan lainnya. Mineral pembawa nikel akan nampak jika sudah melalui proses pengonsentrasian atau seleksi seperti

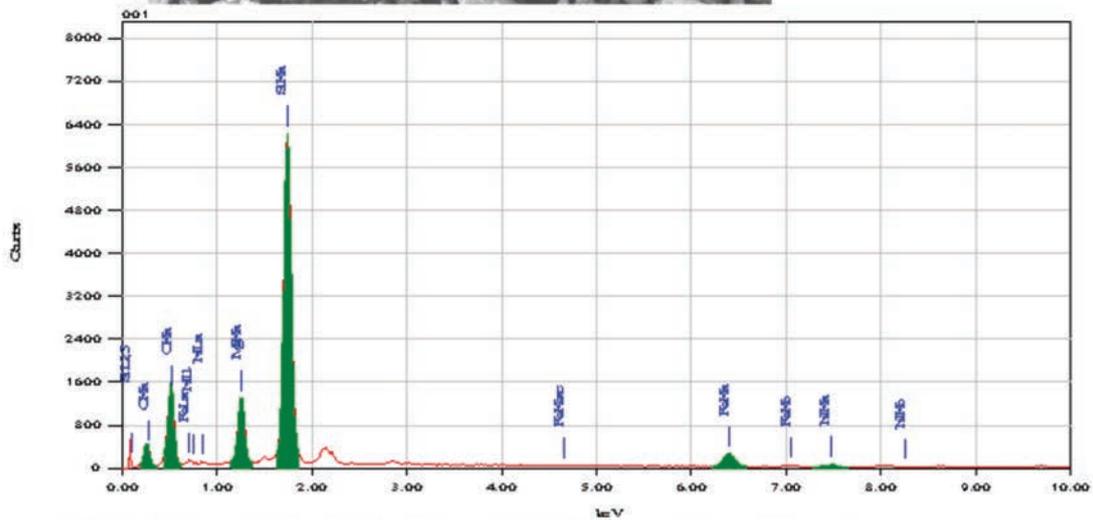
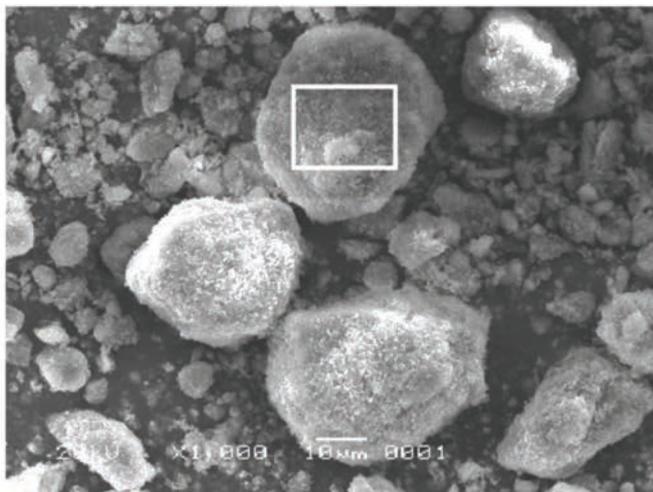
untuk analisis mineralogi optik.

Analisis *X-ray Mapping*

Analisis *X-ray mapping* digunakan untuk mengidentifikasi distribusi unsur-unsur logam di dalam partikel mineral nikel. Hasil *X-ray mapping* memperlihatkan bijih nikel laterit mengandung 1,75% Ni; 7,19% Fe; 27,19% Si dan 7,25% Mg ($\text{Si/Mg} = 3,75$) seperti nampak pada Gambar 4. Hasil analisis *X-Ray Mapping* ini memperkuat hasil analisis kimia (khususnya untuk kadar Ni) yang relatif sama yaitu 1,82% dan 1,75%.



Gambar 3. Difraktogram sinar-X percontoh bijih nikel laterit

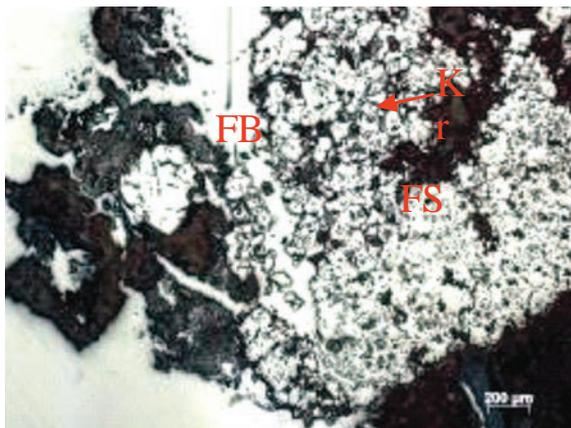


Element	(keV)	mass%	Error%	At%	Compound	mass%	Cation	K
C	0.277	18.34	0.89	51.73	C	18.34	0.00	6.2552
O		38.28						
Mg	1.253	7.25	0.70	10.11	MgO	12.03	2.99	11.8091
Si	1.739	27.19	0.75	32.79	SiO ₂	58.16	9.71	59.1767
Fe	6.398	7.19	1.78	4.36	FeO	9.25	1.29	18.3196
Ni	7.471	1.75	2.74	1.01	NiO	2.23	0.30	4.4393
Total		100.00		100.00		100.00	14.29	

Gambar 4. Hasil analisis Xray mapping percontoh bijih nikel laterit

Analisis Mineralogi

Berdasarkan mikrofoto hasil pengujian mikroskop optik diketahui bahwa keberadaan mineral pembawa nikel yaitu gutit ($(\text{Fe},\text{Ni})\text{O}(\text{OH})$) dan serpentin ($(\text{Mg},\text{Fe},\text{Ni})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) nampak terperangkap di



- kromit (Kr) terdapat di dalam fragmen batuan (FB).
- komponen fragmen silika (FS).
- komponen fragmen batuan serpentin (FB).

Gambar 5. Mikrofoto sayatan poles bijih nikel laterit

dalam fragmen batuan (FB) sehingga kemungkinan proses reduksi akan membutuhkan energi yang agak tinggi, agar nikel dan besi dapat tereduksi.

Analisis DTA

Pengujian *differential thermal analysis* (DTA) dilakukan terhadap percontoh bijih nikel tanpa atau dengan penambahan batubara 6 dan 8%. Hasil analisis DTA percontoh bijih nikel tanpa batubara (Gambar 6, DTA) menunjukkan 2 (dua) puncak endotermik yaitu pada suhu sekitar 277 dan 640°C, sedangkan puncak reaksi eksotermik terjadi pada suhu sekitar 826°C. Puncak pertama pada 277°C menunjukkan terjadi pengurangan kandungan air sedangkan puncak kedua pada 640°C menunjukkan reaksi *dehydroxylation* kristal gutit menjadi hematit. Puncak eksotermik pada suhu 826°C menunjukkan fenomena rekristalisasi *nickelferrous* serpentin.

