



PROSES REDUKSI SELEKTIF BIJIH NIKEL LIMONIT MENGGUNAKAN ZAT ADITIF CaSO_4

Wahyu Mayangsari* dan Agus Budi Prasetyo

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI
Gedung 470, Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan
E-Mail: * wahy035@lipi.go.id

Masuk Tanggal : 11-01-2016, revisi tanggal : 12-04-2016, diterima untuk diterbitkan tanggal 30-04-2016

Intisari

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum pada proses reduksi selektif bijih nikel limonit menggunakan zat aditif CaSO_4 dan diikuti dengan pemisahan magnetik untuk mendapatkan peningkatan kadar nikel. Proses reduksi selektif dilakukan pada rentang suhu 800 - 1100 °C, waktu reduksi 1 – 4 jam, serta penambahan reduktor dan aditif 5% - 20%. Preparasi bijih nikel limonit dilakukan dengan pemanasan bijih dalam oven, pengecilan ukuran dan pengayakan untuk mendapatkan bijih dengan ukuran lolos 100 mesh. Kemudian dilakukan pencampuran bijih nikel limonit dengan reduktor dan aditif. Campuran bijih nikel limonit kemudian direduksi dalam *muffle furnace carbolite* pada suhu dan waktu tertentu. Hasil reduksi kemudian ditimbang dan dikonsentrasikan menggunakan proses pemisahan magnetik dan hasilnya dianalisis dengan metode AAS (*atomic absorption spectrometry*) untuk mengetahui kadar Ni pada konsentrat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu reduksi, peningkatan kadar Ni dan metalisasi logam Ni semakin tinggi, dengan terbentuknya logam Ni yang terpisah dari logam Fe. Hal yang sama juga terjadi jika waktu reduksi semakin lama. Namun, semakin banyak penambahan reduktor pada campuran reduksi, peningkatan kadar Ni semakin kecil. Penambahan CaSO_4 dapat meningkatkan kadar nikel namun belum memberikan kecenderungan hasil yang baik. Peningkatan kadar Ni tertinggi yang didapatkan adalah 2,44%. Direkomendasikan untuk menggunakan suhu reduksi 1100 °C, waktu reduksi 1 jam, penambahan reduktor 10% dan penambahan aditif CaSO_4 20%.

Kata Kunci: Bijih nikel limonit, Reduksi selektif, Zat aditif, CaSO_4 , Reduktor, Pemisahan magnetik

Abstract

This research aims to determine the optimum selective reduction conditions process of limonite nickel ore using additives CaSO_4 and followed by magnetic separation to improve the nickel content. The selective reduction process was carried out at temperature range of 800 – 1100 °C, 1-4 h of reduction time, and the addition of the reducing agent and additives 5% - 20%. Limonite nickel ore was prepared by heating the ore inside the oven, size reduction and sieving to get ore with size under 100 mesh. Then, limonite nickel ore was mixed with reducing agent and additive. In addition, the limonite nickel ore which was mixed with the reducing agent and additive, was reduced in muffle furnace carbolite at certain temperature and time. Reduction result was weighed and concentrated by magnetic separation process, and the result was analysed by AAS (atomic absorption spectrometry) to determine of Ni contents in concentrates. The results showed that the higher a reduction temperature, Ni content and metallization of Ni was improved with the formation of Ni metal which separated from the Fe metal. The similar result was found with longer of reduction time. On the contrary, the higher an addition of reducing agent in the reduction mixture, the Ni content decreased slightly. The addition of CaSO_4 can increasing the nickle content but it was not given the tendency for the good results. The highest increasing of nickel contents i.e. 2.44% was achieved at 1100 °C of reduction temperature, 1 h of reduction time, 10% addition of reducing agent and 20% addition of CaSO_4 additive. The recommended reduction temperature are 1100 °C for 1 h of reduction time, with 10% addition of reducing agent and 20% addition of CaSO_4 additive.

Keywords: Limonite nickel ore, Selective reduction, Additive, CaSO_4 , Reducing agent, Magnetic separation

1. PENDAHULUAN

Nikel merupakan logam yang penting dan mempunyai banyak kegunaan. Penggunaan nikel sangat beragam, baik nikel primer (produk nikel yang berasal dari pemrosesan bijih nikel) maupun nikel sekunder (produk nikel yang berasal dari pemrosesan nikel primer). Sebanyak 48% nikel primer digunakan untuk produksi baja tahan karat (*stainless steel*) dan baja paduan, 39% digunakan untuk produksi paduan non logam (*nonferrous alloy*) dan *superalloy* dan 10% untuk elektroplating. Sedangkan untuk nikel sekunder, 30% digunakan untuk transportasi, 14% digunakan untuk produksi produk-produk metal, 12% untuk peralatan elektronik, 10% digunakan pada industri petroleum, dan masing-masing 8% digunakan pada industri kimia, konstruksi, peralatan rumah tangga dan industri mesin^[1].

Berdasarkan pembentukannya, bijih nikel diklasifikasikan menjadi dua, yaitu sulfida dan laterit. Jenis sulfida terbentuk ribuan meter di bawah permukaan bumi oleh reaksi sulfur dengan batuan yang mengandung nikel. Jenis laterit terbentuk dalam waktu yang lama sebagai hasil pelapukan batuan yang mengandung nikel dan menghasilkan nikel yang terdeposit lagi pada pembentukan oksida atau silikat^[2]. Beberapa jenis nikel laterit antara lain adalah limonit, asbolit: (1 - 1,70% Ni, 0,10 - 0,20 % Co), nontronit: (1 - 5% Ni, 0,05 % Co), serpentin: (1,50 - 10% Ni, 0,05 - 0,10 % Co) dan garnierit: (10 - 20% Ni, 0,05 - 0,10 % Co)^[3].

Menurut Dalvi, dkk.^[3], sekitar 70% cadangan bijih nikel dunia adalah laterit dan 30% adalah sulfida, sedangkan produksi nikel dunia sebesar 60% berasal dari sulfida dan sisanya berasal dari laterit. Bijih nikel laterit yang mempunyai cadangan lebih banyak, perlu dimanfaatkan secara maksimal, karena cadangan bijih nikel sulfida yang digunakan sebagai bahan baku terus menurun secara signifikan^[4]. Penurunan cadangan nikel kadar tinggi menyebabkan penggunaan bijih nikel kadar rendah, khususnya yang mengandung Ni kurang dari 2% mulai diperhatikan^[5] karena berpotensi menjadi bahan baku produksi nikel di masa depan.

Indonesia merupakan negara dengan cadangan nikel laterit nomor 4 terbesar di dunia, yaitu sekitar 12% cadangan nikel dunia^[3]. Sumber daya nikel Indonesia tersebar di Sulawesi, Kalimantan, Maluku dan Papua dengan kandungan unsur nikel rata-rata 1,45%^[6]. PT. Weda Bay telah melakukan penyelidikan cadangan sumber daya mineral

nikel di Halmahera, Maluku Utara. Dari data yang diperoleh oleh PT. Weda Bay diketahui bahwa cadangan nikel laterit halmahera pada tahun 2011 adalah sebesar 7007 Kt Ni dengan kadar Ni rata-rata 1,50%^[7]. Bijih dengan kadar Ni > 1,50% sudah dimanfaatkan, tetapi bijih dengan kadar Ni < 1,50% belum dilakukan pengolahan lebih lanjut, hanya digunakan untuk reklamasi saja, padahal berpotensi untuk menjadi bahan baku produksi nikel dengan pemrosesan lebih lanjut untuk meningkatkan kadar Ni tersebut. Untuk itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui proses yang tepat dan optimum dalam pemrosesan bijih nikel limonit Halmahera.

