

# **PENGARUH WAKTU REDUKSI DAN KOMPOSISI PELET TERHADAP PERSEN Fe METAL DAN PERSEN Ni FeNi SPONS DARI BIJIH NIKEL LIMONIT MENGGUNAKAN SIMULATOR *ROTARY KILN***

**Yopy Henpristian<sup>1,\*</sup>, Iwan Dwi Antoro S.T, M.Si<sup>2</sup> dan Ir. Soesaptri Oediyani, M.E<sup>3</sup>**  
<sup>1,3</sup>Teknik Metalurgi, FT. UNTIRTA, Jl. Jenderal Sudirman Km 03 Cilegon, Banten 42435  
<sup>2</sup>Pusat Penelitian Metalurgi - LIPI Puspitek Serpong, Tangerang Selatan  
E-mail : \*yopy\_henpristian@yahoo.com

Masuk tanggal : 21-09-2014, revisi tanggal : 16-11-2014, diterima untuk diterbitkan tanggal : 28-11-2014

## **Intisari**

**PENGARUH WAKTU REDUKSI DAN KOMPOSISI PELET TERHADAP PERSEN Fe METAL DAN PERSEN Ni FeNi SPONS DARI BIJIH NIKEL LIMONIT MENGGUNAKAN SIMULATOR *ROTARY KILN*.** Indonesia memiliki cadangan bijih nikel yang cukup banyak yaitu 15,70% dari cadangan nikel dunia atau sebesar 1576 juta ton, akan tetapi sebagian besar bijih nikel laterit kadar rendah (limonit) belum dimanfaatkan dengan baik. Bijih nikel limonit dapat dimanfaatkan dalam proses pembuatan besi baja melalui proses reduksi menjadi FeNi spons. Kualitas FeNi spons dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya yaitu komposisi pelet dan waktu reduksi. Komposisi pelet yang digunakan dalam penelitian ini yaitu rasio bijih nikel limonit dan batu bara sebesar 90:10, 85:15 dan 80:20%. Proses reduksi menggunakan simulator *rotary kiln* yang berada di Pusat Penelitian Metalurgi - LIPI Serpong dengan temperatur 1000°C dan waktu reduksi 30, 45 dan 60 menit. Pelet hasil reduksi atau FeNi spons dilakukan pendinginan menggunakan media air untuk meminimalisir terjadinya reaksi oksidasi akibat oksigen yang berada dalam udara bebas. Selanjutnya FeNi spons dikarakterisasi untuk mengetahui pengaruh dari variabel yang digunakan. Karakterisasi yang dilakukan meliputi uji Fe metal, analisa komposisi kimia menggunakan XRD dan SEM EDS. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, perubahan persen Fe metal tidak sesuai teori. Persen Fe metal menurun seiring bertambahnya komposisi batu bara dan waktu reduksi yang digunakan, tetapi persen Ni meningkat seiring bertambahnya waktu reduksi. Persen Fe metal tertinggi diperoleh pada komposisi pelet 90:10% dengan waktu reduksi 30 menit yaitu 2,97%, sedangkan persen Ni tertinggi diperoleh dengan waktu reduksi 60 menit yaitu 6,87%.

*Kata kunci : Limonit, Reduksi, FeNi spons, Persen Fe metal, Persen Ni*

## **Abstract**

***THE INFLUENCE OF REDUCTION TIME AND PELLET COMPOSITION ON Fe AND Ni METAL PERCENTAGE OF FeNi SPONGE FROM LIMONITE ORE REDUCED BY USING ROTARY KILN SIMULATOR.*** Indonesia has abundant nickel ore reserves, about 15.70% of the world's nickel reserve or equal to 1576 million metric tons, but mostly low grade laterite nickel ore (limonite) has not been put to good use.<sup>[4]</sup> Limonite ore can be used in the steel-making process through the reduction process to sponge FeNi. Quality of sponge FeNi is influenced by several factors among which the composition of pellets and time reduction. The composition of the pellets were used in this study is the ratio of nickel limonite ore and coal at 90:10, 85:15 and 80: 20%. Reduction process used a rotary kiln simulator in Metallurgy and Material Research Center - LIPI Serpong with temperature 1000°C and the time reduction are 30, 45 and 60 minutes. Pellets of reduction results or sponge FeNi performed using medium cooling water to minimize oxidation due to oxygen which are in free air. Furthermore, sponge FeNi is characterized to determine the effect of the variables used. The characterization was conducted on the test Fe metal, chemical composition analysis using XRD and SEM EDS. Based on the results obtained, changes in percent Fe metal does not fit the theory. Percentage of Fe metal decreases as the composition of coal and reduction of time used, but the percentage of Ni increases with time reduction. The highest percentage of Fe metal pellets obtained on the composition of 90: 10% with a reduction of 30 minutes is 2.97%, while the highest percentage Ni obtained by a reduction of 60 minutes is 6.87%.

