



PENINGKATAN KADAR NIKEL DALAM LATERIT JENIS LIMONIT DENGAN CARA PELETASI, PEMANGGANGAN REDUKSI DAN PEMISAHAN MAGNET CAMPURAN BIJIH, BATU BARA, DAN Na_2SO_4

Rudi Subagja*, Agus Budi Prasetyo, Wahyu Mayang Sari

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI
Gedung 470, Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan
E-Mail: *rudi003@lipi.go.id

Masuk Tanggal : 28-07-2016, revisi tanggal : 31-08-2016, diterima untuk diterbitkan tanggal 31-08-2016

Intisari

Di Indonesia, bijih nikel laterit yang merupakan nikel kadar rendah ($< 1,5\%$), belum dimanfaatkan dengan baik karena dianggap belum ekonomis. Pada penelitian ini, percobaan untuk meningkatkan kadar nikel dalam bijih nikel laterit jenis limonit telah dilakukan dengan cara membuat pelet dari campuran bijih nikel laterit jenis limonit, batubara dan Na_2SO_4 , dilanjutkan dengan pemanggangan reduksi pelet dalam tungku muffle pada temperatur $800\text{ }^\circ\text{C}$ sampai dengan $1100\text{ }^\circ\text{C}$ dan waktu pemanggangan reduksi dari 0,5 jam sampai dengan 4 jam. Hasil reduksi dari proses pemanggangan kemudian digiling dalam *vibrating mill* untuk selanjutnya dicampur dengan air dan dilewatkan ke dalam alat pemisah magnet untuk memisahkan konsentrat nikel dari *tailing*. Konsentrat dengan kadar nikel $10,28\%$ dan kadar besi $66,57\%$ diperoleh dari hasil reduksi pada temperatur $1000\text{ }^\circ\text{C}$ selama 1 jam, penambahan batubara 10% dan penambahan Na_2SO_4 20% dengan perolehan nikel dan besi dalam konsentrat masing-masing adalah $64,77\%$ dan $34,66\%$.

Kata Kunci: Nikel laterit, Limonit, Pemanggangan reduksi, Pemisahan magnet

Abstract

In Indonesia, laterite nickel ore that is low grade nickel ($<1.5\%$) has not been used well because it is not considered beneficial. At present work, the experiment to increase nickel grade in the limonitic type of laterite ores has been carried out by pelletizing a limonitic type of laterite ores, coal and Na_2SO_4 mixture, it was followed with reduction roasting of pellet in muffle furnace at temperatures $800\text{ }^\circ\text{C}$ to $1100\text{ }^\circ\text{C}$ and reduction roasting time from 0,5 hours to 4 hours. The reduced ore from reduction roasting process was grounded in vibrating mill, then mixed with water and passed to magnetic separator to separate nickel concentrates from the tailing. The concentrate with 10.28% of nickel grade and 66.57% of iron grade was produced from reduced ore at temperature $1000\text{ }^\circ\text{C}$ for 1 hour, 10% of coal addition and 20% of Na_2SO_4 addition with recovery of nickel and iron in the concentrate 64.77% and 34.66% respectively.

Keywords: Nickel laterite, Limonite, Reduction roasting, Magnetic separator

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini ada 2 jenis bijih nikel yang banyak digunakan sebagai bahan baku untuk membuat logam nikel yaitu bijih jenis sulfida dan laterit. Dengan berkembangnya waktu, cadangan bijih nikel sulfida terus berkurang sehingga beberapa produsen nikel mengalihkan perhatiannya ke bijih laterit untuk digunakan sebagai bahan baku nikel. Tidak seperti bijih sulfida, bijih laterit tidak mudah untuk

ditingkatkan kadar nikelnya dengan teknologi yang ada pada saat ini sehingga berbagai upaya penelitian terus dilakukan untuk dapat meningkatkan kadar nikel dalam laterit^[1].

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki endapan bijih nikel laterit dalam jumlah yang cukup besar. Endapan nikel laterit Indonesia tersebar di beberapa daerah seperti di Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Maluku, dan Papua. Indonesia merupakan penghasil

nikel terbesar ke lima di dunia, sebesar 12% cadangan di dunia^[2-3]. Laterit merupakan hasil proses pelapukan dan pengkayaan batuan mafic/ultramafic di daerah tropis, oleh karena itu komposisi kimia dan mineraloginya berbeda antara satu endapan dengan endapan lainnya. Nikel dalam bijih nikel laterit berasosiasi dengan besi oksida dan mineral silikat sebagai hasil substitusi *isomorphous* unsur besi dan magnesium dalam struktur kristalnya^[4-5], sehingga secara kimia dan fisik, bijih nikel laterit dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu bijih jenis saprolit(silikat/hidro silikat) dan jenis limonit (oksida/hidroksida)^[6]. Bijih nikel laterit sulit untuk dibuat menjadi konsentrat nikel karena terbentuknya struktur kristal *isomorphic* dari *goethite* atau *serpentine*^[7]. Kemudian mineralogi yang berbeda membutuhkan pendekatan proses yang berbeda. Dalam bijih limonit, nikel membentuk ikatan yang lemah dengan *goethite* akan tetapi dalam bijih saprolit, nikel masuk ke dalam struktur mineral^[8]. Akibatnya bijih limonit lebih cocok untuk diolah dengan cara hidrometalurgi dan bijih saprolit cocok untuk diolah dengan cara pirometalurgi^[9].

Di Indonesia, pada saat ini bijih nikel yang telah dimanfaatkan adalah bijih nikel yang mempunyai kadar nikel relatif tinggi (di atas 1,5 %) yaitu untuk membuat feronikel oleh P.T Aneka Tambang dan nikel *matte* oleh P.T Vale^[10], sementara bijih nikel laterit kadar rendah belum dimanfaatkan dengan baik untuk diolah dengan cara pirometalurgi untuk membuat feronikel atau *nickel matte*. Oleh karena itu untuk dapat memanfaatkan bijih nikel laterit yang mempunyai kadar nikel rendah perlu dilakukan penelitian agar kadar nikel dalam bijih nikel laterit dapat ditingkatkan. Permasalahannya adalah bagaimana mendapatkan teknologi untuk meningkatkan kadar nikel dalam laterit kadar rendah yang cocok dengan karakteristik laterit Indonesia.

Beberapa kegiatan penelitian untuk meningkatkan kadar nikel dalam laterit telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Kim dan kawan-kawan^[11] telah melakukan penelitian untuk meningkatkan kadar nikel dalam nikel laterit kadar rendah yang mempunyai kandungan awal nikel 1,50% dan besi 22,33% dengan cara pemanggangan bijih nikel laterit pada temperatur 500 °C selama 1 jam kemudian dilanjutkan dengan proses pemisahan magnet dalam media air terhadap hasil reduksi yang dihasilkannya. Hasil penelitiannya memperlihatkan bahwa kadar

nikel dalam bijih dapat ditingkatkan dari 1,5% menjadi 2,9% akan tetapi perolehan nikel dalam konsentrat hanya 48%. Penelitian lainnya dilakukan oleh Li dan kawan-kawan^[12] yang telah melakukan percobaan untuk meningkatkan kadar nikel dalam bijih nikel laterit kadar rendah yang mempunyai kadar Ni 1,09% dan Fe 9,16%, dengan menggunakan teknik *solid-state deoxidization method*. Dari hasil penelitiannya diperoleh konsentrat feronikel dengan kadar nikel 4,5% dan perolehan nikel dalam konsentrat mencapai 80%. Hasil penelitian ini dianggap belum optimal karena belum dapat menghasilkan konsentrat feronikel dengan kadar nikel > 8%. Li dkk.^[12] kemudian melakukan percobaan untuk mendapatkan konsentrat yang mempunyai kadar nikel tinggi dengan cara mereduksi bijih nikel laterit yang mempunyai kadar Ni 1,91% dan Fe 22,10% pada temperatur 1100 °C selama 60 menit dengan penambahan 20% Na₂SO₄ sehingga dihasilkan konsentrat dengan kadar nikel 9,48% dan perolehan nikel dalam konsentrat sebesar 83,01%. Upaya lainnya untuk meningkatkan kadar nikel dalam laterit dilakukan oleh Cao dan kawan kawan^[13] yang telah melakukan penelitian proses pemanggangan reduksi selektif pada temperatur 1200 °C selama 40 menit dengan penambahan 20% Na₂CO₃ dan 15 % batubara, yang dilanjutkan dengan pemisahan magnet. Bijih yang digunakan sebagai bahan baku penelitiannya adalah bijih nikel laterit kadar rendah yang mempunyai kandungan nikel 1,86% dan besi 13,59%. Dari hasil penelitiannya diperoleh konsentrat feronikel dengan kadar nikel 10,83% dan perolehan nikel dalam konsentrat 82,15%. Upaya untuk meningkatkan kadar nikel dalam laterit juga dilakukan oleh Zhu dkk. yang telah melakukan penelitian reduksi selektif yang dilanjutkan dengan pemisahan magnet terhadap bijih nikel laterit kadar rendah yang mempunyai kadar Ni 1,42% dan Fe 23,16%. Proses reduksi dilakukan pada temperatur 1100 °C selama 60 menit dengan penambahan 6% CaSO₄ dan 5% batubara. Dari hasil percobaannya diperoleh konsentrat feronikel dengan kadar nikel 6% dan perolehan nikel dalam konsentrat adalah 92,10%^[14].