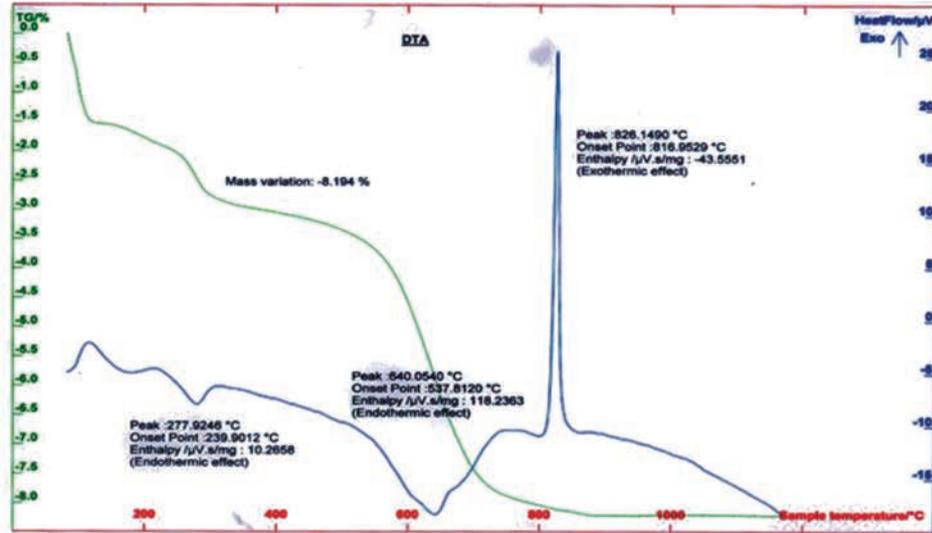
Hasil analisis DTA untuk bijih nikel laterit dengan penambahan batubara 6 dan 8% juga menunjukkan adanya 2 (dua) puncak endotermik dan satu puncak eksotermik, akan tetapi pada nilai suhu yang berbeda yaitu untuk penambahan batubara 6% (Gambar 6, DTA 1), puncak endotermik ada pada suhu 279°C, 640°C dan puncak eksotermik pada suhu 826°C, sedangkan untuk penambahan batubara 8% (Gambar 6, DTA 2), puncak endotermik terdapat pada suhu 525°C, 629°C dan puncak eksotermik pada suhu 825°C. Dari hasil analisis ini diketahui bahwa dengan penambahan batubara, reaksi dehidrasi dimulai pada suhu yang lebih tinggi terkait dengan pengurangan air dalam batubara. Penambahan batubara juga berpengaruh pada suhu proses *dehydroxylation*, namun tidak berpengaruh pada proses rekristalisasi *nickelferrous* serpentin (Huang dan Lu, 2011). Kadungan zat terbang batubara juga banyak berperan dalam proses penghilangan bahan tersebut sewaktu terjadi pemanasan batubara.

Pengaruh Penambahan NaCl pada Proses Reduksi

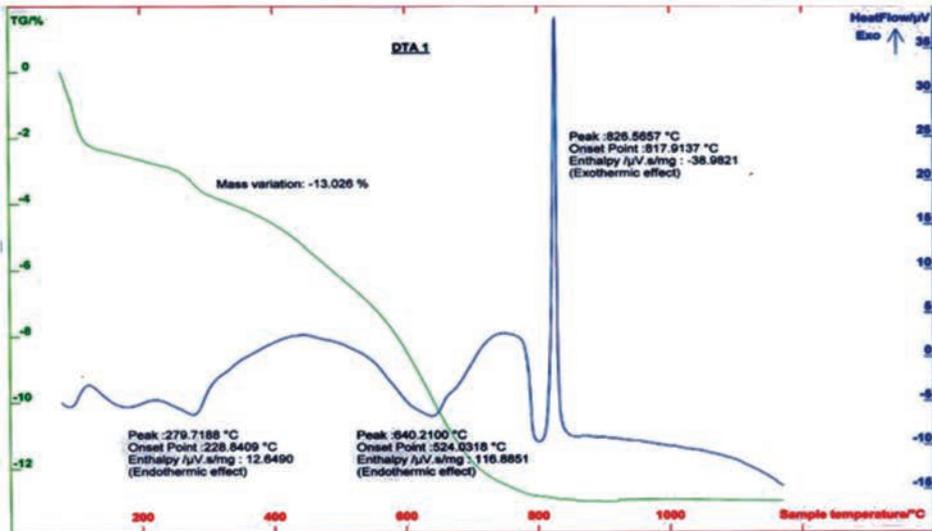
Dalam usaha peningkatan kinerja proses reduksi selektif perlu dilakukan percobaan penambahan NaCl ke dalam sistem reduksi. Dasar pemikiran ini adalah harapan terbentuknya segregasi partikel-partikel logam nikel seperti dinyatakan oleh reaksi-reaksi sebagai berikut:

- pertama, NaCl ditambahkan ke dalam bijih nikel laterit sebagai umpan proses sehingga terjadi reaksi dengan uap air membentuk asam

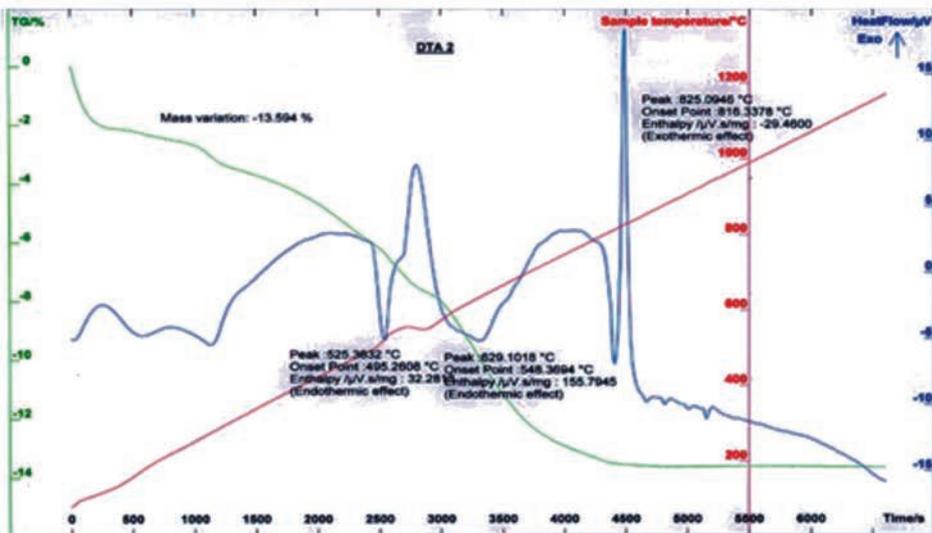
DTA



DTA .1.



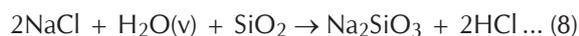
DTA .2.