*Keywords : Limonite, Reduction, Spongs iron, Percentage of Fe metal, Percentage of Ni*

## PENDAHULUAN

Berdasarkan undang-undang No. 4 tahun 2009 tentang pertambangan mineral dan batu bara serta peraturan menteri ESDM No. 01 tahun 2014 tentang peningkatan nilai tambah mineral melalui kegiatan pengolahan dan pemurnian mineral di dalam negeri, maka diharapkan Indonesia mampu mengolah dan memanfaatkan sumber daya alam yang dimiliki secara maksimal sehingga kebutuhan dalam negeri dapat tercapai tanpa adanya ketergantungan terhadap negara lain, terutama produksi besi baja. Produksi besi baja dapat dihasilkan dari beberapa jenis bijih sebagai bahan baku, diantaranya bijih nikel laterit.

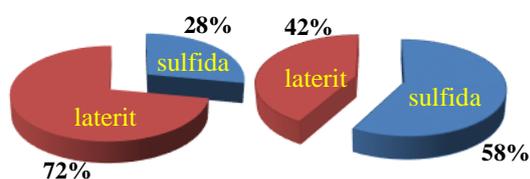
Indonesia merupakan negara yang memiliki kandungan nikel laterit terbesar ke-3 di dunia yaitu sebesar 1576 juta ton<sup>[1]</sup>. Namun demikian, dengan jumlah cadangan nikel sebesar itu hanya ada dua perusahaan yang mengolah bijih nikel di Indonesia, sehingga sebesar 7.500.000 ton bijih nikel masih belum diolah dan dimurnikan<sup>[2]</sup>. Sebagian besar bijih nikel laterit terutama bijih nikel kadar rendah atau disebut bijih nikel limonit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) masih diekspor dalam bentuk mentah dan sisanya belum diolah.

Salah satu tahapan dalam proses pembuatan besi baja adalah reduksi langsung dari pelet menjadi FeNi spons. Syarat mutu pelet hasil reduksi yaitu memiliki nilai Fe metal minimal 75%<sup>[3]</sup>. Pelet hasil reduksi atau FeNi spons yang dihasilkan dari bijih nikel limonit harus mengandung minimal 4% Ni<sup>[4]</sup>. Agar FeNi spons yang diproduksi dapat memenuhi standar maka harus diperhatikan faktor-faktor yang berpengaruh, diantaranya komposisi pelet dan waktu reduksi. Persen Fe metal dan Ni akan meningkat seiring bertambahnya waktu reduksi dan komposisi reduktor sampai mencapai nilai optimum. Maka dari itu pada penelitian ini digunakan variasi waktu reduksi dan komposisi pelet untuk mendapatkan persen Fe metal dan Ni yang optimal.

## TEORI DASAR

### Bijih Nikel Limonit

Nikel (Ni) merupakan jenis logam yang memiliki peran penting dalam kehidupan sehari-hari dan memiliki banyak aplikasi dalam dunia industri. Nikel biasa digunakan untuk logam paduan seperti *stainless steels* karena dapat meningkatkan ketahanan korosi dan panas serta ketangguhan<sup>[5]</sup>. Bijih nikel diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu bijih nikel sulfida dan nikel laterit.



**Gambar 1.** Perbandingan Antara Bijih Nikel Sulfida dan Laterit: (a) Cadangan Bijih Nikel, (b) Produksi Nikel Dunia<sup>[4]</sup>

Walaupun cadangan bijih nikel laterit di dunia lebih banyak dari pada bijih nikel sulfida, akan tetapi untuk pemanfaatannya bijih nikel sulfida yang lebih banyak seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

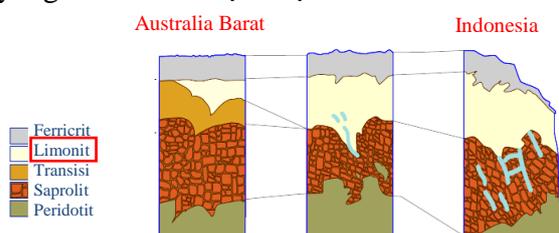
Indonesia memiliki cadangan bijih nikel laterit yang cukup besar terutama di Sulawesi, Halmahera, Papua dan Kalimantan.

**Tabel 1.** Kandungan nikel laterit di dunia<sup>[1]</sup>

Negara	Mt	%Ni	Mt Ni	% total
Australia	2452	0,86	21	13,10
Afrika	996	1,31	13	8,10
Amerika	1131	1,51	17	10,60
Karibia	944	1,17	11	6,90
Indonesia	1576	1,61	25	15,70
Filipina	2189	1,28	28	17,40
Kaledonia baru	2559	1,44	37	22,90
Asia & Eropa	506	1,04	5	3,30
Australia lainnya	269	1,18	3	2,00
Total	12621	1,28	161	100,00

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa cadangan bijih nikel yang ada di Indonesia sebesar 1576 juta ton atau sekitar 15,70% dari cadangan nikel di dunia<sup>[1]</sup>. Namun demikian, dengan jumlah cadangan sebesar itu hanya ada dua perusahaan yang mengolah bijih nikel di Indonesia. Pada tahun 2012, dari 34 juta ton bijih nikel hasil tambang hanya 19 ribu ton yang diproduksi menjadi FeNi dan 71 ribu ton menjadi Ni-Co *matte*<sup>[2]</sup>.