Terkait mekanisme reaksi reduksi selektif bijih nikel laterit, sejumlah peneliti mengemukakan bahwa proses reduksi selektif bergantung pada atmosfer reduksi dan kandungan silika, adanya unsur belerang memicu pertumbuhan partikel feronikel dan memperbaiki proses pengkayaan fasa logam^[14].

Kemudian peneliti lainnya melaporkan bahwa dalam lingkungan Na_2SO_4 , pembentukan fasa fayalit atau fosterit tidak menjadi penghambat pada proses reduksi besi dalam bijih nikel laterit. Rendahnya metalisasi besi lebih disebabkan oleh terjadinya fasa troilit $\text{FeS}^{[12]}$. Dari beberapa hasil penelitian tersebut dapat dilihat bahwa proses untuk meningkatkan kadar nikel dari bijih nikel laterit dengan cara reduksi selektif dipengaruhi oleh kondisi atmosfer proses reduksi, komposisi bahan baku bijih nikel laterit dan penambahan bahan aditif. Untuk menjajagi kemungkinan peningkatan kadar nikel dari laterit Indonesia, khususnya yang berasal dari Sulawesi, penulis telah melakukan percobaan untuk meningkatkan kandungan nikel dalam nikel laterit dengan cara memanggang campuran bijih nikel laterit dengan batubara dan Na_2SO_4 pada temperatur tinggi yang dilanjutkan dengan proses pemisahan magnet, akan tetapi hasilnya belum optimal^[15]. Guna mengoptimalkan proses peningkatan kadar nikel dalam bijih laterit, pada penelitian ini dilakukan pendekatan yang berbeda dengan penelitian sebelumnya dimana pada penelitian ini sebelum dilakukan proses pemanggangan reduksi, campuran bijih nikel laterit, batubara dan Na_2SO_4 dibuat pelet, untuk selanjutnya pelet yang terbentuk dilakukan proses pemanggangan reduksi dan dilanjutkan dengan proses pemisahan magnet. Tujuan penggunaan pelet adalah agar interaksi antara bijih nikel laterit dengan bahan reduktor batubara dan bahan aditif berlangsung lebih baik sehingga proses reduksi nikel oksida dan reaksi pembentukan besi sulfida berlangsung lebih efektif, dengan demikian proses reduksi selektif nikel laterit dapat berlangsung lebih baik. Proses pemanggangan reduksi menggunakan pelet belum banyak dilakukan oleh peneliti lain, dimana pada penelitian ini, proses pemanggangan reduksi dilakukan dengan menggunakan pelet campuran bijih nikel laterit dengan batubara dan Na_2SO_4 .

2. PROSEDUR PERCOBAAN

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah bijih nikel laterit kadar rendah jenis limonit, batubara dan Na_2SO_4 . Komposisi kimia bijih nikel laterit hasil analisis dengan XRF (*x-ray fluorescence*) pada Tabel 1 memperlihatkan besi oksida sebagai senyawa dominan penyusun bijih nikel laterit. Senyawa lainnya yang terkandung dalam bijih adalah SiO_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 , MnO_2 , NiO , CoO , MgO dan CaO , akan tetapi jumlah dari senyawa ini

relatif kecil dan kandungan NiO dalam bijih hanya 1,42%.

Tabel 1. Komposisi kimia nikel laterit

Senyawa	Komposisi %
Fe_2O_3	69,55
SiO_2	14,84
Al_2O_3	4,63
Cr_2O_3	1,56
MnO_2	1,4
NiO	1,42
CoO	0,2
MgO	3,04
CaO	0,12

Pada percobaan ini, batubara dengan komposisi sebagai mana diperlihatkan pada Tabel 2, digunakan sebagai bahan reduktor untuk mereduksi nikel oksida. Kandungan karbon tetap (*fixed carbon*) dalam batubara adalah 36,92%, nilai kalor batubara 6047 cal/gr dan zat terbangnya 36,26%, sehingga batubara yang digunakan dapat digolongkan sebagai batubara muda. Di Indonesia, sebagian besar endapan batubara yang ada adalah batubara muda^[2], sehingga pemakaian batubara muda pada penelitian ini akan memberikan dampak yang baik bagi upaya untuk membantu pemanfaatan batubara Indonesia.

Tabel 2. Komposisi batubara sebagai reduktor

Komponen	Komposisi
Zat Terbang (%)	36,26
Abu (%)	14,39
Karbon Tetap (%)	36,92
S (%)	30,91
Moisture (%)	14,4
Nilai Kalor (Cal/g)	6047

Bahan baku lainnya yang digunakan dalam percobaan adalah Na_2SO_4 p.a. Bahan ini digunakan sebagai aditif pada proses pemanggangan reduksi nikel laterit.

Gambar 1 memperlihatkan diagram alir percobaan untuk meningkatkan kadar nikel dalam bijih nikel laterit. Percobaan dilakukan melalui tahapan pembuatan pelet, proses pemanggangan reduksi dan proses pemisahan magnet terhadap hasil reduksi yang dihasilkan dari tahap pemanggangan reduksi.

Pada tahap pembuatan pelet, bijih nikel laterit dikeringkan dalam oven pada temperatur 100 °C selama 24 jam sehingga diperoleh bijih nikel laterit dengan kadar air di bawah 5%. Sebagian bijih kering dianalisis komposisi kimianya dengan menggunakan AAS (*atomic absorption spectrophotometry*), sebagian lagi dicampur dengan batubara dan Na_2SO_4 untuk