Pemrosesan nikel laterit membutuhkan energi yang intensif, biasanya nikel laterit langsung dilebur untuk menghasilkan ferronikel kadar rendah dengan jumlah *slag* yang banyak^[4]. Proses secara pirometalurgi hanya dapat menghasilkan nikel dengan kadar 1,50%, sedangkan rata-rata kadar nikel laterit dunia sekitar 1,45% sehingga pirometalurgi secara konvensional tidak efektif^[4]. Metalurgi ekstraksi biasanya digunakan untuk *recovery* nikel dari laterit, termasuk reduksi *roasting* yang diikuti dengan ammonia *leaching* atau HPL (*high pressure leaching*) dengan asam sulfat. Namun proses *leaching* dapat menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan serta dapat meningkatkan biaya produksi^[8]. Kim dkk.^[8] telah melakukan penelitian untuk meningkatkan kadar nikel laterit dengan proses kalsinasi pada suhu 500 °C selama 1 jam yang diikuti dengan pemisahan magnetik. Dengan proses tersebut, kadar Ni dapat ditingkatkan dari 1,50% menjadi sekitar 2,90% dengan *recovery* sekitar 48%. Zhu dkk.^[9] telah melakukan penelitian untuk meningkatkan kadar nikel dengan proses reduksi selektif yang ditambahkan aditif CaSO₄ pada suhu 1100 °C selama 1 jam dan diikuti dengan pemisahan magnetik, peningkatan kadar Ni yang didapatkan mencapai 6,01% dan *recovery* 92,10%. Bijih nikel yang digunakan adalah bijih nikel campuran, nikel limonit (Ni = 0,97%) dan saprolit (Ni = 1,42%). Dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan diketahui bahwa komposisi bijih serta kondisi proses berpengaruh dalam peningkatan kadar Ni pada bijih nikel. Selain itu, penambahan aditif CaSO₄ juga berpengaruh dalam peningkatan kadar Ni pada bijih nikel, sehingga reduksi selektif lebih dipilih daripada kalsinasi.

Pada penelitian ini, nikel laterit jenis limonit dari Halmahera, Maluku Utara yang belum dilakukan pengolahan digunakan dan diproses

dengan reduksi selektif menggunakan aditif CaSO_4 , diikuti dengan pemisahan magnetik metode basah. Pada proses reduksi selektif, struktur kristal Fe yang merupakan komponen magnetik diubah menjadi komponen non-magnetik, juga komponen-komponen magnetik lain yang terkandung pada bijih laterit sehingga selektivitas nikel dapat ditingkatkan^[8]. Ukuran partikel nikel menjadi lebih besar karena adanya proses metalisasi logam Ni dan terpisahnya logam Ni dari Fe, sehingga dapat memudahkan proses pemisahan magnetik antara konsentrat dan hasil *tailing*. Dari penelitian ini akan didapatkan kondisi optimum proses reduksi selektif dengan aditif CaSO_4 untuk meningkatkan kadar nikel pada bijih nikel limonit Halmahera.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

A. Preparasi

Penelitian ini menggunakan bijih nikel laterit jenis limonit yang berasal dari Halmahera, Maluku Utara. Bijih nikel harus dipreparasi terlebih dahulu agar didapatkan bijih yang seragam dengan luas permukaan yang lebih besar. Preparasi bijih dilakukan dengan mengeringkan bijih nikel menggunakan oven pada suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ selama 12 jam, dilanjutkan dengan mengecilkan ukurannya menggunakan *crusher*, menghaluskan dengan menggunakan *diskmill* dan kemudian melakukan pengayakan dengan ayakan 100 mesh untuk mendapatkan bijih yang lolos pada ayakan 100 mesh. Ukuran partikel yang kecil memungkinkan terpisahnya Fe dan Ni secara fisik, namun ukuran partikel yang terlalu kecil dapat memberikan masalah pada distribusi panas karena tidak ada rongga pada bijih untuk pendistribusian panas, sehingga pada penelitian ini dipilih ukuran lolos 100 mesh. Karakterisasi bijih nikel limonit yang telah dipreparasi dilakukan dengan analisis XRF (*x-ray fluorescence*) untuk mengetahui komposisi bijih secara kualitatif (komponen-komponen yang terkandung) dan kuantitatif (kadar atau besarnya komponen-komponen yang terkandung) serta analisis XRD (*x-ray diffraction*) untuk mengetahui komposisi metal bijih nikel limonit. Berdasarkan analisis XRF, komposisi bijih nikel limonit dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil analisis XRD (Gambar 8) pada sudut 2θ , komposisi dari bijih nikel limonit yang digunakan antara lain adalah silikon dioksida (SiO_2), gutit ($\text{FeO}(\text{OH})$),

trevorit (NiFe_2O_4), hematit (Fe_2O_3), lizardit ($\text{Mg, Fe}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) dan wustit (FeO).

Reduktor yang digunakan adalah batubara jenis *subbituminous* yang telah dikarakterisasi dengan analisis proksimat, dapat dilihat pada Tabel 2. Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa batubara jenis *subbituminous* mempunyai kandungan karbon dan CV (*caloric value*) relatif tinggi yang berpengaruh pada hasil proses reduksi selektif. Reduktor yang digunakan perlu dipreparasi terlebih dahulu agar ukuran butirnya seragam dengan bijih nikel yang digunakan sehingga memudahkan proses pencampuran. Preparasi reduktor dilakukan dengan mengecilkan ukuran, yaitu digerus menggunakan *crusher*, dilanjutkan penghalusan dengan *disk mill* kemudian dilakukan pengayakan dengan ayakan 100 mesh untuk mendapatkan ukuran reduktor yang lolos pada ayakan 100 mesh. Zat aditif yang digunakan adalah CaSO_4 p.a.

Tabel 1. Komposisi bijih nikel limonit

Ni	1,11%	SiO_2	14,84%
Fe	48,68%	Al_2O_3	4,63%
MnO	1,4%	CoO	0,2%
MgO	3,04%	Cr_2O_3	1,56%
CaO	0,12%	Lainnya	3,55%

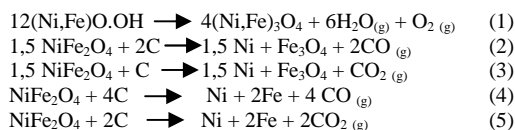
Tabel 2. Hasil analisis proksimat batubara subbituminous

VM (%)	Ash (%)	Fixed Carbon (%)	S (%)	Moisture (%)	CV (Cal/g)
36,26	14,39	36,92	0,91	14,4	6047

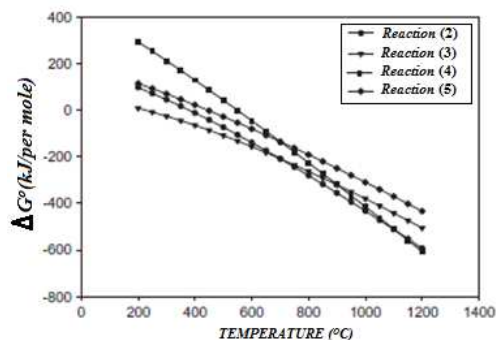
B. Reduksi Selektif dan Pemisahan Magnet

Reduksi selektif dilakukan pada *muffle furnace carbolite*. Kim dkk.^[8] telah melakukan penelitian pengaruh suhu kalsinasi terhadap derajat metalisasi dengan melakukan kalsinasi pada bijih nikel laterit kadar rendah pada suhu ambient hingga $1000\text{ }^\circ\text{C}$ selama 1 jam, kemudian mengukur derajat metalisasi Ni. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa semakin tinggi suhu kalsinasi, derajat metalisasi Ni akan turun hingga suhu $600\text{ }^\circ\text{C}$ dan setelah itu meningkat tajam dengan meningkatnya suhu kalsinasi. Hal yang serupa diperkirakan terjadi pada proses reduksi selektif, yang mana pada suhu lebih dari $600\text{ }^\circ\text{C}$, derajat metalisasi Ni akan semakin meningkat.