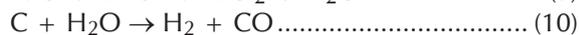
(DTA) Percontoh bijih nikel laterit tanpa batubara
 (DTA 1). Percontoh nikel laterit dengan 6% batubara
 (DTA 2). Percontoh bijih nikel laterit dengan 8% batubara

Gambar 6. Hasil analisis DTA terhadap percontoh bijih nikel laterit

klorida sesuai persamaan reaksi:



- berdasarkan data termodinamik delta energi bebas Gibbs, reaksi (8) hanya dapat berlangsung pada suhu $> 600^\circ\text{C}$. Asam klorida yang terbentuk akan beraksi dengan NiO membentuk senyawa nikel klorida dan akhirnya menjadi logam nikel seperti reaksi berikut:



Percobaan reduksi berlangsung pada kondisi suhu, waktu dan jumlah reduktor tetap yaitu 1150°C selama 4 jam dan penambahan batubara 12,7%. Penetapan suhu reduksi mengacu pada percobaan Liu dkk. (2010) yaitu pada suhu 1250°C menggunakan MgCl_2 , sedangkan Zhu dkk. (2012) mencoba pada suhu 1100°C . Pada percobaan ini, menggunakan fluks NaCl bervariasi (1, 2,5 dan 5%). Setelah diperoleh *nugget* feronikel dari bijih tereduksi kemudian dikonsentrasikan dengan pemisah magnetik 1500 Gauss. Gambar 7 menunjukkan fenomena pengaruh penambahan NaCl dalam proses reduksi bijih nikel terhadap produk *nugget* feronikel. Terlihat dengan jelas bahwa semakin banyak penambahan NaCl ternyata dapat meningkatkan reduksibilitas logam Ni yang lebih tinggi sedangkan kandungan Fe sedikit meningkat; sebaliknya pengotor silika dapat diturunkan secara signifikan. Hal ini sesuai dengan teori bahwa selama proses reduksi komponen NiO berubah menjadi NiCl_2 yang kemudian direduksi oleh hidrogen menjadi logam Ni (lihat reaksi 9, 10 dan 11). Hasil percobaan ini memiliki tren peningkatan kadar yang sama dengan percobaan Liu dkk. (2010) yang menunjukkan bahwa jika penambahan klorida semakin banyak kadar FeNi meningkat. Hasil simulasi menggunakan *ExeSolver* ternyata menunjukkan kadar Ni, Fe dan SiO_2 dalam produk *nugget* feronikel relatif sama dengan kadar logam-logam Ni, Fe, SiO_2 hasil percobaan.

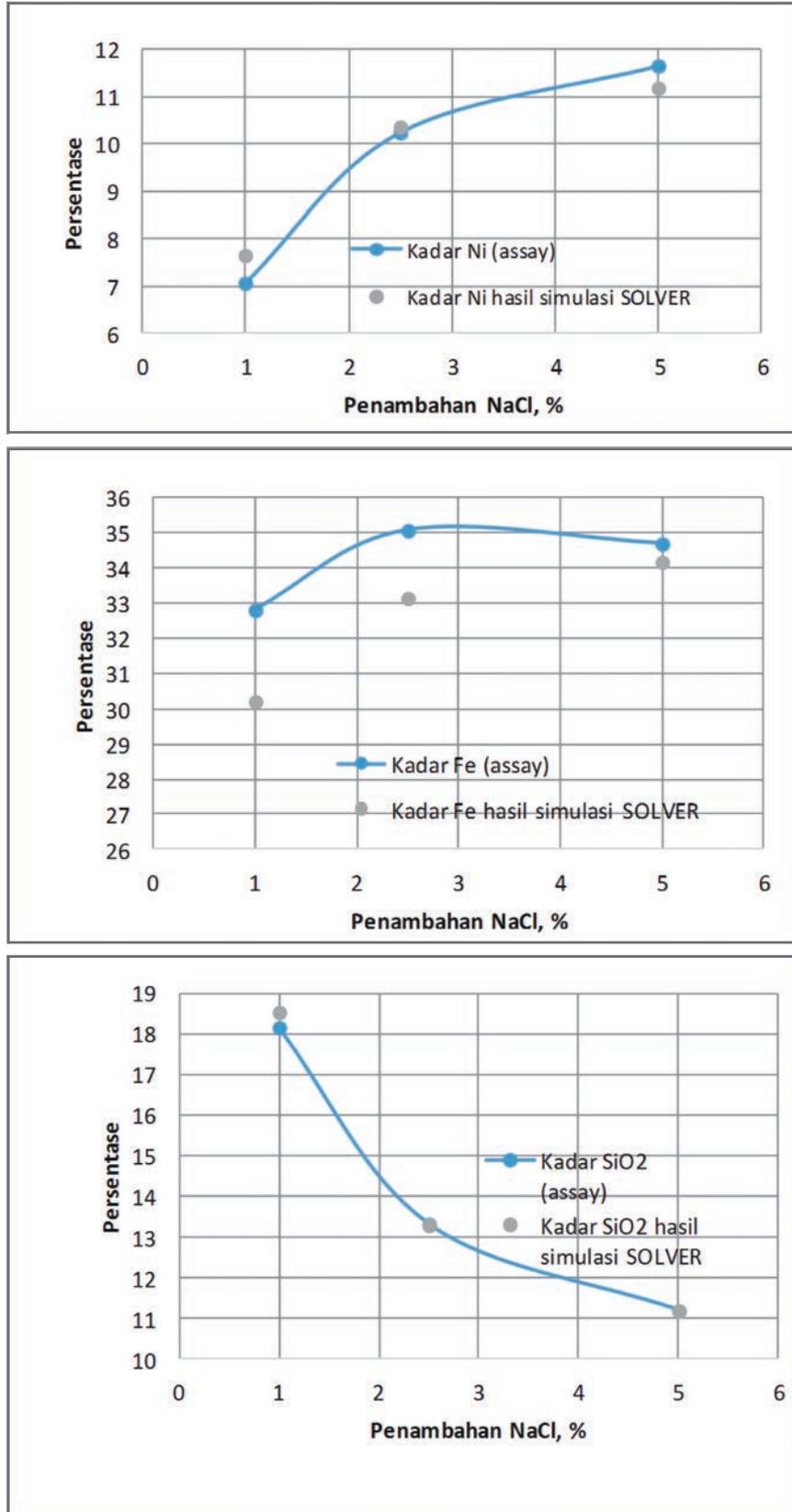
Untuk *tailing* sisa proses reduksi yang telah dipisahkan dari *nugget* feronikelnya menggunakan pemisah magnetik 1500 gauss nampak dari Gambar 8 bahwa kandungan Ni, Fe menurun drastis bersamaan dengan penambahan NaCl yang lebih banyak, sedangkan kandungan SiO_2 sebagai pengotor meningkat. Fungsi NaCl selain meningkatkan reduksibilitas Ni, tetapi akan menurunkan reduksibilitas Fe, sehingga terjadi proses reduksi selektif. Dari semua hasil percobaan dapat diketahui bahwa

kandungan nikel dalam konsentrat (*nugget*) yang optimal dicapai pada penambahan 5% NaCl dengan kandungan 11,65% Ni, 34,70% Fe dan 11,20% SiO_2 , dengan jumlah perolehan logam Ni mencapai sekitar 72,8% (Gambar 9). Dibandingkan dengan hasil percobaan Xuwei dkk. (2013) dan Zhu dkk. (2012) yang dapat mereduksi Ni lebih sempurna dengan perolehan 96% dan 92,1% adalah karena memakai reduktor batubara tipe antrasit.