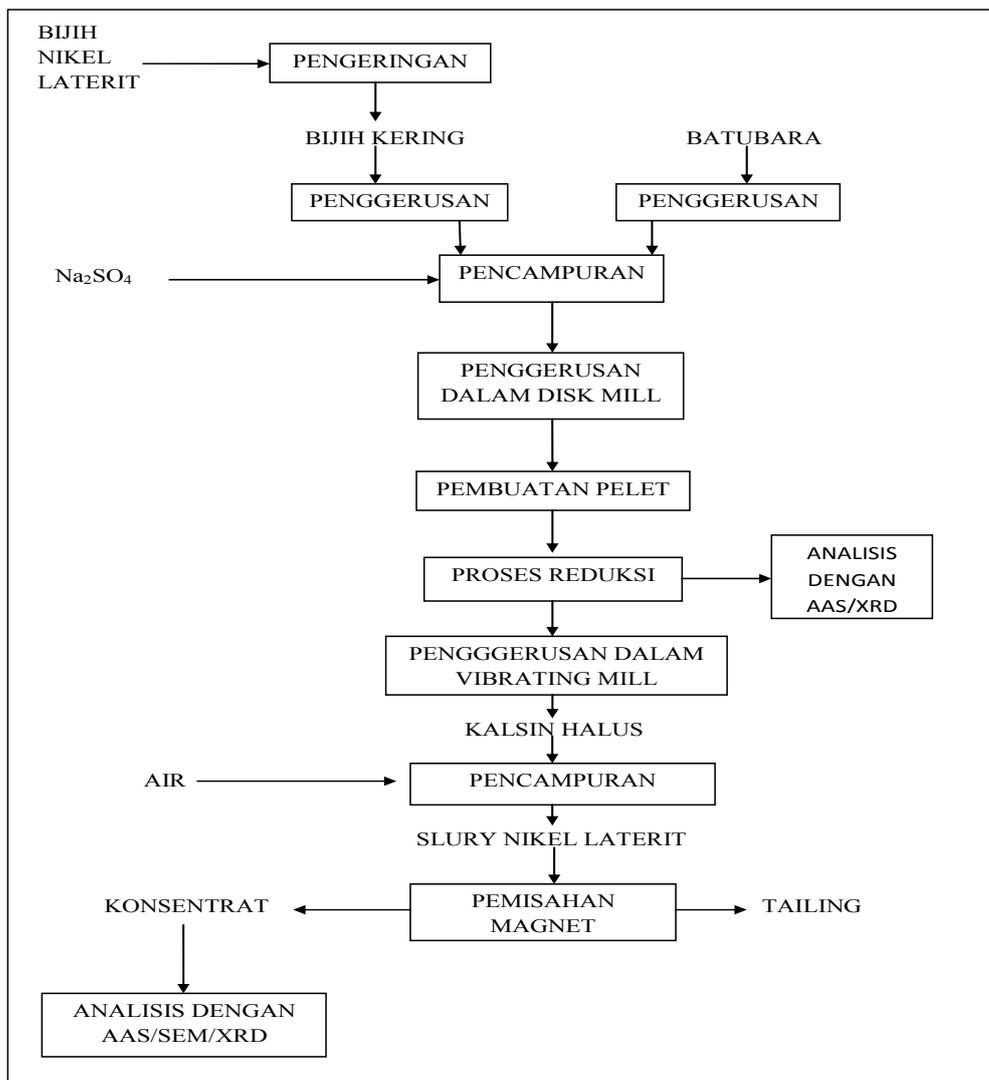
selanjutnya digerus dengan menggunakan *disk mill* sehingga diperoleh campuran bijih, batubara dan Na₂SO₄ yang mempunyai ukuran lebih kecil dari 100 mesh. Penambahan Na₂SO₄ bertujuan untuk meningkatkan selektifitas Ni dengan menurunkan kadar komponen yang tidak diinginkan. Na₂SO₄ akan terurai, natrium dapat mengikat silikat dan Fe bereaksi dengan S membentuk FeS. Natrium silikat dan FeS merupakan komponen bukan magnet yang terikat menjadi *tailing* pada pemisahan magnetik, sehingga selektivitas Ni pada konsentrat meningkat. Campuran nikel batubara dan zat aditif ini kemudian dibuat pelet dalam alat *pan peletizer*. Pelet yang dihasilkan kemudian dikeringkan dalam udara terbuka. Setelah itu dipanggang pada temperatur dan waktu tertentu dalam tungku mufle. Hasil reduksi dari proses pemanggangan kemudian digerus dalam *vibrating mill* untuk selanjutnya dicampur dengan air dan

dilewatkan alat pemisah magnet (*magnetic separator*) sehingga dihasilkan konsentrat dan *tailing*. Komposisi nikel dan besi yang terdapat dalam konsentrat kemudian dianalisis dengan AAS, dan persen perolehan nikel atau besi dalam konsentrat ditentukan dengan menggunakan persamaan 1 dan persamaan 2.

$$\% \text{ perolehan nikel} = \frac{\text{berat nikel dalam konsentrat}}{\text{berat nikel dalam hasil reduksi}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\% \text{ perolehan besi} = \frac{\text{berat besi dalam konsentrat}}{\text{berat besi dalam hasil reduksi}} \times 100\% \quad (2)$$

Untuk melihat struktur mikro hasil reduksi, sebagian dari hasil reduksi dianalisis dengan mikroskop electron SEM (*scanning electron microscopy*), sedangkan senyawa yang terkandung dianalisis dengan menggunakan alat XRD (*x-ray diffraction*).



Gambar 1. Lembar alir percobaan untuk meningkatkan kadar nikel dalam laterit

3. HASIL DAN DISKUSI

A. Pengaruh Waktu Pemanggangan Reduksi terhadap Kadar Ni dan Fe dalam Konsentrat

Untuk mempelajari pengaruh waktu pemanggangan reduksi terhadap peningkatan kadar nikel dan besi dalam konsentrat nikel laterit, pada penelitian ini dilakukan percobaan pemanggangan reduksi menggunakan pelet yang mengandung campuran bijih nikel laterit, batubara dan Na_2SO_4 . Komposisi batubara 10%, Na_2SO_4 10% dan temperatur reduksi 1000 °C sebagai variabel tetap dan waktu sebagai variabel berubah dengan selang waktu 0,5 jam sampai dengan 4 jam. Hasil reduksi yang terbentuk kemudian dianalisis kandungan nikel dan besinya dengan AAS, setelah itu hasil reduksi dilewatkan alat pemisah magnet sehingga dihasilkan konsentrat nikel, dimana kadar nikel dan besinya diukur dengan AAS. Hasil percobaan diperlihatkan oleh tabel 3.

Dari data hasil percobaan pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa kadar nikel dalam konsentrat cenderung lebih tinggi dari pada kadar nikel dalam hasil reduksi. Demikian juga kadar besi dalam konsentrat lebih tinggi dari kadar besi dalam hasil reduksi, akan tetapi peningkatan waktu pemanggangan reduksi dari 0,5 jam menjadi 4 jam tidak memperlihatkan pengaruh yang berarti terhadap peningkatan kandungan nikel dan besi dalam konsentrat. Disisi lain peningkatan waktu pemanggangan reduksi dari 0,5 jam menjadi 4 jam menyebabkan jumlah perolehan nikel dan besi dalam konsentrat yang dihitung dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 cenderung menjadi lebih kecil. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh karena jumlah reduktor batubara yang diperlukan untuk mereduksi nikel oksida dan besi oksida berkurang dengan berkembangnya waktu reaksi. Akibatnya sebagian dari nikel dan besi yang telah mengalami proses reduksi akan teroksidasi kembali, dan nikel oksida yang terbentuk bereaksi dengan magnesium silikat dan terbawa ke *tailing* ^[16].

B. Pengaruh Temperatur Pemanggangan Reduksi terhadap Kadar Ni dan Fe dalam Konsentrat

Percobaan untuk mempelajari pengaruh temperatur pemanggangan reduksi terhadap peningkatan kadar nikel dalam konsentrat, dilakukan dengan menggunakan pelet yang mengandung campuran bijih nikel laterit, batubara dan Na_2SO_4 .

Tabel 3. Pengaruh waktu reduksi terhadap kandungan nikel dan besi dalam konsentrat

Waktu Reduksi (Jam)	Kandungan Logam Dalam Hasil Reduksi (%)		Kandungan Logam Dalam Konsentrat (%)		% Perolehan Logam Dalam Konsentrat	
	Ni	Fe	Ni	Fe	Ni	Fe
	0,5	1,55	44,89	2,31	55,31	99,01
1	1,62	52,79	2,26	63,51	96,14	83,29
2	1,54	45,98	2,18	52,68	90,92	73,76
4	1,62	47,54	2,76	61,72	89,73	61,06

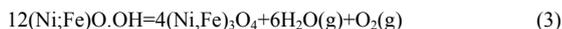
Komposisi Na_2SO_4 10%, batubara 10% dan waktu reduksi 1 jam ditetapkan sebagai variabel tetap dan variabel berubah adalah temperatur pemanggangan reduksi yang dilakukan pada rentang temperatur 800 °C sampai dengan 1100 °C. Hasil percobaan diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh temperatur pemanggangan reduksi terhadap kandungan nikel dan besi dalam konsentrat

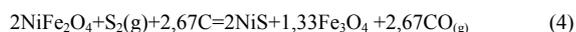
Temperatur Pemanggangan Reduksi (° C)	Kandungan Logam Dalam Hasil Reduksi (%)		Kandungan Logam Dalam Konsentrat (%)		% Perolehan Logam Dalam Konsentrat	
	Ni	Fe	Ni	Fe	Ni	Fe
	800	1,51	43,08	1,67	43,81	97,86
900	1,46	44,23	1,84	52,08	98,20	91,77
1000	1,62	52,79	2,26	63,51	96,14	83,29
1100	1,60	44,43	3,53	65,91	94,97	63,67