Endapan nikel laterit terbagi menjadi lima zona dengan ketebalan dan warna yang bervariasi seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Profil nikel laterit<sup>[4]</sup>

Lapisan limonit merupakan lapisan berwarna coklat muda seperti pada Gambar 3, ukuran butir lempung sampai pasir, dengan tebal lapisan berkisar antara 1-10 m.



Gambar 3. Bijih nikel limonit

Pada penelitian ini yang digunakan yaitu bijih nikel pada zona limonit. Lapisan limonit didominasi oleh mineral goetit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), selain itu terdapat juga hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), kromit ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) dan kuarsa ( $\text{SiO}_2$ )<sup>[6]</sup>. Bijih nikel limonit memiliki kandungan nikel yang rendah yaitu 0,8-1,5% seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Bijih nikel limonit<sup>[7]</sup>

Deskripsi	%Ni	%Co	%Fe	%Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%MgO
Kadar	0,8 -1,5	0,1 -0,2	40 -50	0,2 - 5	0,5 - 5

Sebagian besar bijih nikel laterit terutama bijih nikel limonit masih diekspor dalam bentuk mentah dan sisanya masih belum dimanfaatkan dengan baik. Padahal walaupun kandungan nikel dalam bijih nikel limonit rendah, tetapi besi yang terkandung di dalamnya dapat dimanfaatkan dalam proses pembuatan besi baja.

## Reduksi Bijih Nikel Limonit

Secara umum proses reduksi dibagi menjadi dua metode, yaitu metode reduksi langsung dan reduksi tidak langsung. Proses reduksi langsung mempunyai ciri-ciri yaitu dilakukan di bawah temperatur titik lebur sehingga produk yang dihasilkan dalam bentuk padatan. Sedangkan reduksi tidak langsung dilakukan di bawah dan di atas temperatur titik lebur sehingga produknya berupa lelehan yang kemudian dicetak.

Reduksi tidak langsung membutuhkan energi yang sangat tinggi dan boros, karena temperatur yang digunakan untuk melelehkan besi sangat tinggi yaitu di atas 1500 °C. Oleh karena temperatur proses terlalu tinggi maka akan banyak logam lain seperti Si dan Mn ikut melebur sehingga sulit untuk dipisahkan dengan Fe. Selain itu, reduktor yang digunakan adalah kokas yang harganya lebih mahal dari batu bara. Jadi, perlu dikembangkan metode reduksi langsung untuk mengatasi hal tersebut.

Berlangsungnya suatu reaksi dalam proses reduksi dapat diketahui dengan cara melihat nilai perubahan energi bebas Gibbs standar ( $\Delta G$ ). Apabila nilai  $\Delta G^\circ$  bernilai negatif maka reaksi reduksi dapat dikatakan berlangsung secara spontan (reaksi akan berlangsung ke arah produk), sebaliknya ketika  $\Delta G^\circ$  bernilai positif maka reaksi reduksi berlangsung tidak spontan (reaksi akan berlangsung ke arah reaktan).

$$\Delta G^\circ = \Delta H - T\Delta S \text{ atau } \Delta G^\circ = -RT \ln K \quad (1)$$

Keterangan:

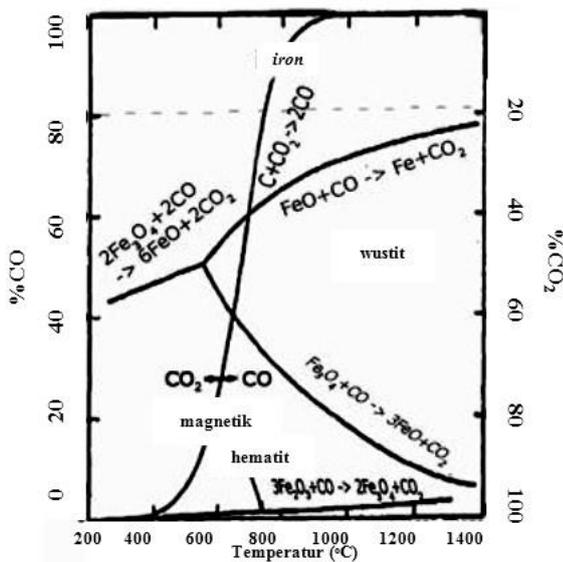
$\Delta G^\circ$  = energi bebas (kal/mol)

$\Delta H$  = entalpi (kal/mol)

$\Delta S$  = perubahan entropi

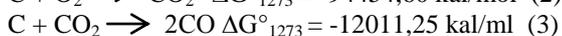
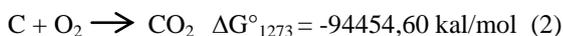
T = temperatur (K)

Proses reduksi sebaiknya dilakukan pada temperatur di atas 900°C karena pada temperatur tersebut proses pembentukan gas CO akan stabil. Kestabilan CO akan menurun seiring dengan menurunnya temperatur. Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa terdapat empat daerah kestabilan, yaitu daerah kestabilan hematit, magnetit, wustit dan besi. Ketika suatu kesetimbangan antara gas CO dan CO<sub>2</sub> berada pada salah satu daerah kestabilan seperti pada daerah wustit, maka hematit dan magnetit akan tereduksi menjadi wustit<sup>[8]</sup>.