Berdasarkan Pickles C.A., dkk.^[10], reaksi yang terjadi pada reduksi selektif bijih nikel limonit dengan kandungan utama gutit adalah sebagai berikut:



Gambar 1 merupakan grafik energi Gibbs sebagai fungsi suhu dengan data yang didapatkan dari Roine^[10] untuk reaksi (2) – (5). Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa reaksi (2) – (5) pada suhu di atas 600 °C menghasilkan $\Delta G < 0$, yang berarti reaksi dapat terjadi^[13]. Berdasarkan hasil penelitian Kim dkk.^[8] dan Pickles C.A., dkk.^[10] maka pada penelitian ini ditetapkan suhu reduksi 800 – 1100 °C. Metalisasi terjadi pada kurun waktu tertentu, untuk dapat mengetahui waktu reduksi yang optimum untuk metalisasi, maka ditetapkan variabel waktu 0,5; 1; 2; dan 4 jam.



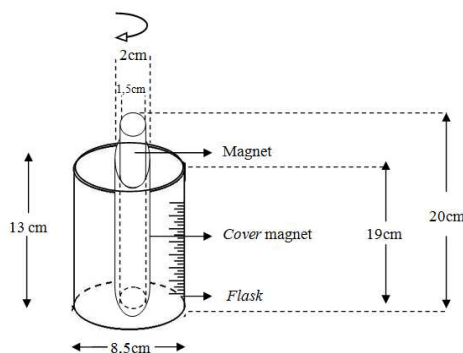
Gambar 1. Hubungan energi Gibbs standar dengan suhu reduksi untuk reaksi (2) – (5). Data didapatkan dari Roine^[10]

Penambahan reduktor berkaitan dengan reaksi karbotermik yang bertujuan untuk menghilangkan oksida pada bijih sehingga terbentuk metal. Penentuan jumlah penambahan reduktor adalah lebih dari dan kurang dari kebutuhan stoikiometri pada reaksi (2) karena mempunyai ΔG yang paling kecil. Jumlah penambahannya ditetapkan sebesar 2,5; 5; 7,5 dan 10 gram untuk setiap 50 gram bijih nikel limonit yang digunakan atau 5; 10; 15 dan 20% dari massa bijih nikel limonit yang digunakan.

Penambahan aditif CaSO_4 bertujuan agar metal Fe dapat bereaksi dengan sulfur dari CaSO_4 . Berdasarkan penelitian Zhu dkk.^[9], CaSO_4 terdekomposisi menjadi $\text{S}_{2(g)}$, $\text{O}_{2(g)}$, dan CaO , sehingga terbentuk FeS dan terpisah sebagai *tailing*. Selain itu, CaO hasil dekomposisi akan bereaksi dengan SiO_2 dan FeO pada bijih nikel limonit membentuk kirstenit (CaFeSiO_4) yang mempercepat

terbentuknya fayalit^[9]. Jumlah penambahan aditif CaSO_4 ditetapkan sebesar 2,5 gram, 5 gram, 7,5 gram dan 10 gram untuk setiap 50 gram bijih nikel limonit yang digunakan atau 5%, 10%, 15% dan 20% dari massa bijih nikel limonit yang digunakan.

Hasil reduksi kemudian dilakukan penimbangan dan pemisahan magnetik yang menghasilkan konsentrat dan *tailing*. Pemisahan magnetik dilakukan secara manual menggunakan magnet dengan metode basah, hasil reduksi ditambahkan aquades, dilakukan pengadukan dan pemisahan magnetik, komponen magnetik menempel pada alat pemisahan magnetik dan partikel non magnetik tidak menempel pada magnet, sehingga didapatkan konsentrat dan *tailing* yang terpisah. Skema alat dapat dilihat pada Gambar 2. Kekuatan magnet tidak divariasikan dalam penelitian ini karena pemisahan magnetik disini bertujuan untuk memisahkan konsentrat dan *tailing* secara menyeluruh dari hasil reduksi selektif yang dilakukan sebelumnya. Secara garis besar, proses dapat dilihat pada diagram alir Gambar 3.



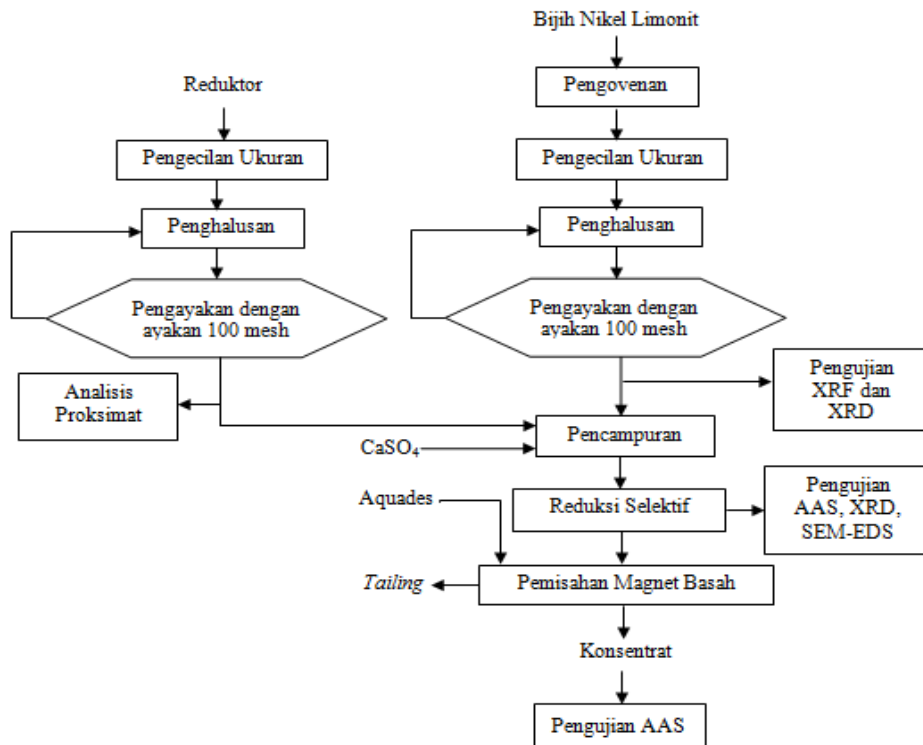
Gambar 2. Skema alat pemisahan magnetik

C. Karakterisasi dan Pengukuran

Karakterisasi dan pengukuran dengan pengujian AAS (*atomic absorption spectrophotometer*) dilakukan pada hasil reduksi selektif dan konsentrat hasil pemisahan magnetik. Pengujian XRD untuk mengetahui metalisasi dan SEM-EDS (*scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy*) untuk mengetahui perubahan morfologi, ukuran partikel dan persebaran setelah reduksi dilakukan pada hasil reduksi selektif. Pengujian AAS dilakukan pada hasil reduksi dan konsentrat hasil pemisahan magnetik untuk mengetahui peningkatan kadar Ni setelah dilakukan reduksi selektif dan pemisahan magnetik. Selain itu persen reduksi dan *recovery* pemisahan magnetik dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Persen reduksi (x)} = \frac{[\text{massa (x).kadar(x)}]_{\text{hasil reduksi}}}{[\text{massa (x).kadar(x)}]_{\text{sebelum reduksi}}} \times 100\%$$

$$\text{Recovery (x)} = \frac{[\text{massa (x).kadar(x)}]_{\text{konsentrat}}}{[\text{massa (x).kadar(x)}]_{\text{konsentrat}}} \times 100\%$$