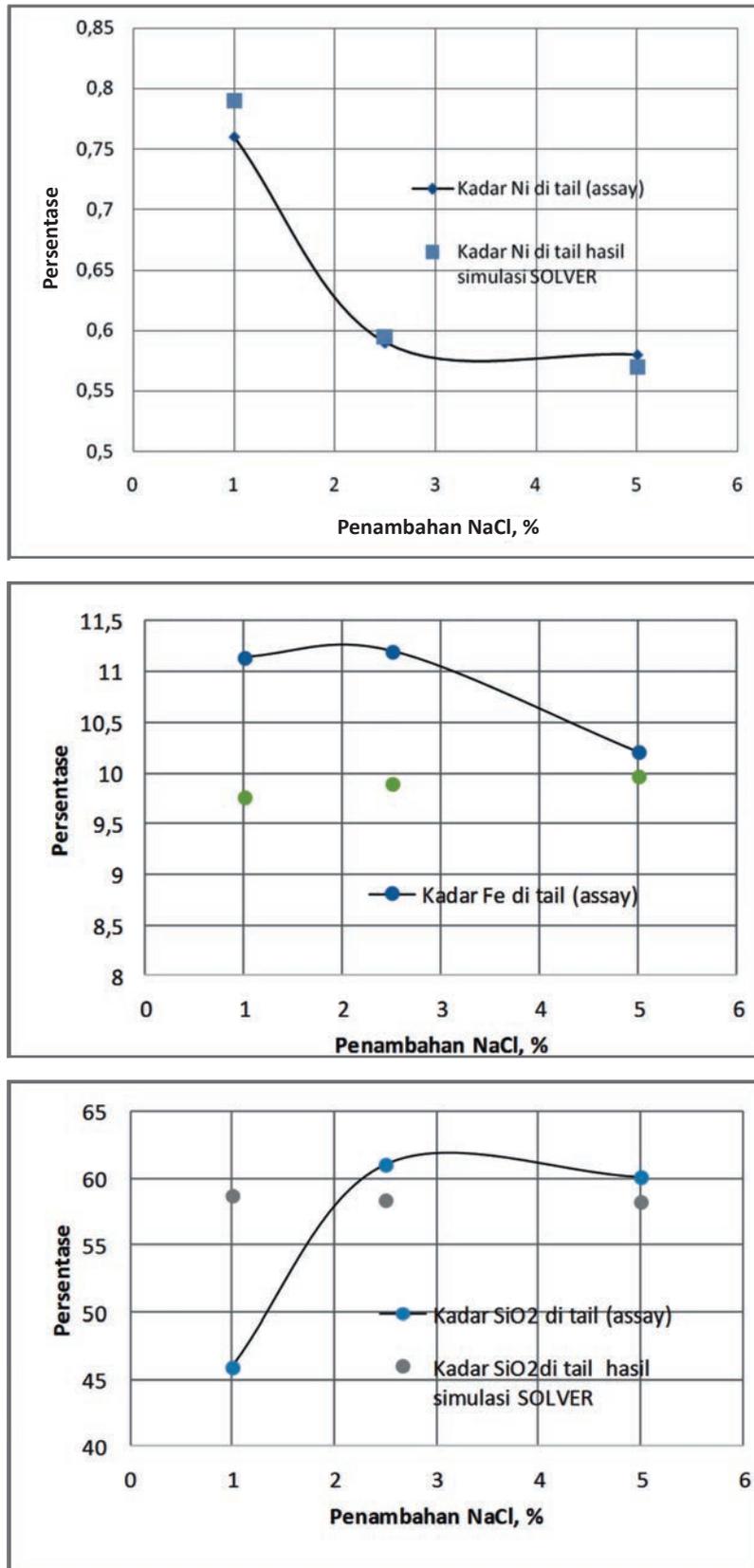
Rendahnya perolehan Ni (72,8%) mungkin juga disebabkan karena secara mineralogi keberadaan mineral pembawa nikel (gunit dan serpentin) terperangkap dalam mineral batuan seperti ditunjukkan oleh Gambar 5 sehingga redusibilitas Ni tidak sempurna, kecuali suhu ditingkatkan. Dalam percobaan ini suhu ditetapkan 1150°C karena tujuannya adalah menurunkan suhu proses.

Berdasarkan hasil analisis XRD terhadap produk proses reduksi bijih nikel laterit tersebut di atas terlihat adanya senyawa FeNi-oksida dalam bentuk trevorit pada penambahan NaCl 1 dan 2,5%, sedangkan pada penambahan NaCl 5% nampak ada logam feronikel dalam bentuk taenit (Gambar 10). Adanya komponen trevorit dan taenit membuktikan bahwa telah terjadi proses reduksi oksida besi dan terbentuknya logam nikel walau tidak sempurna. Hal ini sesuai dengan hasil percobaan Bo Li dkk. (2011).

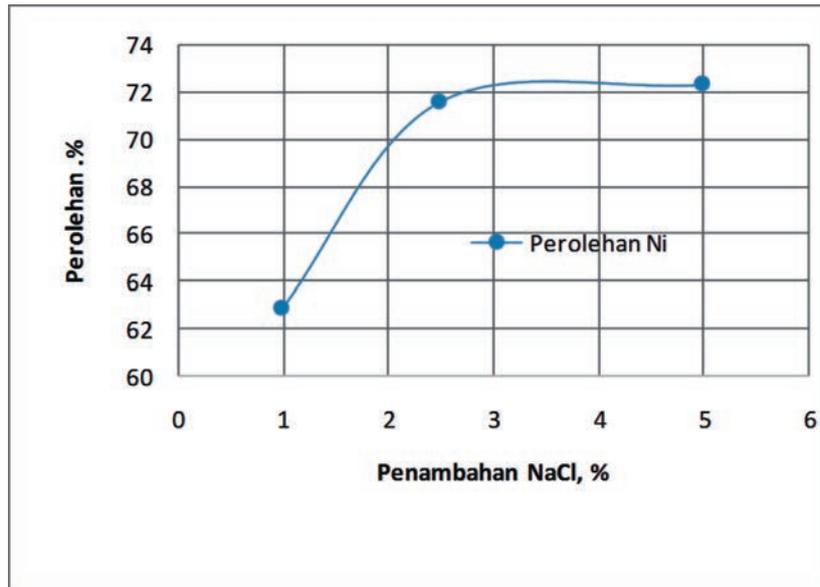
Hasil pemisahan magnetik berupa material magnetik dan material non-magnetik (*tail*) dianalisis dengan mikroskop optik untuk memperkuat identifikasi terdapatnya feronikel pada konsentrat magnetik seperti yang tertera pada Gambar 11 dan mengurangi terdapatnya feronikel pada *tail* (non-magnetik) seperti ditunjukkan oleh Gambar 12. Produk *nugget* feronikel dominan terdapat dalam produk konsentrat magnetik, sebaliknya dalam produk non-magnetik (*tail*) masih nampak adanya feronikel dalam bentuk serpihan yang sangat kecil. Selain itu penambahan 5% NaCl pada *tail* memperlihatkan keberadaan feronikel yang paling sedikit dibandingkan dengan feronikel pada *tail* dengan penambahan 1 dan 2,5% NaCl. Hal ini membuktikan bahwa penambahan NaCl sebagai fluks dalam proses reduksi bijih nikel laterit pada suhu 1150°C selama 4 jam akan menghasilkan produk feronikel yang meningkat signifikan dengan kadar FeNi (4,7 hingga 11,3% Ni) yang sudah memenuhi syarat sebagai bahan baku industri besi baja seri 200 (Ni = 1-6%) dan seri 300 (Ni = 8 – 10,5%) (Kruger dkk., 2010).