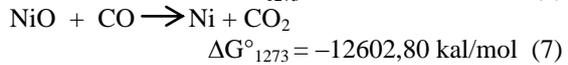
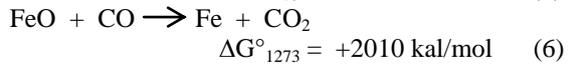
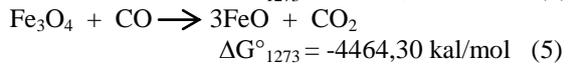
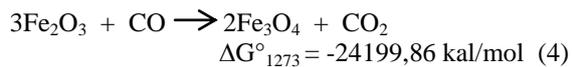


**Gambar 4.** Diagram Bauer Glassner dan Boudouard<sup>[16]</sup>

Pada temperatur di atas 400°C terjadi dehidroksilasi goetit menjadi hematit dengan melepaskan uap air (H<sub>2</sub>O)<sup>[9]</sup>. Reaksi-reaksi reduksi yang terjadi yaitu :  
Reaksi *boudouard*:



Reaksi reduksi oleh gas CO :



Produk dari reduksi langsung bijih nikel limonit disebut FeNi spons. Dinamakan FeNi spons karena jika dilihat menggunakan mikroskop maka akan terlihat bentuk seperti busa spons. Biasanya FeNi spons digunakan sebagai bahan baku pembuatan baja tahan karat dan baja khusus. FeNi spons harus mengandung nikel minimal 4% seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

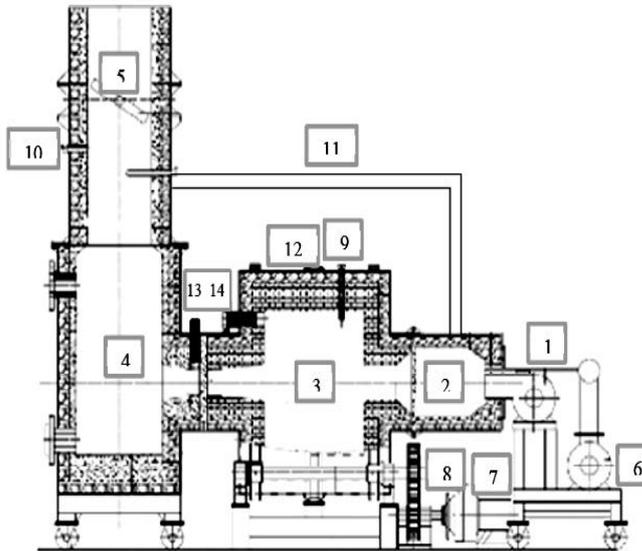
**Tabel 3.** Batasan minimum pengolahan dan pemurnian bijih nikel<sup>[4]</sup>

Bijih	Proses	Batasan minimum
Nikel dan atau kobalt	Reduksi	a. FeNi spons ( <i>Spongsge</i> FeNi)
		≥4%Ni;
a. Saprolit		b. <i>Luppen FeNi</i> ≥4%Ni;
b. Limonit		c. <i>Nuget FeNi</i> ≥4%N

### Rotary Kiln

FeNi spons dapat diproduksi dengan beberapa proses yang berbeda, diantaranya yaitu menggunakan *rotary kiln* dan *shaft furnace*. *Rotary kiln* dipilih karena dapat digunakan untuk proses kontinyu. Selain itu reduksi menggunakan *rotary kiln* memiliki beberapa kelebihan, diantaranya yaitu produk dapat dihasilkan dalam berbagai ukuran dengan kandungan karbon dan sulfur yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan *shaft furnace*. Waktu tinggal yang dibutuhkan dalam *rotary kiln* lebih singkat dan temperatur reduksi yang digunakan lebih rendah dari *shaft furnace* sehingga dapat menghemat energi. Proses reduksi menggunakan *rotary kiln* dapat mentolerir abu dalam batu bara, sedangkan dalam *shaft furnace* abu dapat mengganggu proses reduksi.

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI memiliki *rotary kiln* untuk skala laboratorium atau disebut simulator *rotary kiln* seperti pada Gambar 5.