Gambar 3. Diagram alir proses pengolahan bijih nikel limonit

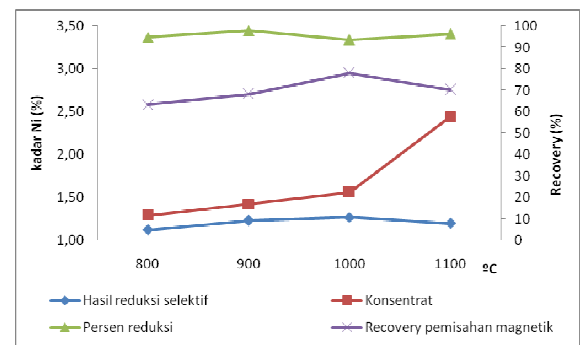
3. HASIL DAN DISKUSI

A. Pengaruh Suhu dan Waktu Reduksi terhadap Hasil Reduksi Selektif Nikel Limonit dan Proses Pemisahan Magnetik

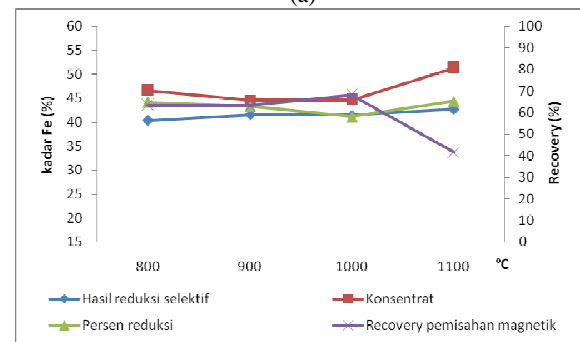
Reduksi dilakukan dengan mencampur bijih nikel limonit dan reduktor serta aditif CaSO_4 pada variabel suhu 800, 900, 1000 dan 1100 °C selama 1 jam dan untuk variabel waktu, campuran direduksi selama 0,5; 1,0; 2,0; dan 4,0 jam pada suhu 1000 °C. Penambahan reduktor dan aditif masing-masing adalah 5 gram/50 gram bijih nikel limonit yang digunakan untuk masing-masing variabel. Hasil reduksi ditimbang, diambil sebagian untuk dilakukan pemisahan magnetik dan sisanya untuk pengujian. Konsentrat hasil pemisahan magnetik kemudian dilakukan pengujian AAS untuk mengetahui kadar Ni pada konsentrat, sehingga dapat diketahui peningkatan kadar Ni pada bijih nikel laterit jenis limonit yang telah diproses.

Dari Gambar 4(a) dapat diketahui bahwa setelah reduksi terjadi peningkatan kadar Ni hingga 1,27% pada rentang suhu reduksi 800 – 1100 °C, dan setelah dilakukan pemisahan magnetik pada hasil reduksi, terjadi peningkatan kadar Ni pada konsentrat hingga 2,44%, sehingga dapat diketahui bahwa reduksi selektif

yang diikuti dengan pemisahan magnetik dapat meningkatkan kadar Ni^[11].



(a)



(b)

Gambar 4. Grafik pengaruh suhu reduksi terhadap; (a) kadar Ni, (b) kadar Fe

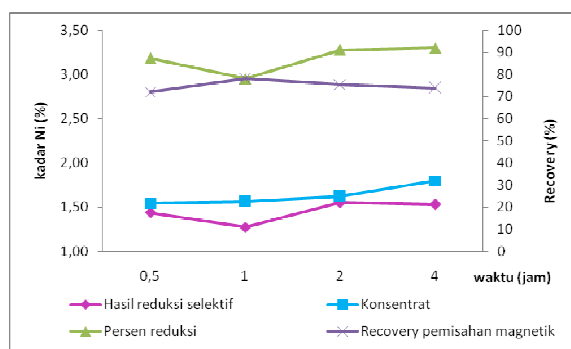
Peningkatan kadar Ni dari hasil reduksi selektif mencapai hasil terbaik pada suhu reduksi 1000 °C, sebesar 1,27%, sedangkan peningkatan kadar Ni pada konsentrat hasil pemisahan magnetik mencapai hasil terbaik tidak pada hasil reduksi suhu 1000 °C melainkan pada hasil reduksi suhu 1100 °C, sebesar 2,44%, seharusnya tidak terjadi perubahan jumlah Ni hasil reduksi dengan hasil pemisahan magnetik karena terbentuknya logam Ni adalah ketika proses reduksi selektif, pemisahan magnetik hanya memisahkan komponen-komponen magnetik yang terbentuk selama reduksi selektif dengan komponen-komponen bukan magnetik sehingga selektivitas Ni meningkat. Perbedaan suhu yang memberikan peningkatan kadar Ni tertinggi bisa terjadi karena pada suhu reduksi 1100 °C logam Ni terlepas dari Fe, sedangkan pada suhu reduksi 1000 °C, logam Ni masih terikat dengan Fe dalam bentuk kamasit dan logam yang terbentuk pada suhu reduksi 1100 °C lebih banyak daripada suhu reduksi 1000 °C (Gambar 8). Selain itu, berhubungan pula dengan persen reduksi dan *recovery*. Persen reduksi dan *recovery* dipengaruhi oleh massa perolehan hasil reduksi dan pembentukan logam selama reduksi. Semakin tinggi suhu reduksi, memberikan kecenderungan persen reduksi dan *recovery* yang semakin besar. Namun persen reduksi pada hasil reduksi suhu 1000 °C yang mempunyai kadar Ni tertinggi, memberikan persen reduksi terkecil, yaitu 93,95%. Hal tersebut dapat terjadi karena massa perolehan hasil reduksi selektif pada suhu 1000 °C lebih sedikit dari massa perolehan variabel suhu yang lain. Sedangkan pada pemisahan magnetik, *recovery* yang didapatkan adalah 63,29% - 78,06% dengan hasil *recovery* terkecil pada variabel suhu reduksi 1100 °C. Hal tersebut dapat terjadi karena semakin tinggi suhu reduksi, massa *tailing* semakin banyak, sehingga meskipun peningkatan kadar Ni tertinggi diperoleh dengan suhu reduksi 1100 °C, *recovery* yang diperoleh kecil. Menurut O'Connor, dkk.^[12], peningkatan suhu akan mengurangi porositas bijih, sehingga luas permukaan bijih menurun yang disebabkan oleh inklusi nikel pada rekristalisasi oksida besi, sehingga *recovery* menurun. Dalam penelitian ini, tidak dilakukan pengukuran luas permukaan bijih hasil reduksi, namun dapat didekati dengan hasil analisis SEM-EDS, yaitu dengan ukuran partikel yang semakin besar seiring dengan meningkatnya suhu reduksi, dan dengan meningkatnya ukuran partikel, maka luas permukaan semakin kecil, sehingga penurunan *recovery* yang terjadi sesuai dengan hasil

penelitian yang dilakukan O'Connor, dkk.^[12]. Pada konsentrat hasil pemisahan magnetik, peningkatan kadar Ni meningkat seiring dengan meningkatnya suhu reduksi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Zhu D.Q., dkk.^[9] bahwa semakin tinggi suhu reduksi, peningkatan kadar Ni juga semakin tinggi. Berdasarkan kinetika, semakin tinggi suhu akan meningkatkan derajat metalisasi^[9]. Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa semakin tinggi suhu, ΔG semakin kecil, yang berarti semakin reaktif^[13], sehingga pembentukan logam Ni semakin tinggi.