Dari data percobaan pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa kadar nikel dan besi dalam konsentrat lebih tinggi dari pada kadar nikel dan besi dalam sampel hasil proses reduksi pada temperatur 800 °C sampai 1000 °C. Kenaikan temperatur pemanggangan reduksi dari 800 °C sampai 1100 °C menyebabkan kenaikan kadar nikel dan besi dalam konsentrat. Sedangkan untuk perolehan nikel dan besi dalam konsentrat, bila temperatur pemanggangan reduksi dinaikan dari 800 °C menjadi 900 °C, maka perolehan nikel naik dari 97,86% menjadi 98,20%, akan tetapi kenaikan temperatur lebih lanjut dari 900 °C menjadi 1100 °C menyebabkan perolehan nikel menjadi lebih kecil. Kecenderungan yang sama didapatkan pada perolehan besi yaitu bila temperatur pemanggangan reduksi dinaikan dari 800 °C menjadi 900 °C maka perolehan besi dalam konsentrat meningkat dari 90% menjadi 91,77% dan bila temperatur pemanggangan reduksi dinaikan dari 900 °C menjadi 1100 °C maka perolehan besi dalam konsentrat menjadi lebih kecil. Bila dibandingkan dengan nikel, penurunan

perolehan besi dalam konsentrat yang diakibatkan oleh kenaikan temperatur pemanggangan reduksi dari 900 °C menjadi 1100 °C, mempunyai kecenderungan penurunan yang relatif lebih besar. Penurunan jumlah besi dalam konsentrat diduga akibat terbentuknya fasa FeS sebagaimana dapat dilihat pada mikro struktur *tailing* hasil pengamatan dengan SEM pada Gambar 7 dan data XRD hasil reduksi pada Gambar 2. Hasil penelitian ini mempunyai kecenderungan yang sama dengan data penelitian Li^[12] yang menyatakan bahwa terbentuknya fasa trolit FeS menyebabkan metalisasi besi berkurang sehingga besi tidak akan masuk ke dalam konsentrat. Namun bila memperhatikan data pada Tabel 4 lebih lanjut, dapat dilihat bahwa kadar nikel dalam konsentrat masih relatif rendah, hal ini disebabkan oleh karena kadar besi dalam konsentrat masih tinggi akibat jumlah belerang yang diperlukan untuk mengikat besi menjadi FeS masih terlalu kecil, dimana belerang yang ditambahkan berasal dari hasil proses penguraian Na₂SO₄. Pada percobaan ini penambahan Na₂SO₄ baru 10%. Kemudian menurut hasil penelitian Bunyaku^[17], dikatakan bahwa pada saat proses pemanggangan reduksi nikel oksida yang mengandung *goethite*, akan terjadi reaksi dehidroksilasi untuk menghasilkan senyawa spinel yang mengandung nikel oksida dalam larutan padat sesuai persamaan reaksi berikut:



Senyawa spinel yang terbentuk kemudian bereaksi dengan belerang dan batubara sesuai persamaan reaksi 4 sehingga dihasilkan Fe₃O₄.



Hasil pengamatan dengan XRD terhadap hasil reduksi pada Gambar 2 dan hasil pengamatan dengan SEM pada Gambar 5 memperkuat terjadinya reaksi 3 dan 4. Sehingga rendahnya kadar nikel dalam konsentrat diduga sebagai akibat dari adanya reaksi 3 dan 4 yang mendorong terbentuknya senyawa Fe₃O₄ dan menyebabkan kadar besi dalam konsentrat menjadi tinggi.

C. Pengaruh Penambahan Batubara terhadap Kadar Ni dan Fe dalam Konsentrat

Percobaan untuk mengamati pengaruh penambahan batubara terhadap kadar nikel dan besi dalam konsentrat dipelajari dengan

menggunakan pelet yang mengandung campuran bijih nikel laterit, batubara dan Na₂SO₄. Komposisi Na₂SO₄ 10%, pemanggangan reduksi pada temperatur 1000 °C dan waktu pemanggangan selama 1 jam ditetapkan sebagai variabel tetap. Kandungan batubara dalam pelet divariasikan dari 5% sampai 20% (variabel berubah). Hasil percobaan diperlihatkan pada Tabel 5.

Dari data hasil percobaan pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa kenaikan kandungan batubara dalam pelet nikel laterit dari 5% menjadi 15 % tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap kenaikan kadar nikel dalam konsentrat. Akan tetapi apabila kandungan batubara dalam pelet dinaikkan menjadi 20% maka kadar nikel dalam konsentrat naik menjadi 5,20%, dan perolehan nikel serta besi dalam konsentrat turun masing-masing menjadi 30,17% dan 26,14%. Hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya kandungan batubara maka kandungan silikat yang berasal dari batubara dalam hasil reduksi juga meningkat. Peningkatan kadar silikat mendorong terbentuknya fasa Na₃MgAl(SiO₄)₂, *fosterite* dan fasa Fe₂SiO₄ sebagaimana diperlihatkan oleh data difraksi sinar-x pengaruh penambahan batubara pada Gambar 3. Bila hasil penelitian ini dibandingkan dengan hasil penelitian Foster dan kawan kawan^[16], maka adanya fasa Na₃MgAl(SiO₄)₂ menyebabkan sebagian dari nikel masuk ke dalam struktur Na₃MgAl(SiO₄)₂ sehingga perolehan nikel dalam konsentrat menjadi rendah. Hasil pengamatan dengan SEM terhadap *tailing* pada Gambar 7 memperkuat dugaan ini dimana sebagian nikel dan besi yang mempunyai ukuran butir kecil terperangkap dalam struktur Na₃MgAl(SiO₄)₂.

Tabel 5. Pengaruh penambahan batubara terhadap kadar nikel dan besi dalam konsentrat

Batubara Dalam Pelet (%)	Kandungan Logam Dalam Hasil Reduksi (%)		Kandungan Logam Dalam Konsentrat (%)		% Perolehan Logam Dalam Konsentrat	
	Ni	Fe	Ni	Fe	Ni	Fe
5	1,72	52,15	1,92	58,20	98,90	98,72
10	1,62	52,79	2,26	63,51	96,14	83,29
15	1,62	51,07	1,97	59,01	96,32	91,16
20	1,67	23,16	5,20	62,40	30,17	26,14

D. Pengaruh Penambahan Na₂SO₄ terhadap Kadar Ni dan Fe dalam Konsentrat

Percobaan untuk mempelajari pengaruh penambahan Na₂SO₄ terhadap kandungan nikel dan besi dalam konsentrat, dipelajari dengan menggunakan pelet bijih nikel laterit kadar

rendah. Komposisi batubara 10%, temperatur pemanggangan reduksi 1000 °C dan waktu pemanggangan reduksi 1 jam ditetapkan sebagai variabel tetap, sedangkan kandungan Na₂SO₄ sebagai variabel berubah dan divariasikan dari 5% sampai dengan 20%. Hasil pemanggangan reduksi kemudian dicampur dengan air dan digiling dalam *vibrating mill*, untuk selanjutnya dilewatkan pada alat pemisah magnet. Kadar nikel dan besi dalam konsentrat hasil proses pemisahan magnet diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengaruh penambahan Na₂SO₄ terhadap kadar nikel dan besi dalam konsentrat