Gambar 7. Pengaruh penambahan NaCl terhadap kandungan Ni, Fe_{tot} dan SiO₂ pada produk *nugget* feronikel.



Gambar 8. Pengaruh penambahan NaCl terhadap kandungan Fe, Fe_{tot} dan SiO₂ pada *tailing* sisa proses reduksi.



Gambar 9. Pengaruh penambahan NaCl terhadap perolehan logam Ni

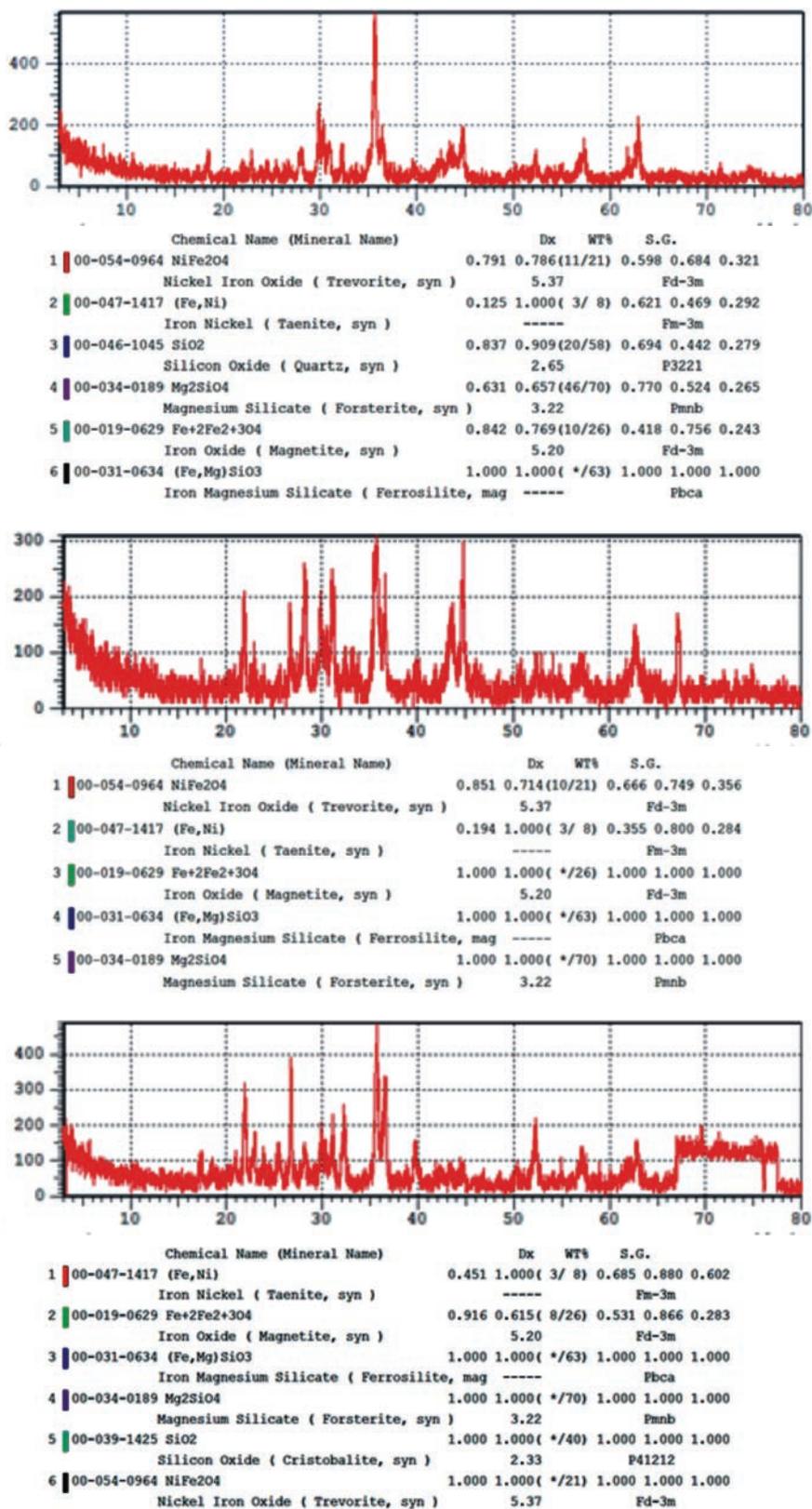
Pengaruh Penambahan Fluks Na_2CO_3

Pengaruh penambahan fluks Na_2CO_3 disajikan pada Gambar 13. Variasi konsentrasi penambahan Na_2CO_3 adalah 1, 2,5 dan 5% dengan penambahan tetap fluks kapur 8,7 dan NaCl 1 %. Terlihat bahwa penambahan Na_2CO_3 memberikan efek negatif terhadap proses reduksi nikel jika jumlah penambahannya di atas 1%. Pada kondisi proses 1% NaCl tanpa penambahan Na_2CO_3 , kadar Ni dalam konsentrat mencapai 7,06% selanjutnya dengan penambahan 1% Na_2CO_3 terjadi sedikit peningkatan kandungan Ni menjadi 7,4%; sebaliknya dengan peningkatan penambahan jumlah Na_2CO_3 yaitu 2,5 dan 5%, terjadi penurunan kandungan Ni dalam konsentrat menjadi 5,23 dan 4,73% Ni. Hal ini mungkin disebabkan karena selama proses reduksi dengan jumlah Na_2CO_3 lebih banyak, terjadi pembentukan senyawa fosterit yang semakin banyak, sehingga nikel oksida menjadi sulit tereduksi. Namun demikian perolehan Ni sekitar 55,5% pada penambahan Na_2CO_3 1% dan perolehan Ni sekitar 66% pada penambahan Na_2CO_3 2,5% telah dicapai seperti ditunjukkan pada Gambar 13. Dibandingkan dengan percobaan Zhu dkk. (2012) yang meningkatkan perolehan nikel hingga 92% mungkin karena suhu proses yang lebih tinggi (1400°C) dengan reduktor batubara antrasit dan menggunakan fluks CaSO_4 . Fenome-

na rendahnya perolehan Ni diperkuat oleh hasil analisis XRD seperti ditunjukkan oleh Gambar 14 yaitu pada produk proses reduksi terdapat puncak-puncak MgSiO_4 (fosterit), yang lebih tinggi yang menyebabkan proses reduksi kurang efektif.