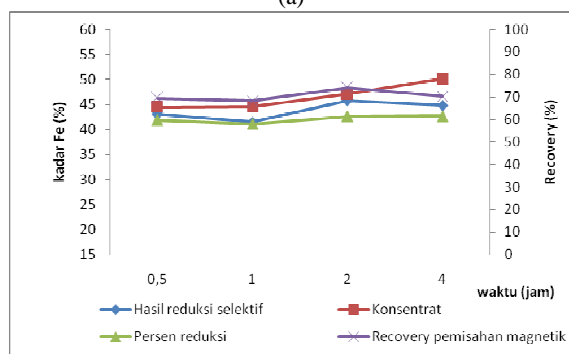
Dari Gambar 4(b) dapat diketahui bahwa pada hasil reduksi selektif, kadar Fe semakin meningkat seiring dengan meningkatnya suhu reduksi pada 800 – 1100 °C, yaitu 40,31% - 42,69%. Meskipun demikian, kadar Fe setelah reduksi selektif lebih kecil daripada kadar Fe pada bijih nikel limonit yang mempunyai kadar 48,68%. Terjadi penurunan kadar Fe dari sebelum dan sesudah reduksi, namun setelah dilakukan pemisahan magnetik, terjadi peningkatan kadar Fe hingga 51,36% pada variabel suhu reduksi 1100 °C. Hal tersebut sesuai dengan data persen reduksi yang menunjukkan kecenderungan yang semakin kecil seiring dengan meningkatnya suhu reduksi, meskipun pada hasil reduksi suhu 1100 °C persen reduksi kembali naik hingga 65,27% sebagai indikasi bertambahnya jumlah Fe karena pada suhu 1000 °C dan 1100 °C logam Fe mulai terlepas dari magnetit (Gambar 8). Pada hasil pemisahan magnetik, *recovery* cenderung naik hingga 68,28% dan terjadi penurunan hingga 41,51% pada variabel suhu 1100 °C. *Recovery* yang naik dapat terjadi karena adanya peningkatan kadar Fe konsentrat. Sedangkan pada variabel suhu 1100 °C, terjadi penurunan *recovery* karena massa perolehan konsentrat yang hampir 0,5 kali dari massa perolehan pada variabel suhu yang lain. Hal tersebut dapat terjadi karena metalisasi semakin baik sehingga oksida semakin berkurang dan mempengaruhi massa konsentrat yang didapatkan.

Dari Gambar 5(a) dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan kadar Ni seiring dengan meningkatnya waktu reduksi. Meskipun kenaikan kadar Ni pada hasil reduksi selektif belum menunjukkan kecenderungan yang baik, namun setelah dilakukan pemisahan magnetik peningkatan kadar Ni cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya waktu reduksi hingga 1,80%^[11]. Terjadinya peningkatan kadar Ni setelah reduksi dan setelah pemisahan magnetik, ini menunjukkan adanya komponen yang tereduksi menjadi komponen bukan magnetik. Kecenderungan persen reduksi sama

dengan kecenderungan peningkatan kadar Ni, dengan persen reduksi terbesar pada hasil reduksi selama 4 jam sebesar 92%. Untuk proses pemisahan magnetik, dengan peningkatan kadar Ni yang semakin tinggi, *recovery* semakin kecil hingga 73,84% untuk konsentrat yang memberikan peningkatan kadar Ni tertinggi. Peningkatan kadar Ni yang tidak terlalu tinggi diikuti dengan massa perolehan konsentrat yang bervariasi menyebabkan *recovery* belum menunjukkan kecenderungan yang baik, begitu pula dengan peningkatan kadar Ni dengan *recovery* yang semakin kecil.



(a)



(b)

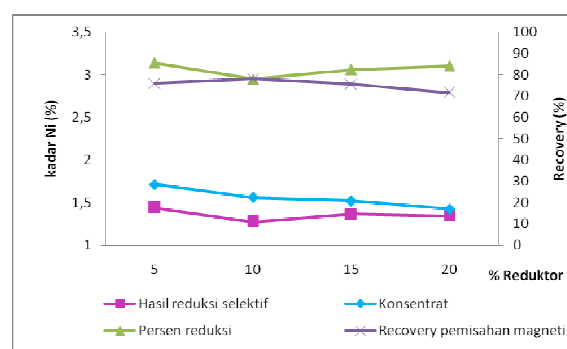
Gambar 5. Grafik pengaruh waktu reduksi terhadap: (a) kadar Ni, (b) kadar Fe

Gambar 5(b) mempunyai kecenderungan yang sama, semakin lama waktu reduksi, kadar Ni akan semakin tinggi, begitu juga dengan kadar Fe. Kadar Fe meningkat hingga 50,05% untuk variabel waktu reduksi 4 jam, sedangkan untuk variabel waktu 0,5; 1 dan 2 jam meskipun kecenderungan kadar Fe meningkat, namun kadar Fe masih lebih kecil dari kadar Fe bijih nikel limonit sebelum dilakukan reduksi selektif, sama seperti pada variabel suhu sebelumnya. Pada variabel suhu reduksi 1000 °C dengan waktu reduksi 1 jam, kadar Fe masih lebih kecil daripada kadar Fe pada bijih nikel limonit, begitu juga dengan waktu reduksi selama 2 jam. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu reduksi 1000 °C dengan waktu reduksi lebih dari 2 jam, akan menyebabkan magnetit terurai menjadi logam Fe dalam jumlah yang lebih banyak

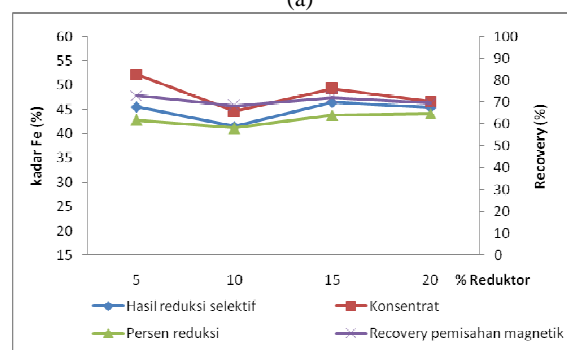
daripada waktu reduksi 1 jam, sehingga menambahkan jumlah Fe dan meningkatkan kadar Fe. Waktu reduksi yang direkomendasikan adalah 1 jam agar hasil reduksi tidak diikuti dengan terbentuknya Fe lagi sehingga selektivitas Ni meningkat.