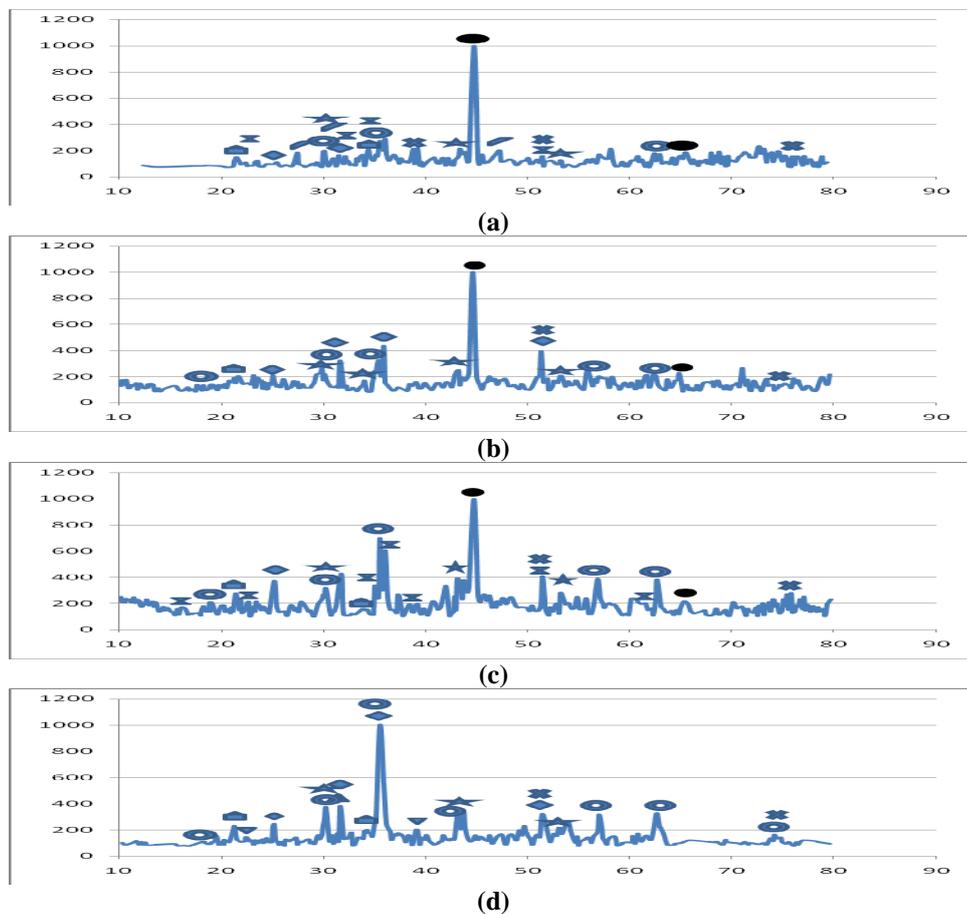
Na ₂ SO ₄ Dalam Pelet (%)	Kandungan Logam Dalam Hasil Reduksi (%)		Kandungan Logam Dalam Konsentrat (%)		% Perolehan Logam Dalam Konsentrat	
	Ni	Fe	Ni	Fe	Ni	Fe
5	1,74	21,99	2,29	29,97	52,73	54,61
10	1,62	52,79	2,26	63,51	96,14	83,29
15	1,54	18,51	5,44	45,79	60,16	42,06
20	1,67	20,23	10,28	66,57	64,70	34,66

Dari data hasil percobaan pada Tabel 6 dapat dilihat bahwa kadar nikel dan besi dalam

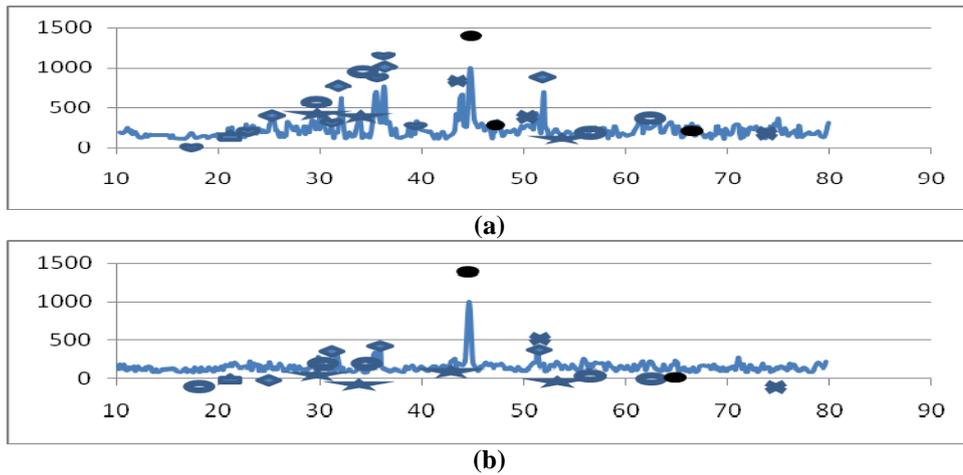
konsentrat lebih besar dari kadar nikel dan besi dalam hasil reduksi, kemudian kadar nikel dalam konsentrat meningkat apabila kandungan Na₂SO₄ dalam pelet dinaikan dari 5% menjadi 20%. Kandungan nikel tertinggi dalam konsentrat, dicapai pada penambahan 20% Na₂SO₄. Meningkatnya kandungan nikel dalam konsentrat disebabkan oleh terjadinya reaksi pembentukan FeS yang menyebabkan besi terbawa ke dalam *tailing* dan kadar nikel dalam konsentrat menjadi naik^[12], disamping itu, penambahan Na₂SO₄ juga menyebabkan kinetika reduksi bijih nikel laterit berlangsung lebih baik sehingga pelepasan besi dan nikel dari mineralnya menjadi konduif^[18].

E. Pengaruh Temperatur terhadap Perubahan Fasa Nikel Laterit

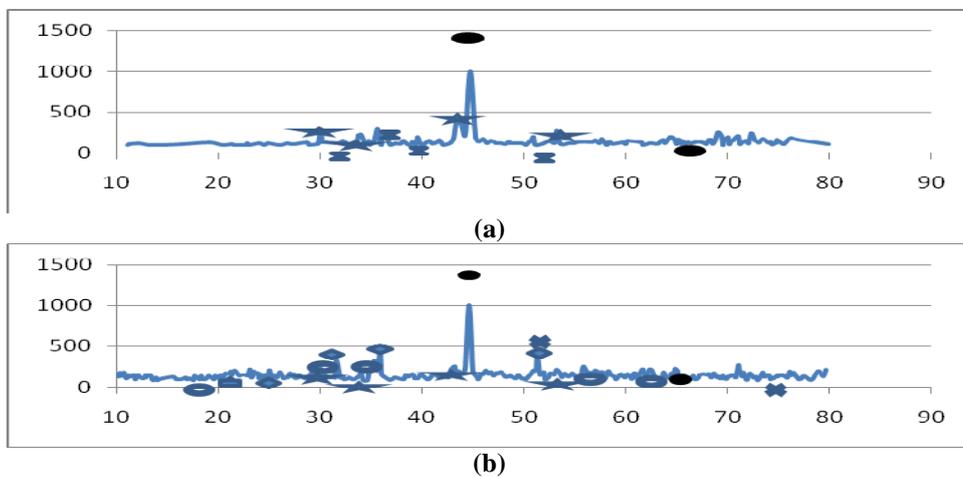
Untuk mempelajari pengaruh temperatur terhadap perubahan fasa nikel laterit, hasil reduksi yang dihasilkan dari proses pemanggangan reduksi pada temperatur 800 °C, 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C dianalisis dengan menggunakan XRD, hasilnya ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pola difraksi sinar x kalsin hasil reduksi pada temperatur (°C); (a) 800, (b) 900, (c) 1000, dan (d) 1100. ● Fe₃O₄ ; ■ Na₃MgAl(SiO₄)₂ ; ▼ Na₂S ; ◆ Fe₂SiO₄ ; ★ FeS ; * β FeNi ; / Na₂O ; ● Kamacite (Fe,Ni)



Gambar 3. Pola difraksi sinar-x untuk hasil reduksi proses pemanggangan reduksi pada temperatur 1000 °C selama 1 jam, masing masing untuk kandungan batubara; (a) 5 %, dan (b) 20 %. ● β FeNi ; ■ Na₃MgAl(SiO₄)₂ ; ◆ Fe₂SiO₄ ; ● Fe₃O₄ ; ★ FeS ; ● Mg₂SiO₄ ; ● kamacite (Fe,Ni)



Gambar 4. Pola difraksi sinar-x dari hasil reduksi pada temperatur 1000 °C yang mengandung Na₂SO₄ sebesar; (a) 5 % dan (b) 20 %. ● Fe₃O₄ ; ■ Na₃MgAl(SiO₄)₂ ; ◆ Fe₂SiO₄ ; ★ FeS ; ● FeNi (Kamacite) ; ■ Mg₂SiO₄

F. Pengaruh Penambahan Batubara terhadap Perubahan Fasa

Untuk mempelajari pengaruh penambahan batubara terhadap perubahan fasa nikel laterit, hasil reduksi yang dihasilkan dari proses pemanggangan reduksi, masing masing untuk kandungan batubara 5% dan 20% dianalisis dengan menggunakan XRD, hasilnya ditampilkan pada Gambar 3.