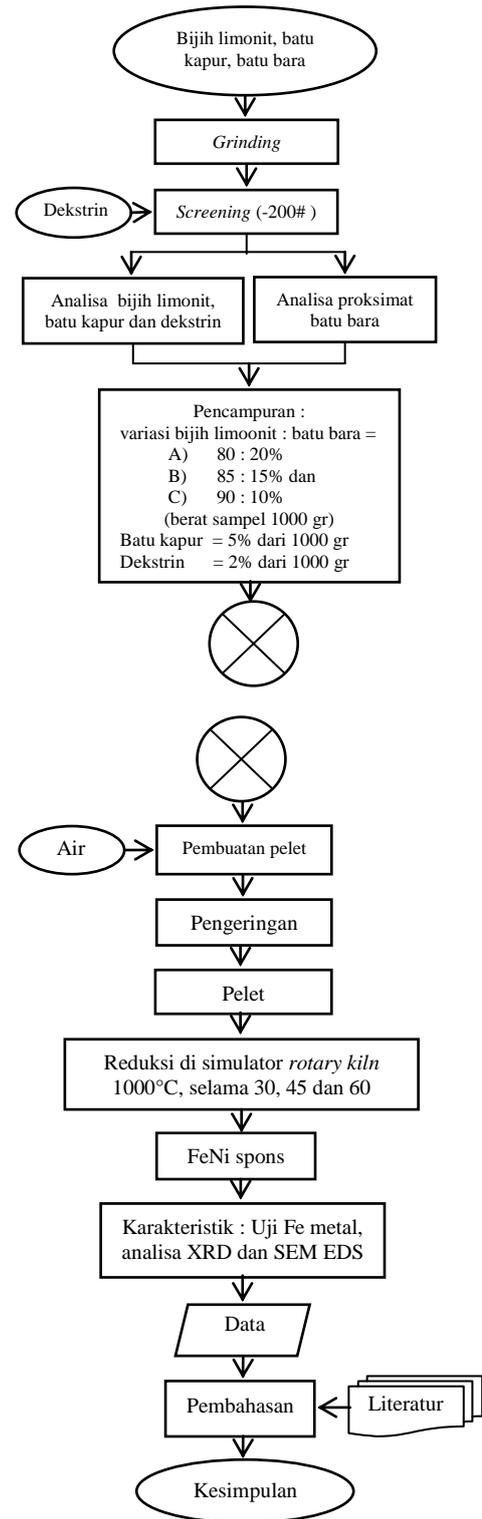


Ket : 1) burner, 2) stove, 3) kiln, 4) cerobong, 5) damper, 6) blower, 7) motor 2PK 380 volt 3 phase, 8) pulley + v belt, 9) dan 10) termokopel, 11) saluran sirkulasi gas, 12) sampling / tapping 1, dan 13) gas sampling tube.

**Gambar 5.** Simulator *rotary kiln* <sup>[10]</sup>

Simulator *rotary kiln* adalah alat pirometalurgi yang digunakan untuk mensimulasikan proses-proses yang terjadi pada setiap zona yang ada di sepanjang *rotary kiln* yang sebenarnya. Simulator *rotary kiln* ini memiliki *kiln* dengan panjang 70 cm dan diameter luar  $\pm 1$  meter dengan kecepatan putaran 2 rpm <sup>[10]</sup>.

## PROSEDUR PERCOBAAN



**Gambar 6.** Diagram alir percobaan bijih nikel limonit

Prosedur percobaan penelitian ini yaitu:

1. Bijih nikel limonit yang masih basah dikeringkan dahulu menggunakan oven.
2. Conto padatan seperti bijih nikel limonit, batu kapur dan batu bara dihaluskan menggunakan alat penggerus.
3. Conto padatan dan dekstrin yang sudah halus diayak menggunakan ayakan ukuran 200#.
4. Analisa kimia bijih limonit, menggunakan alat/metoda X-ray Fluorescence

**Tabel 4.** Variasi komposisi pelet

Komposisi	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	CoO	LOI
	Kadar (%)					
	0,99	0,75	0,42	0,28	0,28	1,19

Sampel	Berat (gram)			
	limonit	batu bara	batu kapur	dekstrin
A	800	200	50	20
B	850	150	50	20
C	900	100	50	20

5. Semua bahan baku yang sudah berukuran -200# ditimbang sesuai dengan variasi komposisi pelet yang digunakan.
6. Semua bahan baku yang sudah ditimbang dimasukkan ke dalam alat *mixer* selama 20 menit.
7. Setelah tercampur, kemudian dilakukan pembulatan menggunakan *balling disc* dengan ditambahkan air secukupnya sampai terbentuk bulatan kecil berukuran 9 - 15 mm.
8. Pelet basah dikeringkan untuk meningkatkan kekuatannya dengan cara dijemur selama 7 hari.
9. Pelet yang sudah kering direduksi menggunakan simulator *rotary kiln* dengan temperatur 1000 °C selama 30, 45 dan 60 menit.
10. FeNi spons yang telah selesai direduksi dilakukan pendinginan menggunakan media air dan kemudian dilakukan pengambilan sampel.