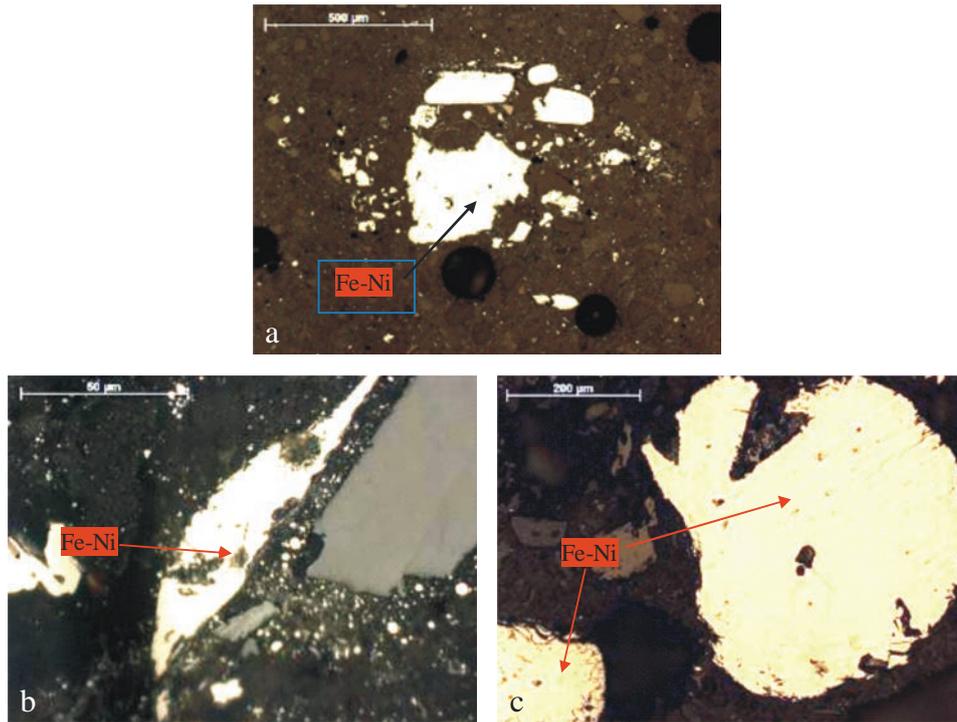
Pengaruh Penambahan Kapur

Penambahan kapur dilakukan pada konsentrasi 2,5; 5 dan 8,7% (Gambar 15). Hasil percobaan menunjukkan bahwa penambahan 5% kapur memberikan pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi nikel dan besi dalam konsentrat magnetik yaitu sekitar 6,65% Ni dan 29% Fe dibandingkan dengan penambahan 2,5% kapur yang hanya memberikan 3,91% Ni dan 22% Fe, namun demikian, kandungan SiO_2 masih cukup tinggi. Perolehan nikel tertinggi adalah 61,04%. Hal ini mungkin karena pada penggunaan suhu 1150°C pembentukan fayalit ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$) tidak sempurna, demikian juga reaksi CaO dan SiO_2 masih belum sempurna. Walaupun demikian, karena tujuan penelitian ini adalah mengurangi penggunaan energi dengan menurunkan suhu proses reduksi, maka yang fokus diperhatikan adalah efektifitas pembentukan *nugget* feronikel yang memenuhi syarat bahan baku industri besi baja pada suhu proses yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan proses feronikel pada umumnya.



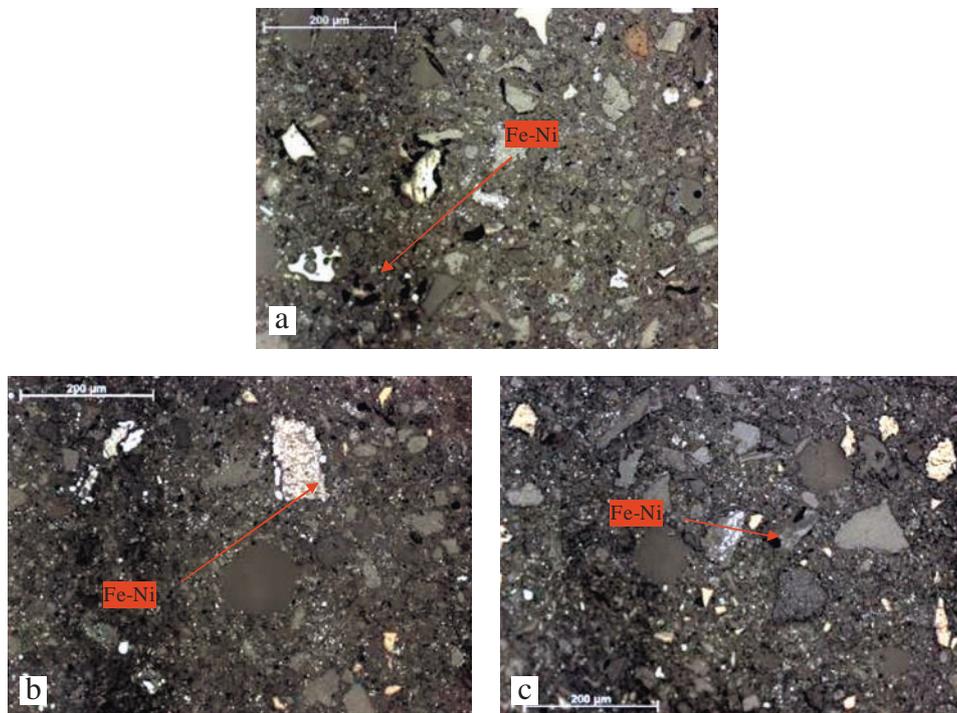
- (a) pengaruh penambahan NaCl 1%
- (b) pengaruh penambahan NaCl 2,5%
- (c) pengaruh penambahan NaCl 5%