Dari data pola difraksi sinar-x pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa fasa-fasa yang terbentuk dari hasil pemanggangan reduksi bijih nikel laterit dengan penambahan 5% batubara dan 10% batubara adalah taenit β(Fe,Ni), Na₃MgAl(SiO₄)₂, Fe₂SiO₄, Fe₃O₄, FeS, fosterit Mg₂SiO₄ dan kamacite (Fe,Ni). Kenaikan kandungan batubara dalam campuran pelet nikel laterit dari 5% menjadi 20% menyebabkan intensitas fasa fosterit Mg₂SiO₄ dan fasa Fe₂SiO₄ meningkat. Hal ini

kemungkinan disebabkan oleh meningkatnya kandungan silikat yang berasal dari batubara.

G. Pengaruh Penambahan Na₂SO₄ terhadap Perubahan Fasa

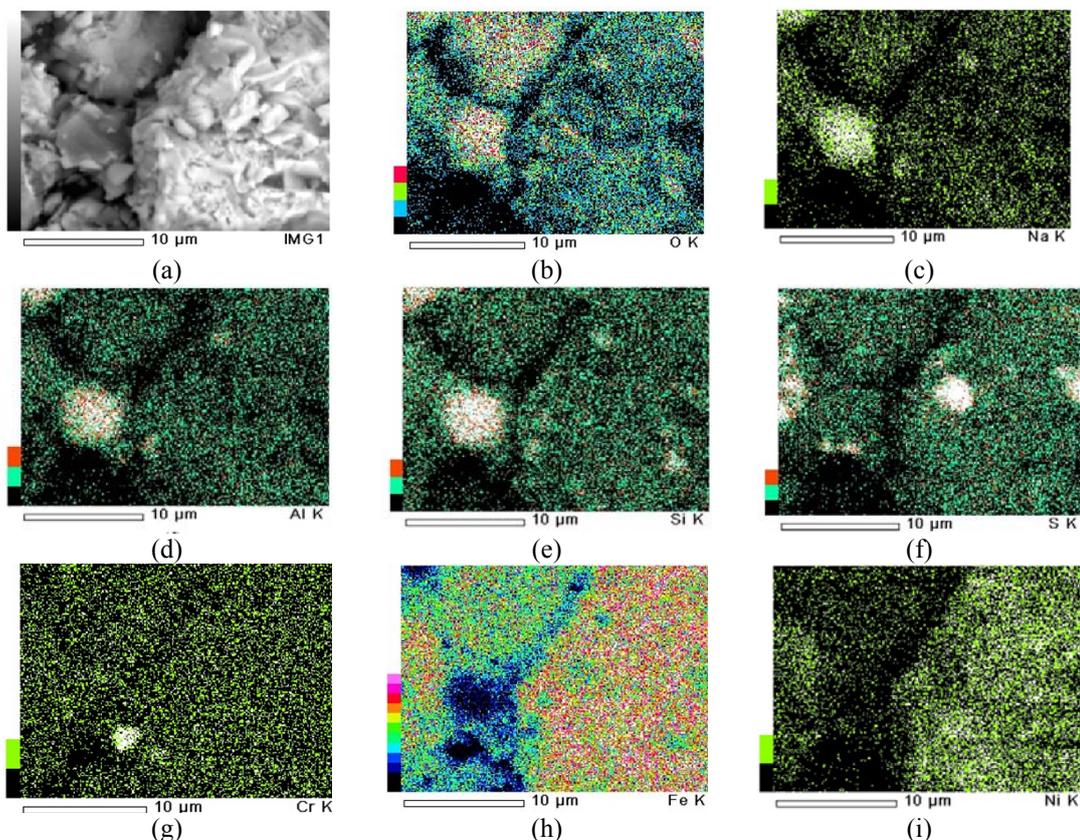
Untuk mempelajari pengaruh penambahan Na₂SO₄ terhadap perubahan fasa nikel laterit, hasil reduksi yang dihasilkan dari proses pemanggangan reduksi, masing masing untuk kandungan Na₂SO₄ 5% dan 20% dianalisis dengan menggunakan XRD, hasilnya ditampilkan pada Gambar 4. Dari gambar ini dapat dilihat penambahan Na₂SO₄ ke dalam bijih laterit menyebabkan peningkatan intensitas fasa FeS dan penurunan intensitas fasa Fe₂SiO₄ dan Fe₃O₄. Fasa FeS yang terbentuk merupakan hasil reaksi antara besi dengan belerang, sebagaimana dikemukakan pada hasil penelitian Man Jiang^[19] yang telah melakukan penelitian untuk mempelajari pengaruh Na₂SO₄ terhadap proses reduksi bijih

nikel laterit. Dari hasil penelitiannya diinformasikan bahwa pada saat campuran bijih nikel laterit dan Na_2SO_4 dipanaskan maka, Na_2SO_4 terurai menjadi Na_2O , Na_2S dan S. Belerang yang terbentuk kemudian akan bereaksi dengan besi membentuk FeS , sedangkan Na_2O akan bereaksi dengan silikat membentuk senyawa natrium silikat yang mempunyai titik leleh rendah. Adanya fasa FeS dan natrium silikat yang mempunyai titik leleh rendah akan melarutkan partikel-partikel logam dan mempercepat proses perpindahan masa partikel logam sehingga memacu pertumbuhan partikel logam. Terbentuknya ukuran partikel logam yang relatif besar akan mempermudah proses peningkatan kadar logam dengan alat pemisah magnet.

H. Struktur Mikro Hasil Reduksi dari Hasil Pemanggangan Reduksi Bijih Nikel Laterit Kadar Rendah

Gambar 5 memperlihatkan struktur mikro hasil reduksi dari hasil pemanggangan reduksi pelet bijih nikel laterit yang telah diberi batubara dan Na_2SO_4 , dimana proses pemanggangan reduksi dilakukan pada temperatur $1000\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam.