11. Analisa Fe metal pada sampel spons menggunakan metode ICP.
12. Analisa Ni metal pada sampel spons menggunakan metode XRD SEM/EDS.
13. Analisa spons menggunakan XRD, SEM/EDS.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Tabel 5.** Komposisi kimia bijih nikel limonit

Komposisi	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / *Fe	SiO <sub>2</sub>	MgO	NiO / *Ni	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Kadar (%)	45,96 / *32,17	28,21	18,35	1,61 / *1,27	1,96

\*Hasil Pehitungan

**Tabel 6.** Komposisi kimia batu kapur

Komposisi	CaO	MgO	TiO	CrO	MnO	FeO
Kadar (%)	91,22	5,70	0,21	0,07	0,05	0,47

Komposisi	NiO	CuO	ZnO	BaO	ReO
Kadar (%)	1,88	0,16	0,03	0,20	0,05

**Tabel 7.** Komposisi kimia dekstrin

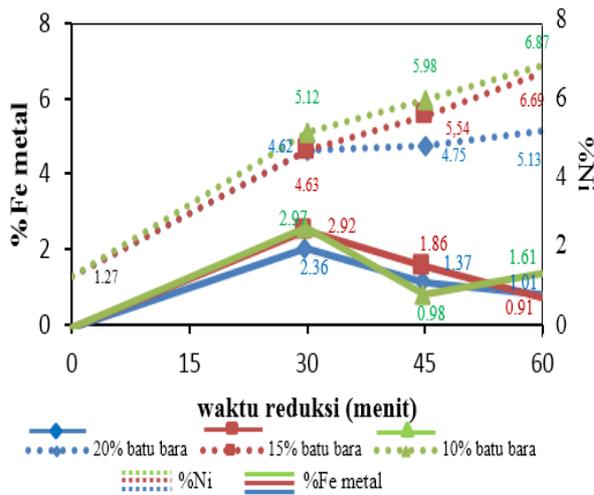
Komposisi	SiO	PO	KO	CaO	TiO	CrO
Kadar (%)	12,74	14,31	4,36	17,63	3,84	1,73

Komposisi	MnO	FeO	CuO
Kadar (%)	2,09	31,59	11,71

**Tabel 8.** Komposisi kimia batu bara bituminus

Parameter	Kadar (%)
<i>Fixed Carbon</i>	59,29
<i>Volatile Matter</i>	30,70
<i>Ash</i>	7,61
<i>Moisture</i>	2,40

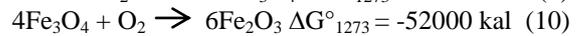
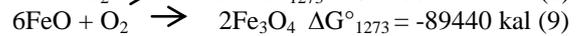
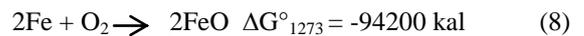


**Gambar 7.** Pengaruh waktu reduksi terhadap persen Fe Metal dan Ni

Pada Gambar 7, persen Fe metal cenderung menurun seiring bertambahnya waktu reduksi. Kondisi tersebut tidak sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa persen Fe metal akan semakin meningkat seiring bertambahnya waktu reduksi. Pada penelitian ini, peningkatan persen Fe metal hanya terjadi pada FeNi spon komposisi 10% batu bara dengan perubahan waktu reduksi dari 45 ke 60 menit yaitu 0,98% menjadi 1,61%.

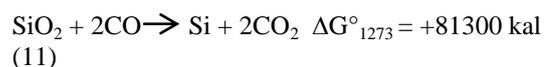
Penurunan persen Fe metal disebabkan terjadinya reaksi oksidasi pada saat melakukan *tapping*. Pada masing-masing komposisi pelet dilakukan tiga kali *tapping* yang dilakukan berurutan pada menit ke 30, 45 dan 60. FeNi spon hasil *tapping* menit ke 30 hanya mengalami *tapping* satu kali, sedangkan FeNi spon pada menit ke 45 mengalami *tapping* dua kali dan pada menit ke 60 mengalami *tapping* tiga kali yaitu *tapping* pada menit ke 30, 45 dan 60. Setiap dilakukan *tapping* selalu ada udara yang masuk ke dalam *kiln* melalui lubang *sampling* karena proses *tapping* yang dilakukan kurang sempurna. Adanya udara yang masuk dapat mengganggu proses reduksi besi oksida karena dari udara yang masuk tersebut terdapat oksigen (O<sub>2</sub>) yang dapat menyebabkan besi oksida yang telah tereduksi menjadi logam Fe kembali teroksidasi oleh O<sub>2</sub> sehingga logam Fe menjadi FeO atau Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lagi

seperti ditunjukkan pada persamaan reaksi (8), (9) dan (10).

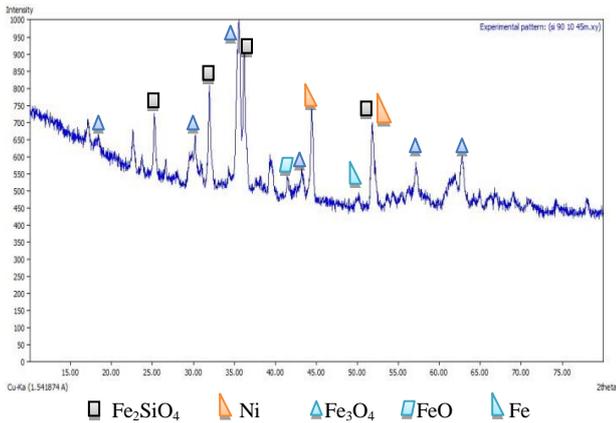


Semakin sering FeNi spon mengalami oksidasi maka logam Fe yang terbentuk akan semakin sedikit. FeNi spon pada menit ke 60 mengalami tiga kali *tapping*, yang artinya mengalami reaksi oksidasi paling banyak, sehingga persen Fe metal yang diperoleh menjadi lebih rendah dari pada persen Fe metal yang diperoleh pada menit ke 45 dan 30.