B. Pengaruh Penambahan Reduktor terhadap Hasil Reduksi Selektif Nikel Limonit dan Proses Pemisahan Magnetik

Untuk mengetahui pengaruh penambahan reduktor terhadap peningkatan kadar Ni, dilakukan reduksi terhadap campuran bijih nikel limonit, reduktor dengan variabel 5; 10; 15; 20% dan aditif CaSO₄ pada suhu 1000 °C selama 1 jam.



(a)



(b)

Gambar 6. Grafik pengaruh penambahan reduktor terhadap: (a) kadar Ni, (b) kadar Fe

Dari Gambar 6(a) dapat diketahui bahwa semakin banyak penambahan reduktor pada campuran reduksi, peningkatan kadar Ni semakin kecil. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Zhu D.Q., dkk.^[9], dengan meningkatkan dosis reduktor, kadar Ni semakin kecil, begitu juga dengan persen reduksi dan *recovery*. Kadar Ni tertinggi yang diperoleh adalah 1,71% untuk penambahan reduktor sebanyak 5%. Persen reduksi cenderung meningkat, namun sebaliknya untuk *recovery* pada proses pemisahan magnetik. Hal tersebut dapat terjadi karena pada hasil reduksi kadar Ni meningkat, sedangkan pada konsentrat, peningkatan kadar Ni tidak disertai dengan

perolehan massa yang banyak, sehingga meskipun terjadi peningkatan kadar Ni, *recovery* lebih kecil.

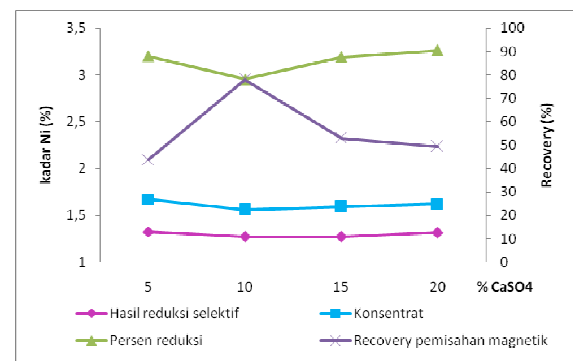
Dari Gambar 6(b) dapat diketahui bahwa penambahan reduktor terhadap kadar Fe menunjukkan kecenderungan yang menurun. Penurunan kadar Fe merupakan kondisi yang diinginkan karena dapat meningkatkan selektifitas Ni. Pada variabel penambahan reduktor 5%, yang memberikan peningkatan kadar Ni tertinggi, kadar Fe juga memberikan peningkatan tertinggi, yaitu mencapai 52,16%. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar Ni diikuti pula dengan peningkatan kadar Fe. Kadar Fe terendah didapatkan pada variabel penambahan reduktor 10% sebesar 44,59%, meskipun pada variabel ini memberikan peningkatan kadar Ni yang lebih kecil, namun peningkatan kadar Fe dapat diminimalisir, sehingga direkomendasikan untuk menggunakan variabel penambahan reduktor 10%. Persen reduksi dan *recovery* memberikan kecenderungan yang sama, ketika terjadi penurunan kadar Fe maka *recovery* juga turun, begitu pula sebaliknya.

C. Pengaruh Penambahan Aditif CaSO₄ terhadap Hasil Reduksi Selektif Nikel Limonit dan Proses Pemisahan Magnetik

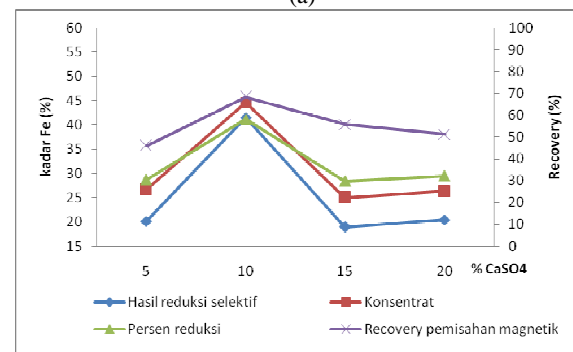
Untuk mengetahui pengaruh penambahan aditif yang ditambahkan terhadap kadar Ni, percobaan dilakukan seperti pada variabel penambahan reduktor, namun penambahan aditif yang divariasikan dengan variabel 5%, 10%, 15% dan 20%. Reduksi dilakukan pada suhu 1000 °C selama 1 jam.

Dari Gambar 7(a) dapat diketahui bahwa penambahan aditif 5% hingga 20% tidak memberikan peningkatan kadar Ni secara signifikan. Pada hasil reduksi selektif, peningkatan kadar Ni sekitar 1,27% – 1,32%, kemudian terjadi peningkatan pada konsentrat setelah dilakukan pemisahan magnetik yaitu 1,56% – 1,67%. Peningkatan kadar Ni tertinggi pada penambahan aditif 5% sebesar 1,67%, namun diikuti pula dengan kadar Fe yang lebih tinggi sebesar 26,71%. Sedangkan untuk penambahan aditif 20%, memberikan peningkatan kadar Ni 1,62% dengan kadar Fe sebesar 26,29%. Dengan pertimbangan menghasilkan kadar Fe yang lebih kecil dan peningkatan kadar Ni yang tidak terlalu signifikan maka direkomendasikan untuk memilih penambahan aditif CaSO₄ sebesar 20%. Persen reduksi cenderung meningkat, namun

sebaliknya untuk *recovery* hasil pemisahan magnetik. Hal tersebut dapat terjadi karena pada hasil reduksi kadar Ni meningkat sehingga meningkatkan persen reduksi, sedangkan pada pemisahan magnetik, hasilnya adalah konsentrat dan *tailing*, sehingga meskipun terjadi peningkatan kadar Ni pada konsentrat, namun massa konsentrat yang diperoleh hampir sama dengan massa *tailing*, sehingga meskipun terjadi peningkatan kadar Ni, *recovery* lebih kecil.



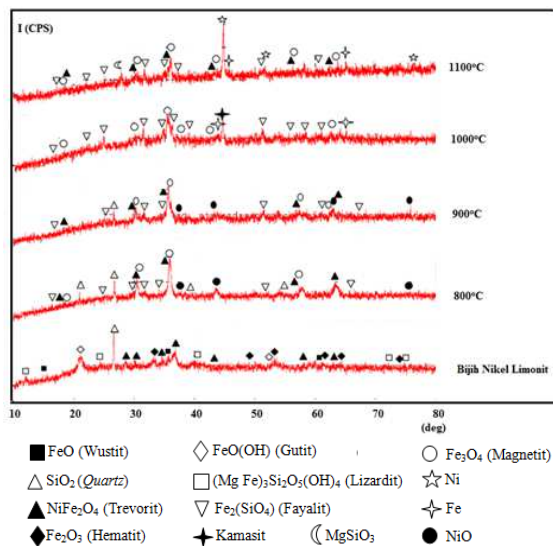
(a)



(b)

Gambar 7. Grafik pengaruh penambahan zat aditif terhadap: (a) kadar Ni, (b) kadar Fe

Dari Gambar 7 (b) dapat diketahui bahwa pengaruh penambahan aditif CaSO₄ tidak memberikan kecenderungan yang baik, namun dengan penambahan CaSO₄ 20% dapat menurunkan kadar Fe hingga 26,29%. Berdasarkan hasil penelitian Zhu D.Q., dkk.^[9] CaSO₄ terdekomposisi menjadi S_{2(g)}, O_{2(g)}, dan CaO. CaO hasil dekomposisi akan bereaksi dengan SiO₂ dan FeO pada bijih nikel limonit membentuk kirtenit (CaFeSiO₄) yang mempercepat terbentuknya fayalit yang memberikan keuntungan pada peningkatan kadar nikel melalui pemisahan magnetik^[9]. Pembentukan fayalit dapat diketahui dari hasil analisis XRD pada suhu 1000 °C pada Gambar 8. Persen reduksi dan *recovery* juga tidak memberikan kecenderungan yang baik, sama seperti kecenderungan pada perubahan kadar Fe yang dipengaruhi penambahan CaSO₄, ketika terjadi penurunan kadar Fe maka *recovery* juga turun, begitu pula sebaliknya.