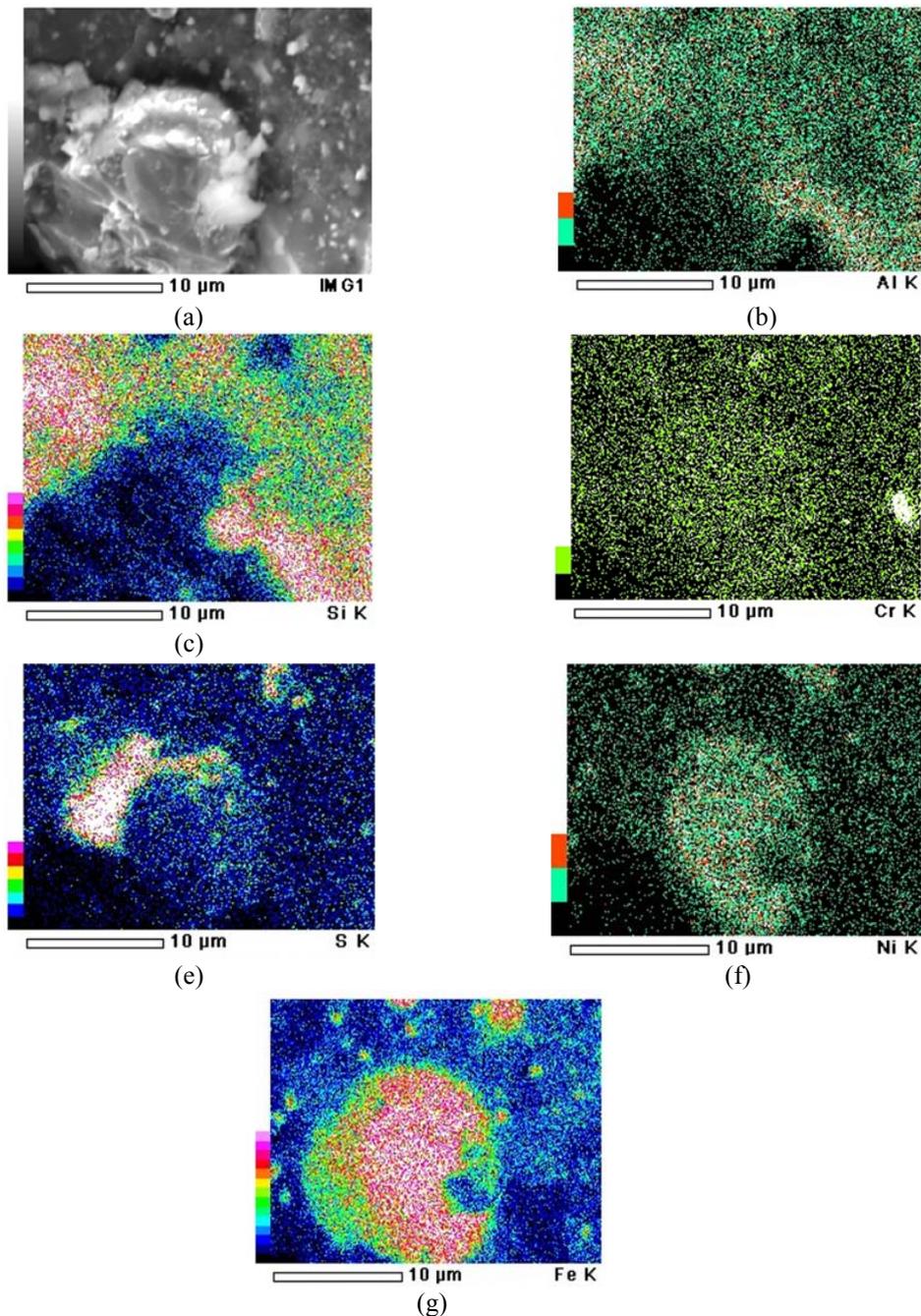
Dari distribusi unsur yang terdapat pada hasil reduksi hasil proses pemanggangan reduksi dapat dilihat bahwa nikel berada bersama-sama dengan besi membentuk fasa kamacite (Fe,Ni), kemudian sebagian besi berikatan dengan oksigen membentuk Fe_3O_4 , sedangkan silikat bersama sama dengan natrium, aluminium dan oksigen membentuk senyawa $\text{Na}_3\text{MgAl}(\text{SiO}_4)_2$ sebagaimana diperlihatkan oleh hasil analisis hasil reduksi dengan XRD pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 4. Kemudian dari distribusi unsur juga dapat dilihat bahwa sebagian dari besi berikatan dengan belerang membentuk fasa FeS . Keberadaan fasa FeS juga didukung oleh data XRD hasil reduksi pada Gambar 2 dan Gambar 4. Fasa FeS yang terbentuk merupakan hasil reaksi antara besi dengan unsur belerang yang berasal dari Na_2SO_4 , dan terbentuknya fasa FeS akan menginisiasi terbentuknya agregate partikel besi dan nikel yang akan mempermudah proses pemisahan dengan magnet^[18]. Dari Gambar 5 juga dapat dilihat bahwa natrium, silikon, aluminium dan oksigen berada bersama-sama membentuk fasa $\text{Na}_3\text{MgAl}(\text{SiO}_4)_2$ sebagaimana diperlihatkan oleh data hasil analisis hasil reduksi dengan XRD.



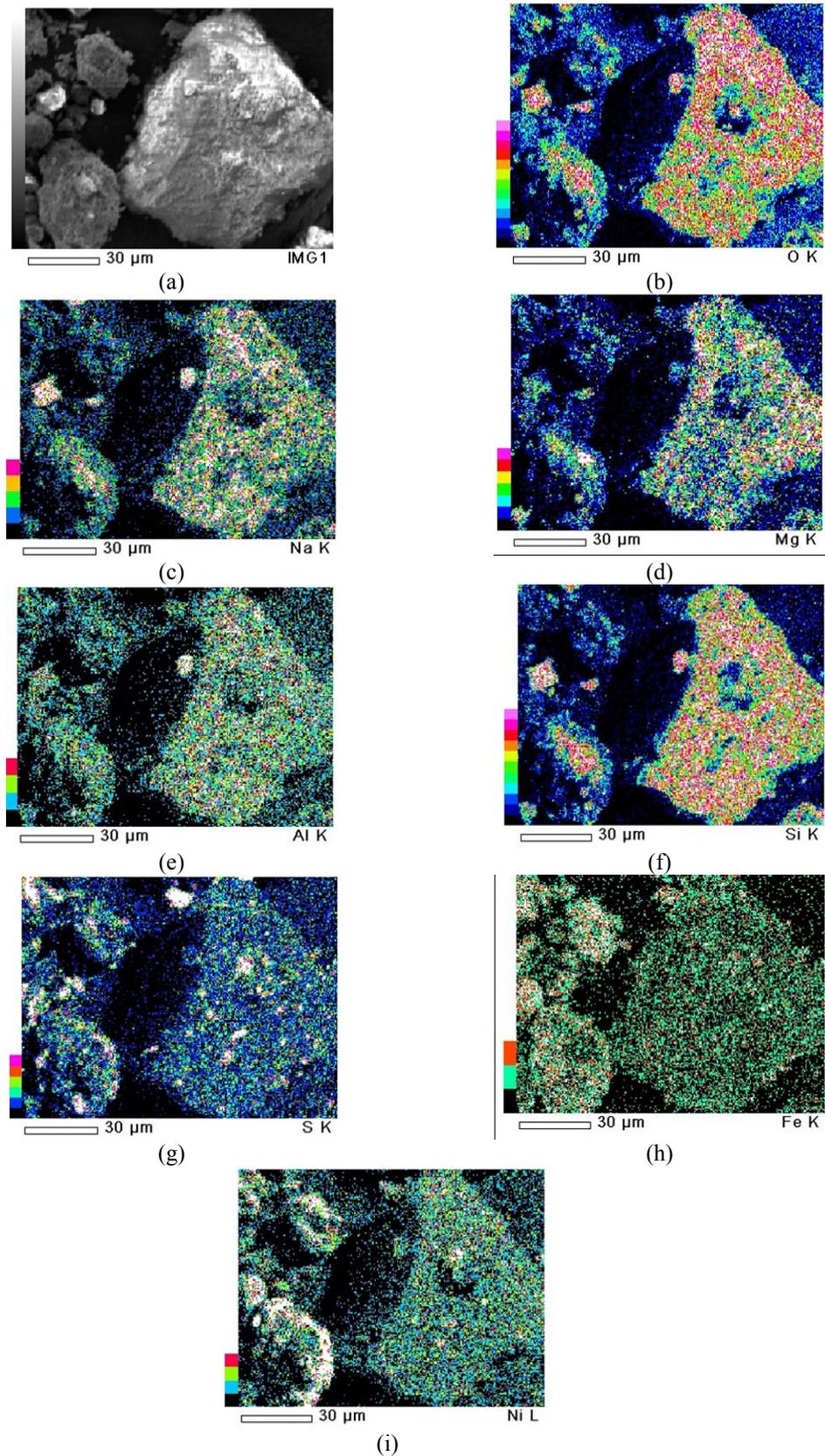
Gambar 5. (a) SEM Image hasil reduksi hasil pemanggangan reduksi campuran nikel laterit, batubara dan Na_2SO_4 pada temperatur $1000\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam; (b) Distribusi oksigen dalam hasil reduksi; (c) Distribusi natrium; (d) Distribusi aluminium; (e) Distribusi silikon; (f) Distribusi belerang; (g) Distribusi khrom; (h) Distribusi besi; dan (i) Distribusi nikel

Untuk mengetahui struktur mikro konsentrat yang dihasilkan dari proses pemisahan magnet, dilakukan analisis terhadap konsentrat yang dihasilkan dengan menggunakan SEM. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 6. Dari gambar ini dapat dilihat bahwa besi dan nikel berada bersama sama membentuk fasa kamacite (FeNi). Kemudian sebagian dari besi bersama sama dengan belerang membentuk

ikatan FeS. Disamping besi dan nikel, dalam konsentrat juga masih mengandung unsur silikon, aluminium, belerang dan krom. Keberadaan unsur-unsur ini dalam konsentrat telah menyebabkan kandungan nikel dalam konsentrat menjadi rendah.