Persen Fe metal yang diperoleh pada penelitian ini sangat rendah. Persen Fe metal tertinggi hanya mencapai 2,97% yang diperoleh pada waktu reduksi 30 menit untuk FeNi spon komposisi 10% batu bara, sedangkan yang terendah diperoleh pada waktu reduksi 60 menit untuk komposisi penambahan 15% batu bara. Hal ini karena kandungan senyawa pengotor seperti SiO<sub>2</sub> dalam bijih nikel limonit cukup tinggi yaitu 28,21% sehingga mengganggu proses reduksi. Reaksi reduksi SiO<sub>2</sub> memiliki nilai energi bebas positif seperti ditunjukkan pada persamaan reaksi (11), sehingga secara termodinamika SiO<sub>2</sub> sulit untuk direduksi oleh gas CO.



Walaupun reaksi reduksi SiO<sub>2</sub> memiliki nilai energi bebas positif, akan tetapi SiO<sub>2</sub> dapat bereaksi dengan FeO menjadi Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> (Fayalit) sehingga Fe metal menjadi rendah. Untuk membuktikan apakah terbentuk senyawa *faylite* pada proses reduksi di penelitian ini maka dilakukan analisa XRD. Setelah dilakukan analisa XRD dapat dilihat bahwa senyawa yang banyak terbentuk adalah Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, sedangkan FeO dan Fe memiliki intensitas yang sedikit. Hasil analisa XRD dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Hasil analisa XRD pada komposisi 90:10% dan waktu reduksi 45 menit menggunakan software MATCH

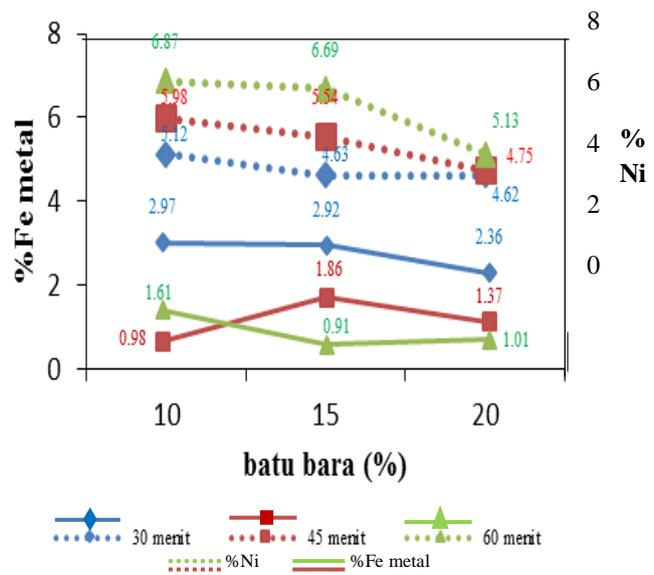
Tidak hanya persen Fe metal, kandungan nikel dalam FeNi spons juga perlu diperhitungkan karena bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah bijih nikel limonit. Menurut peraturan menteri ESDM tahun 2014 tentang batasan minimum pengolahan dan pemurnian bijih nikel di dalam negeri, FeNi spons yang dihasilkan dari bijih nikel limonit harus mengandung nikel minimal 4%. Pada Gambar 8 hanya persen Fe yang menurun seiring bertambahnya waktu reduksi sedangkan persen Ni meningkat seiring bertambahnya waktu reduksi. Perbedaan perubahan tersebut karena antara Fe dan Ni yang memiliki afinitas lebih besar terhadap oksigen adalah Fe sehingga yang akan terlebih dahulu teroksidasi adalah Fe. Hal ini dapat terlihat pada persamaan (8), (9), (10) dan (12).



Dari persamaan (8), (9) dan (12), energi bebas yang dimiliki oleh reaksi oksidasi Fe menjadi FeO dan FeO menjadi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> lebih negatif dari pada reaksi oksidasi Ni menjadi NiO. Energi bebas yang dimiliki oleh reaksi oksidasi Ni sebesar -80797 kal, reaksi oksidasi Fe sebesar -94200 kal dan reaksi oksidasi FeO sebesar -89440 kal. Maka dari itu persen Ni tidak terpengaruh oleh udara luar yang masuk saat *tapping*, karena oksigen yang berasal dari udara luar tersebut terlebih dahulu bereaksi dengan

Fe sehingga reaksi oksidasi Fe lebih cepat berlangsung daripada oksidasi Ni.