Gambar 10. Hasil analisis XRD terhadap konzentrat hasil reduksi



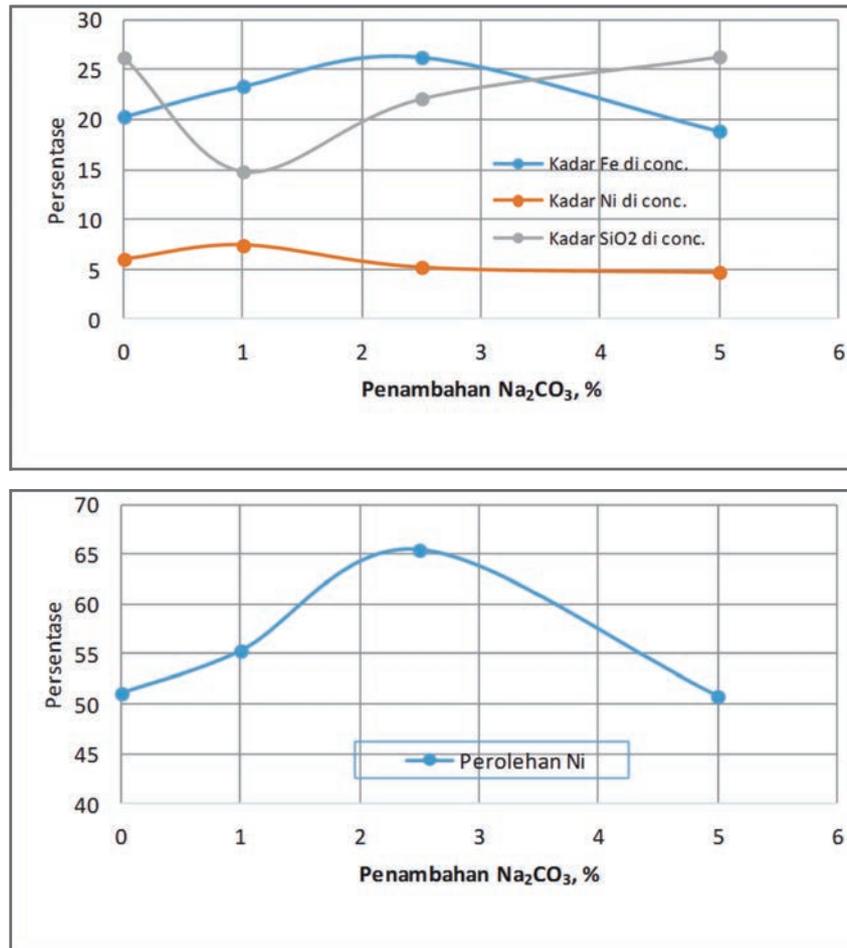
(a) Kondisi penambahan 1% NaCl, suhu 1150°C, waktu reduksi 4 jam
(b) Kondisi penambahan 2,5% NaCl, suhu 1150°C, waktu reduksi 4 jam
(c) Kondisi penambahan 5% NaCl, suhu 1150°C, waktu reduksi 4 jam

Gambar 11. Mikrofoto sayatan poles percontoh hasil reduksi sebagai konsentrat magnetik

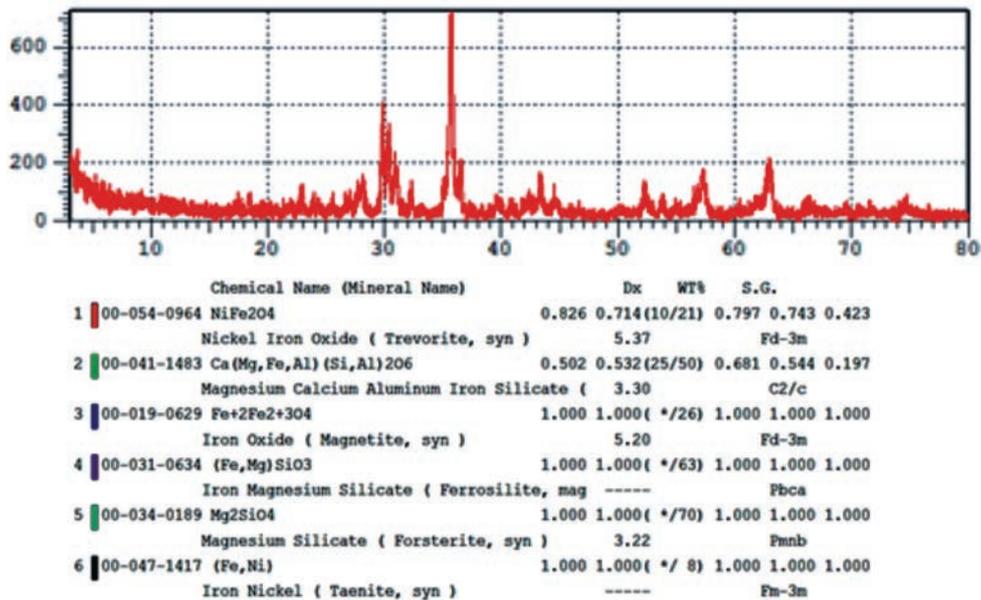


(a) Kondisi penambahan 1% NaCl, suhu 1150°C, waktu reduksi 4 jam
(b) Kondisi penambahan 2,5% NaCl, suhu 1150°C, waktu reduksi 4 jam
(c) Kondisi penambahan 5% NaCl, suhu 1150°C, waktu reduksi 4 jam

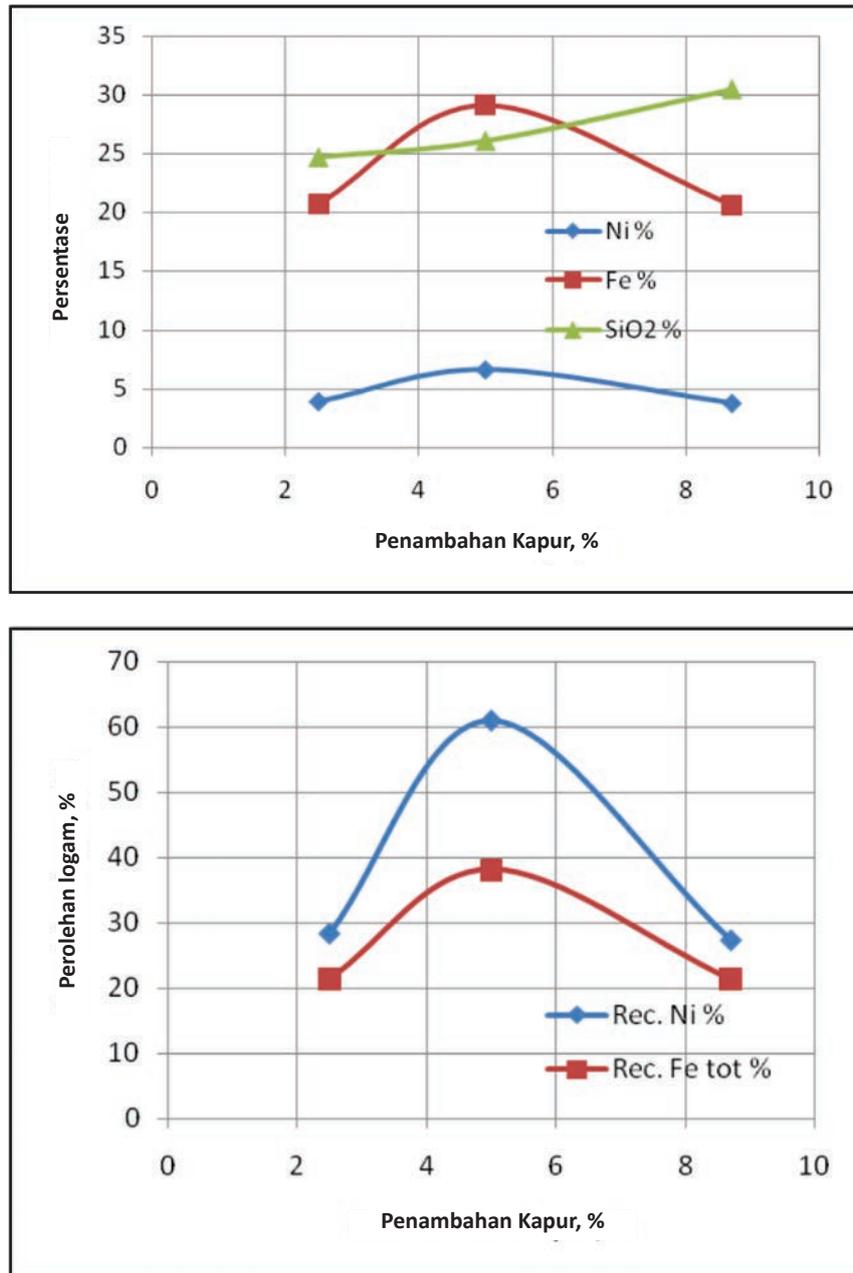
Gambar 12. Mikrofoto sayatan poles percontoh hasil reduksi sebagai non-magnetik (*tail*)