Gambar 8. Grafik hasil XRD bijih nikel limonit dan hasil reduksi selektif

D. Metalisasi Bijih Nikel Limonit Pada Proses Reduksi

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa terjadi perubahan komposisi pada bijih nikel limonit karena pengaruh suhu reduksi. Semakin tinggi suhu reduksi, intensitas *peak* pada hasil pengujian juga semakin tinggi, khususnya logam Ni. Tingginya intensitas *peak* menunjukkan kristalinitas logam Ni yang semakin bagus. Pada suhu reduksi 800 °C dan 900 °C terbentuk komposisi dan persebaran yang hampir sama, yaitu trevorit (NiFe_2O_4), magnetit (Fe_3O_4), SiO_2 , fayalit ($\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)$) dan NiO. Pada suhu reduksi 1000 °C terbentuk fayalit ($\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)$), magnetit (Fe_3O_4), Fe dan kamazit (Fe, Ni). Pada suhu reduksi 1100 °C terbentuk trevorit (NiFe_2O_4), fayalit ($\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)$), magnetit (Fe_3O_4), Fe, Ni dan MgSiO_4 .

Pada suhu 800 dan 900 °C Ni sudah terbentuk dalam bentuk oksida (NiO) yaitu pada sudut 40-50°. Pada suhu 1000 °C dan 1100 °C tidak ada lagi NiO. Pada variabel suhu 1000°C, Ni terikat dengan Fe dalam bentuk kamazit (α -Fe-Ni) dan terlepas menjadi logam Ni pada suhu reduksi 1100 °C pada sudut yang sama.

Hematit pada bijih nikel limonit membentuk magnetit pada sudut 30-40° dan 60-70° pada suhu reduksi 800 °C hingga 1000 °C. Trevorit (NiFe_2O_4) membentuk kamazit (Fe, Ni) pada suhu reduksi 1000 °C, dan trevorit (NiFe_2O_4) terbentuk lagi pada suhu reduksi 1100 °C

Fayalit terbentuk pada semua variabel suhu reduksi (800 – 1100 °C). Terbentuknya fayalit dipengaruhi oleh adanya penambahan aditif CaSO_4 yang terdekomposisi menjadi $\text{S}_{2(g)}$, $\text{O}_{2(g)}$, dan CaO. CaO akan bereaksi dengan SiO_2 dan FeO pada bijih nikel limonit membentuk

kirsteinitt (CaFeSiO_4) yang mempercepat terbentuknya fayalit^[9].

Pada trevorit (NiFe_2O_4) masih ada Ni yang terikat sehingga masih memungkinkan untuk meningkatkan kadar Ni limonit menjadi lebih tinggi lagi.

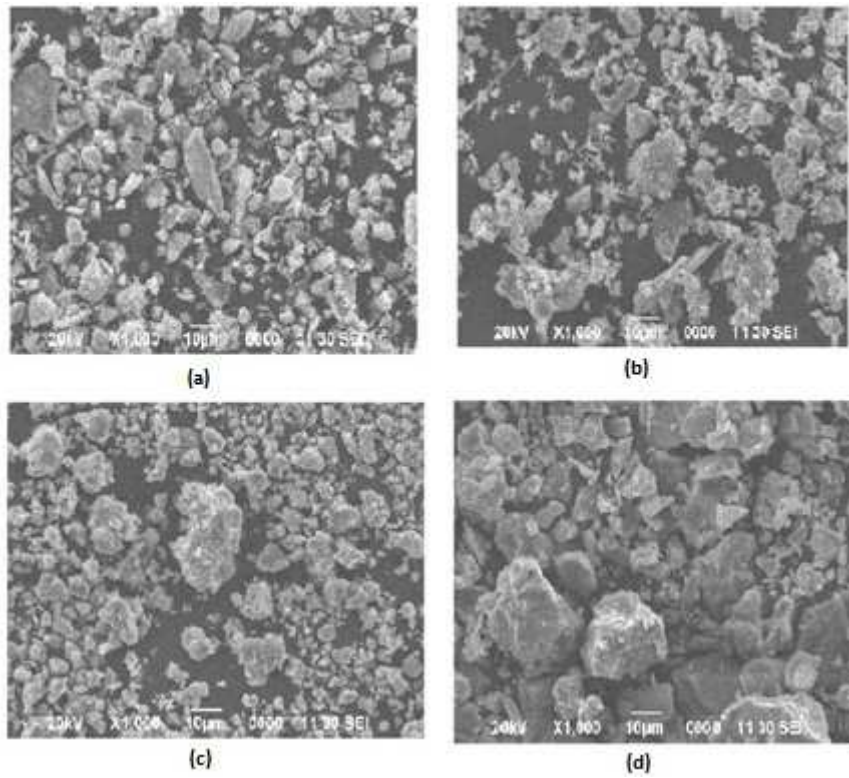
E. Mikrostruktur Bijih Nikel Limonit Pada Proses Reduksi

Gambar 9 menunjukkan mikrostruktur hasil reduksi bijih nikel limonit pada suhu 800 – 1100 °C selama 1 jam. Dari gambar dapat diketahui bahwa dengan meningkatnya suhu reduksi, ukuran partikel semakin besar. Meningkatnya ukuran partikel sangat penting berkaitan dengan pemisahan magnetik yang dilakukan setelah reduksi, jika partikel metal terlalu kecil dikhawatirkan akan terikat komponen non-magnetik pada *tailing* ketika pemisahan magnetik. Ukuran partikel hasil reduksi bijih nikel limonit selama 1 jam pada suhu reduksi 1100 °C dengan perbesaran 1000x rata-rata adalah 30µm dengan *mapping* pada Gambar 10.