Gambar 6. (a) Struktur mikro konsentrat hasil proses pemisahan dengan magnet; (b) Distribusi aluminium pada konsentrat nikel; (c) Distribusi silikon pada konsentrat nikel; (d) Distribusi khrom pada konsentrat nikel; (e) Distribusi belerang pada konsentrat nikel; (f) Distribusi nikel pada konsentrat nikel; (g) Distribusi besi pada konsentrat nikel



Gambar 7. (a) Struktur mikro hasil SEM dari *tailing* hasil proses pemisahan magnet; (b) Distribusi oksigen dalam *tailing*; (c) Distribusi natrium dalam *tailing*; (d) Distribusi magnesium dalam *tailing*; (e) Distribusi aluminium dalam *tailing*; (f) Distribusi silikon dalam *tailing*; (g) Distribusi belerang dalam *tailing*; (h) Distribusi besi dalam *tailing*; (i) Distribusi nikel dalam *tailing*

4. KESIMPULAN

Dari studi peningkatan kadar nikel dalam bijih nikel laterit jenis limonit dengan membuat pelet dari campuran bijih nikel laterit jenis limonit, batubara dan Na_2SO_4 dapat disimpulkan kadar nikel dalam bijih nikel laterit kadar rendah jenis limonit dapat ditingkatkan dengan cara membuat pelet dari campuran bijih nikel laterit kadar rendah, bahan reduktor batubara dan bahan aditif Na_2SO_4 , kemudian dilanjutkan dengan proses pemanggangan reduksi pelet dan melewati kalsin yang dihasilkan dari proses pemanggangan reduksi kedalam alat pemisahan magnet sehingga diperoleh konsentrat nikel. Kadar nikel dalam konsentrat nikel dipengaruhi oleh temperatur pemanggangan reduksi, jumlah batubara yang ditambahkan kedalam campuran pelet nikel laterit, dan jumlah Na_2SO_4 yang ditambahkan kedalam campuran pelet nikel laterit. Kenaikan waktu pemanggangan reduksi dari 0,5 jam menjadi 4 jam tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap kenaikan kadar nikel dalam konsentrat. Temperatur pemanggangan reduksi mempengaruhi kandungan nikel dalam konsentrat. Kandungan nikel dalam konsentrat tertinggi sebesar 3,53% diperoleh pada temperatur pemanggangan reduksi 1100 °C dan terendah sebesar 1,67% pada 800 °C. Penambahan batubara dalam reduksi mempengaruhi kandungan nikel dalam konsentrat. Kandungan nikel dalam konsentrat yang tertinggi diperoleh pada penambahan batubara 20% sebesar 5,2% dan terendah sebesar 1,92% pada penambahan 5% batubara. Penambahan Na_2SO_4 dalam reduksi mempengaruhi kandungan nikel dalam konsentrat. Kandungan nikel dalam konsentrat yang tertinggi diperoleh pada penambahan Na_2SO_4 20% sebesar 10,28% dan terendah sebesar 2,26% pada penambahan 10% Na_2SO_4 . Kadar nikel tertinggi diperoleh pada konsentrat hasil pemanggangan reduksi pelet yang mengandung 10 % batubara dan 20 % Na_2SO_4 yang dipanggang pada temperatur 1000 °C

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan dengan dukungan dana DIPA Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI tahun anggaran 2016. Sehubungan hal tersebut, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, khususnya Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI yang telah memberikan

dukungan dana dan fasilitas untuk pelaksanaan kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C.A. Pickles, J. Forster, R. Elliott, "Thermodynamic analysis of the carbothermic reduction roasting of a nickeliferous limonitic laterite ore," *Minerals Engineering.*, Vol. 65, pp. 33–40, 2014.
- [2] Departemen Pertambangan dan Energi, Potensi dan Prospek Investasi di Sektor Pertambangan dan Energi 1998-1999.
- [3] Peta Ekonomi Mineral, (1997) Dit. Sumber daya Mineral, Kementerian Energi dan sumberdaya Mineral Republik Indonesia, 1997.
- [4] Dalvi, A.D., Bacon, W.G., Osborne, R.C., "The past and the future of nickel laterites, PDAC 2004 International Convention. Trade Show & Investors Exchange," *North Carolina, USA.*, pp. 1–27, 2004.
- [5] Mskalyk, R.R., Alfantazi, A.M, "Nickel laterite processing and electrowinning practice," *Miner. Eng.*, Vol. 20 (15), pp. 593–595, 2002.
- [6] Rhamdhani, M.A., Hayes, P.C., Jak, E, "Nickel laterite Part 1 – microstructure and phase characterizations during reduction roasting and leaching," *Miner. Process. Extr. Metall. Rev.* 3., Vol. (118), pp. 129–145, 2009.
- [7] Mudd, G, "Global trends and issues in nickel mining: sulfides versus laterites. Ore Geol. Rev. 38, 9–26. dan literatur Eckelman, M., 2010. Facility-level energy and greenhouse gas life-cycle assessment of the global nickel industry. Resour. Conserv. Recycl. 54, 256–266, 2010.
- [8] Bergman, R. A, "Nickel production from low-iron laterite ores: process descriptions," *CIM Bulletin.*, Vol. 96, (1072), pp. 127–138, 2003.
- [9] Cartman, R. 2010. An overview of the future production and demand of ferronickel, 2nd Euro Nickel Conference, (IMM Informa Australia), Available: http://www.hatch.com.au/Mining_Metals/Iron_Steel/Articles/documents/Future_supply_demand_ferronickel.pdf.
- [10] Rudi Subagja, F. Firdiyono, "Kinetika reaksi pelarutan nikel dari hasil reduksi nikel laterit," *Metalurgi.*, Vol. 30, No. 2, Agustus, hal. 71-80, 2015.
- [11] Kim, J., Dodbiba, G., Tanno, H., Okaya, K., Matsuo, S., Fujita, T, "Calcinations of low-grade laterite for concentration of Ni

- by magnetic separation,” *Miner. Eng.*, Vol. 23(4), pp. 282–288, 2010.
- [12] Li, G.H., Shi, T.M., Rao, M.J., Kiang, T., Zhang, Y.B., “Beneficiation of nickeliferous laterite by reduction roasting in the presence of sodium sulfate,” *Miner. Eng.*, Vol. 32, pp. 19–26, 2012.
- [13] Cao, Z.C., Sun, T.C., Yang, H.F., Wang, J.J., Wu, X.D., “Recovery of iron and nickel from nickel laterite ore by direct reduction roasting and magnetic separation,” *J. Univ. Sci. Technol. Beijing.*, Vol. 32 (6), pp. 708–712, 2010.
- [14] Zhu, D.Q., Cui, Y., Vining, K., Hapugoda, S., Douglas, J., Pan, J., Zheng, G.L., “Upgrading low nickel content laterite ores using selective reduction followed by magnetic separation,” *Int. J. Miner. Process.*, Vol. 106–109, pp. 1–7, 2012.
- [15] Rudi Subagja, Agus B.P., Mayang, “Pengaruh temperatur dan waktu reduksi serta penambahan batubara dan Na₂SO₄ terhadap peningkatan kadar nikel dalam nikel laterit,” *Prosiding Seminar Material Metalurgi* 2015.
- [16] J. Forster, C.A. Pickles, R. Elliott, “Microwave carbothermic reduction roasting of a low grade nickeliferous silicate laterite ore,” *Minerals Engineering.*, Vol. 88, pp. 18–27, 2016.
- [17] Bunjaku, A., Kekkonen, M., Holappa, L.T., “Phenomena in thermal treatment of lateritic nickel ores up to 1300 °C.,” *The Twelfth International Ferroalloys Congress Sustainable Future. Helsinki, Finland.*, hal. 641–652, 2010.
- [18] Jie Lu, Shoujun Liu, Ju Shangguan, Wenguang Du, Feng Pan, Song Yang, “The effect of sodium sulphate on the hydrogen reduction process of nickel laterite ore,” *Minerals Engineering.*, Vol. 49, pp. 154–164, 2013.
- [19] Man Jiang, Tichang Sun, Zhiguo Liu, Jue Kou, Na Liu, Shiyuan Zhang, “Mechanism of sodium sulfate in promoting selective reduction of nickel laterite ore during reduction roasting process,” *International Journal of Mineral Processing.*, Vol. 123, pp. 32–38, 2013.