Gambar 13. Pengaruh penambahan fluks sodium karbonat terhadap kadar dan perolehan *nugget* feronikel.



Gambar 14. Difraktogram sinar-X hasil proses reduksi setelah melalui pemisahan magnetik



Gambar 15. Pengaruh penambahan kapur terhadap kadar dan perolehan logam *nugget* FeNi

KESIMPULAN

Proses reduksi semi-solid selektif bijih nikel laterit yang semula mengandung 1,83% Ni, dan 12,83% Fe total telah menghasilkan *nugget* feronikel dengan kadar bervariasi mulai dari 4,7 hingga 11,3% Ni tergantung dari senyawa alkali yang ditambahkan sebagai fluks.

NaCl yang ditambahkan pada fluks akan meningkatkan kadar Ni dalam *nugget* feronikel, sebaliknya

penambahan Na₂CO₃ ke dalam fluks tidak boleh melebihi 1%, karena cenderung menurunkan kadar nikel dalam produk *nugget* feronikel. Penambahan 5% kapur berpengaruh signifikan terhadap jumlah perolehan nikel yang menghasilkan *nugget* feronikel berkadar 6,65% Ni dengan perolehan Ni tertinggi dicapai sebesar 61% berkadar 11,29% Ni.

Hasil percobaan pembuatan *nugget* feronikel dengan kadar 4,73 – 11,29% Ni di dalam tungku putar pada suhu proses 1150°C selama 4 jam, pe-

nambahan reduktor batubara subbituminus 12,7%; fluks NaCl, Na₂CO₃ serta kapur dalam jumlah yang bervariasi membuktikan secara nyata telah terjadi proses reduksi *semi-solid* selektif yang cukup baik. Produk *nugget* feronikel tersebut sudah memenuhi persyaratan bahan baku besi baja menurut standar AISI grade 200 – 300.

SARAN

Perlu dilakukan percobaan dengan menambahkan fluks magnesium sulfat atau kalsium sulfat serta reduktor batubara kualitas lebih baik (misal antrasit) agar hasil reduksi lebih tinggi.

Perlu dilakukan proses optimalisasi reduksi selektif *semi-solid* dengan menurunkan suhu lebih rendah lagi serta penggunaan fluks yang terbaik agar tercapai target efisiensi biaya energi dan spesifikasi produk *nugget* feronikel yang memenuhi syarat minimal industri besi baja.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Puslitbang tekMIRA yang telah mendanai penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada rekan-rekan teknisi tim litbang nikel Puslitbang tekMIRA yang telah membantu dalam melakukan penelitian serta kepada para analis kimia yang telah membantu dalam melakukan analisis percontohan produk-produk penelitian sehingga makalah hasil penelitian ini dapat dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Biswabandita, K., dan Tapan K.P., 2013. Preparation of metallic nickel nugget from lateritic ore and its comparison with synthetic oxidic system, *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, Vol. 3, Issue 2, August.
- Bo Li, Wang, H. dan Wei, Y., 2011. The reduction of nickel from low-grade nickel laterite ore using a solid-state deoxidation method, *Mining Engineering*, Vol. 24, Issue 14, Nov., p.1556.

Bunjaku, A., 2013. The effect of mineralogy, sulphur, and reducing gases on the reducibility of saprolitic nickel ores, Alto University publication series, *Doctoral Dissertations 18/2013*.

Cartman, R., 2010. An overview of the future production and demand of ferronickel, *Informa Mining and Metals, 2nd Euro Nickel Conference*, 18 – 19 th March, 24 pages.

Huang, Q. dan Lu, X. 2011. Phases transformation of nickel lateritic ore during dehydration, *J. Min. Metall. Sect. B-Metall.* 47 (1) B (2011) 45 – 51

Kruger, P.V., Silva, C.A., Viera, C.B., Araujo, FGS. dan Seshadri, V., 2010. Relevant aspects related to production of iron nickel alloys (pig iron containing nickel) in mini blast furnace, *The 12th Int. Ferroalloys Congress*, June, Helsinki, Finland, pp.671-680.

Levac, C.A. dan Berryman, R.A. 1997. *Pyrometallurgy fundamentals and process development*, The Metallurgical Society of CIM, La Societe De La Metallurgie De L’Cim

Liu Wan-rong, Xin-hai, L., Qi-yang, H., Zhi-xing, W., Ke-zhuan, G., Jin-hui, L. dan Lian-xin, Z., 2010. Pretreatment study on chloridizing segregation and magnetic separation of low-grade nickel laterites, *Trans. Nonferrous Met. Soc., China*, Vol. 20, p.82-86.

Rodrigues, F.M., 2013. Investigation into the thermal upgrading of nickel ferrous laterite ore, *A thesis submitted to the Robert M. Buchan*, Department of Mining In conformity with the requirements for The degree of Master of Applied Science Queen’s University Kingston, Ontario, Canada (December), Copyright © Filipe Manuel Rodrigues.

Xuwei Lu, Guo, E., Yuan, Q., Pan, C. dan Liu, M., 2013. New method to produce FeNi nuggets from low grade ore by semi-molten reduction, *The 13th International Ferroalloys Congress*, Efficient Technologies In Ferroalloy Industry, June 9 -13th, Almaty, Kazakhstan, pp.223-228.

Zhu D.Q., Chin Y., Vining K., Hapugoda S, Douglas J., Pan J., dan Zheng G.L., 2012. Upgrading low nickel content laterite ores using selective reduction followed by magnetic separation, *Int. J. Mineral Process*, Vol. 106-109, pp 1 – 7.