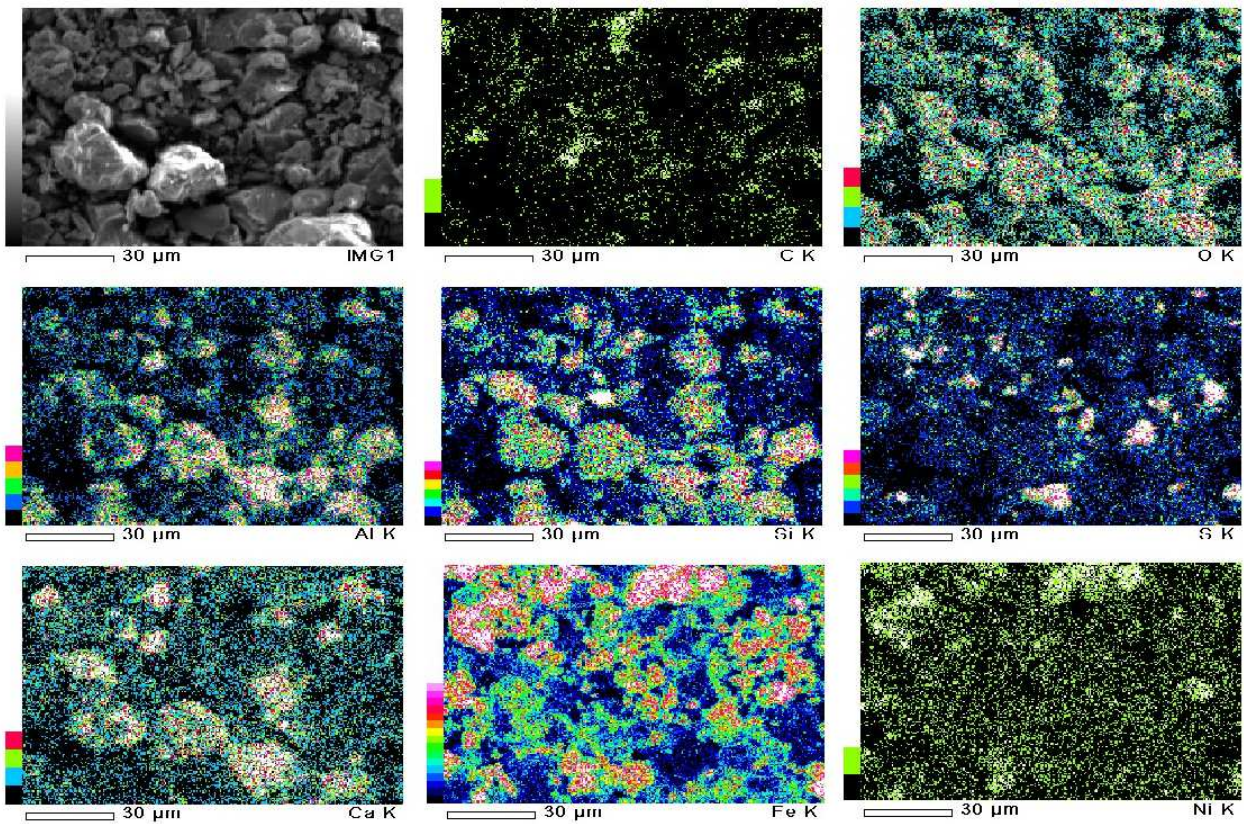
Dari Gambar 10 dapat diketahui persebaran unsur pada bijih nikel limonit. Komponen yang tinggi adalah Fe dan Si, kemudian O, Ca, S, Ni, dan C, ditunjukkan pada indikator warna di samping masing-masing *mapping* unsur. Persebaran O merata dan menunjukkan kadar yang tinggi, mengindikasikan kebanyakan metal dalam bentuk oksida, dan hasil analisis XRD menunjukkan adanya logam dalam bentuk oksida, yaitu trevorit, magnetit dan fayalit. Persebaran Ca dan S terlihat masih merata dan tinggi di beberapa titik area sampel, menunjukkan adanya dekomposisi CaSO_4 . Persebaran Fe terlihat di seluruh permukaan area sampel dengan kadar yang tinggi dan pada beberapa area terlihat sama dengan persebaran Ni, hal ini menunjukkan bahwa masih ada Ni yang terikat dengan Fe, pada hasil analisis XRD dapat diketahui adanya trevorit. Persebaran Ni juga terlihat merata di seluruh area sampel namun kadarnya tidak setinggi Fe. Dengan mendorong Fe menjadi komponen non-magnetik melalui reduksi selektif diharapkan bisa meningkatkan selektivitas Ni.

4. KESIMPULAN

Semakin tinggi suhu reduksi, peningkatan kadar Ni semakin tinggi, metalisasi logam Ni semakin baik dengan terbentuknya logam Ni yang terpisah dari logam Fe.



Gambar 9. Mikrostruktur hasil reduksi bijih nikel limonit pada suhu ($^{\circ}\text{C}$) ; (a) 800, (b) 900, (c) 1000, (d) 1100



Gambar 10. Mapping hasil reduksi bijih nikel limonit pada suhu 1100 $^{\circ}\text{C}$

Semakin lama waktu reduksi, peningkatan kadar Ni semakin tinggi, namun reduksi selama lebih dari 2 jam dengan suhu reduksi 1000 °C akan menyebabkan magnetit terurai menjadi logam Fe sehingga dapat meningkatkan kadar Fe. Semakin banyak penambahan reduktor pada campuran reduksi, peningkatan kadar Ni semakin kecil. Penambahan CaSO₄ pada proses reduksi selektif dapat meningkatkan kadar Ni dan menurunkan kadar Fe, namun belum memberikan kecenderungan hasil yang baik. Peningkatan kadar Ni tertinggi yang didapatkan adalah 2,44%. Kondisi operasi reduksi selektif yang direkomendasikan adalah suhu reduksi 1100 °C, waktu reduksi 1 jam, penambahan reduktor 10% dan penambahan aditif CaSO₄ 20%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI yang telah mendanai penelitian ini melalui anggaran penelitian Kompetensi Inti (Tematik) tahun anggaran 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kuck, P.H, *Nickle, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries,* <http://minerals.usgs.gov>, 2013.
- [2] Kirk-Othmer, “Encyclopedia of Chemical Technology, 4th edition volume 1,” *John Willey & Sons Inc., USA*, 1998.
- [3] Dalvi AD dkk., “The past and the future of nickel laterite, PDAC 2004: International convention. Trade show & investor exchange,” *North Carolina USA*, 2004.
- [4] Norgate, T., Jahanshahi, S, “Assesing the energy and greenhouse gas footprint of nickle laterite processing,” *Elseiver: Mineral Engineering.*, 2011.
- [5] Lee,dkk., “Electrochemical leaching of nickel from low-grade laterite,” *Hydrometallurgy.*, vol. 77, pp. 263 – 268, 2005.
- [6] Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral, “Kajian supply demand mineral,” *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.*, 2012.
- [7] <http://www.wedabaynickel.com/id/proyek-kelas-dunia/proyek/sumber-daya-pertambangan/>, 23-02-2016.
- [8] Kim J, Dodbiba G, Okaya K, Matsuo S, Fujita T, “Calcination of low-grade laterite for concentration of Ni by magnetic separation,” *Journal of Mineral Engineering.*, 2009.
- [9] Zhu D.Q., dkk., “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.
- [10] Pickles C.A., Forster J., Elliot R, “Thermodynamic analysis of the carbothermic reduction roasting of nickeliferous limonitic laterite ore,” *Minerals Engineering.*, vol.65, pp. 33-40, 2014.
- [11] Mayangsari W, Prasetyo Agus B, Prasetyo Puguh, “Pengaruh Suhu dan Waktu Reduksi terhadap Peningkatan Kadar Ni pada Proses Reduksi Selektif Bijih Nikel Limonit dengan Penambahan Aditif CaSO₄,” *Prosiding Seminar Material dan Metalurgi.*, 2015.
- [12] O’Connor F., Cheung W.H., Valix M, “Reduction roasting of limonite ore: effect of dehydroxylation,” *International Journal of Mineral Processing.*, vol. 80, Issue 2-4, pp. 88-99, 2006.
- [13] Yaws Carl L, “Chemical Properties Handbook: Physical, thermodynamic, enviromental, transport, safety and health related properties for organic and inorganic chemicals,” *McGrow-Hill, USA.*, 1999.
- [14] Guanghui Li, dkk., “Beneficiation of nickeliferous laterite by reduction roasting in the presence of sodium sulfate,” *Minerals Engineering.*, vol. 32, pp. 19-26, 2011.