Semakin lama proses reduksi berlangsung maka terjadi peningkatan pembentukan gas CO. Meningkatnya pembentukan gas CO dapat menyebabkan nikel oksida yang tereduksi semakin banyak sehingga persen Ni akan semakin tinggi. Persen Ni tertinggi diperoleh pada waktu reduksi 60 menit dengan komposisi penambahan 10% batu bara yaitu sebesar 6,87%, sedangkan yang terendah diperoleh pada waktu reduksi 30 menit dengan komposisi penambahan 20% batu bara yaitu sebesar 4,62%. Persen Ni metal maksimum yang dapat diperoleh, dapat diperkirakan secara hitungan teori. Peningkatan kadar persen Ni metal dalam spons, secara teori maksimal dua kali dari kadar Ni dalam pellet. Jadi, misalnya kalo dalam pellet kadar Nikelnya sebesar 1,27%, maka maksimum persen Ni metal yang dapat diperoleh sebesar 2,54%. Adanya ketidakhomogenan pada sampel spons bisa menyebabkan hasilnya melebihi perkiraan tersebut. Karena sampel tidak homogen, maka hasil tersebut tidak bisa mewakili keseluruhan sampel. Pengaruh komposisi pelet terhadap persen Fe metal dan persen Ni ditunjukkan pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Pengaruh komposisi pelet terhadap persen Fe metal dan Ni

Pada Gambar 9, untuk waktu reduksi 60 menit persen Fe metal menurun dari 1,61% menjadi 0,91% pada penambahan 15% batu bara dan kemudian naik kembali menjadi 1,01% setelah ditambahkan 20% batu bara. Untuk waktu reduksi 45 menit persen Fe metal meningkat dari 0,98% menjadi 1,86% pada penambahan 15% batu bara dan kemudian turun kembali menjadi 1,37% setelah ditambahkan 20% batu bara. Sedangkan untuk waktu reduksi 30 menit persen Fe metal menurun seiring bertambahnya komposisi batu bara. Persen Fe metal tertinggi yaitu 2,97% yang diperoleh pada penambahan batu bara sebanyak 10% dengan lamanya waktu reduksi 30 menit. Pada Gambar 9, persen Ni tertinggi diperoleh pada komposisi penambahan batu bara 10% dengan waktu reduksi 60 menit yaitu sebesar 6,87%. Sedangkan yang terendah diperoleh pada komposisi penambahan batu bara 20% dengan waktu reduksi 30 menit yaitu sebesar 4,62%.

Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi batu bara yang ditambahkan, maka persen Fe metal dan Ni cenderung menurun. Hal ini karena gas CO yang dihasilkan berlebih sehingga proses reduksi berlangsung lebih cepat. Proses reduksi yang terlalu cepat menyebabkan terbentuknya lapisan padat besi metal di permukaan FeNi spons. Lapisan padat besi metal ini menyebabkan pori-pori pada permukaan FeNi spons tertutup yang dapat mengganggu proses difusi gas CO ke bagian inti. Kondisi seperti ini menyebabkan kecepatan difusi gas CO semakin lambat dan konsentrasi gas CO pada kesetimbangan CO-CO<sub>2</sub> menurun<sup>[8]</sup>. Kesetimbangan gas CO juga terganggu akibat terjadi penurunan temperatur *kiln* pada saat *tapping*. Pada diagram kesetimbangan gas CO-CO<sub>2</sub>, kestabilan pembentukan gas CO akan menurun seiring menurunnya temperatur. Apabila konsentrasi gas CO menurun maka konsentrasi gas CO<sub>2</sub> meningkat, sehingga pembentukan Fe metal akan menjadi lebih

sulit dan memungkinkan untuk terjadinya reoksidasi seperti pada persamaan (13).



## KESIMPULAN

1. Semakin lama waktu reduksi maka persen Fe metal yang diperoleh cenderung menurun, tetapi tidak sama halnya dengan persen Ni yang semakin meningkat seiring lamanya waktu reduksi.
2. Semakin banyak batu bara yang ditambahkan maka persen Fe metal dan Ni semakin menurun.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dalvi, A. Bacon, W. & Osborne, R. 2004. *The Past and the Future of Nickel Laterites*. Toronto: PDAC 2004 International Convention.
- [2] Direktorat Jenderal Mineral dan Batu bara, Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2012.
- [3] Standar Nasional Indonesia. 07 - 0942- 1989.
- [4] Peraturan Menteri ESDM. No 1 Tahun 2014.
- [5] Jean Cunat. Pierre. 2004. *Alloying Elements in Stainless Steel and Other Chromium-Containing Alloys*.
- [6] Cornelius S.H dan Cornelis Klein. *Manual of Mineralogy*.
- [7] Kruger, P Von. Silva, C A. Batista, Cludio Vieira. Araujo, F G S. Seshadri, V. 2010. „Relevant Aspects Related to Production of Iron Nickel Alloys (Pig Iron Containing Nickel) in Mini Blast Furnace”. UFOP Federal University of Ouro Preto. Brazil.
- [8] Ross HU. 1980. *Physical Chemistry: Part I Thermodynamics. Direct Reduced Iron Technology and Economics of Productions and Use*. Warrendale : The Iron and Steel Society.

- [9] Kurt Mayer. 1980. *Peletizing of Iron Ore*. Springer-Verla Berlin Heidelberg New York.
- [10] DA. Iwan, R. Binudi. 2013. „Percobaan Pemanasan Awal Tanpa Beban pada Simulator Rotary Kiln”, *Prosiding Seminar Material Metalurgi*, hal 193-200.