

PENGARUH TEMPERATUR DAN JENIS REDUKTOR PADA PEMBUATAN SPONGE IRON MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *DIRECT REDUCED IRON* DALAM ROTARY KILN

Effects of Temperature and Reductor on the Making of Sponge Iron Using Direct Reduced Iron Technology in a Rotary Kiln

SUHARTO¹, YAYAT I. SUPRIYATNA¹, M. AMIN¹, SOESAPTRI² dan MUHAMAD LUTFI²

¹ UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung – LIPI, Lampung, Indonesia
Jl. Ir. Sutami KM.15 Tanjung Bintang - Lampung Selatan
Telp.(0721) 350054 Fax.(0721) 35005
email : harto_berg@yahoo.com

² Jurusan Teknik Metalurgi - Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl.Ir.Sutami KM.15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan

SARI

Telah dilakukan penelitian pengaruh temperatur dan jenis reduktor pada pembuatan *sponge iron* dengan teknologi *Direct Reduced Iron* (DRI) dalam *rotary kiln*. Perbandingan komposisi bahan baku yang digunakan adalah bijih besi halus : reduktor (batubara dan arang kayu) : bentonit = 77:20:3, dengan variabel temperatur reduksi 900, 1050, dan 1200°C, sedangkan variabel jenis reduktor adalah batu bara subbituminus dan arang kayu. Dilakukan analisis kimia terhadap bahan dan produk yang dihasilkan untuk mengetahui keberhasilan proses dan kualitas produk. Hasil yang didapat, reduktor arang kayu sedikit lebih baik dibanding batu bara. Hal ini ditunjukkan pada temperatur 1200°C, dengan reduktor arang kayu dan waktu reduksi 2 jam menghasilkan *sponge iron* dengan persen metalisasi sebesar 97,43% lebih tinggi dibanding *sponge iron* dengan reduktor batu bara sebesar 96,7%. Semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi pula persentase metalisasi yang didapat pada hasil reduksi dengan penggunaan reduktor yang sama. Metalisasi tertinggi didapat pada temperatur 1200°C menggunakan reduktor arang kayu, yaitu sebesar 97,43%. Dalam mendukung teknologi ramah lingkungan, pemanfaatan produk samping perkebunan dapat menggunakan reduktor seperti arang cangkang sawit dan juga dapat dilakukan penggantian bijih halus menggunakan pasir besi sebagai sumber besi.

Kata kunci: bijih besi halus, batubara, arang kayu, *rotary kiln*, *sponge iron*

ABSTRACT

Research on the making *sponge iron* using *Direct Reduced Iron* (DRI) in a *rotary kiln* has been studied because of its industrial importance. The comparison of material composition of such fine iron ore: reductant (coal and charcoal): bentonite were 77: 20: 3. The effects of variation in temperature reduction (900, 1050, and 1200°C) and types of reductants (subbituminous coal and charcoal) were examined. Chemical analysis of the raw materials and products were done to examine the process performance and quality of the product. The results show that the use of charcoal as a reductant is slightly better than coal. By the charcoal as reductant for 2 hours of reduction times at 1200°C, the percentage of metallization is found 97.43%, which is higher compared to a coal as reductor with 96.7% of metallization. The percentage of metallization increases with increase in temperature using similar reductant. The highest metallization is obtained at 1200°C using charcoal as reductant (97.43%). To support green technologies, some by-products of plantation such as shell of palm oil might be used as reductor and also iron sand can be used as a source of iron.

Keywords: fine iron ore, coal, charcoal, *rotary kiln*, *sponge iron*

PENDAHULUAN

Bijih besi adalah campuran mineral berharga yang mengandung besi dengan mineral-mineral lainnya yang disebut *gaunge* (Utomo, 2011). Berdasarkan bentuk, bijih besi dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu bongkahan (*lump*) dan pasir. Disebutkan dalam data Kementerian ESDM tahun 2010 Indonesia memiliki sumber daya sekitar 2 milyar ton bijih besi dalam bentuk *lump*, termasuk bijih besi primer di dalamnya dengan sumber daya mencapai 557 juta ton. Bijih besi magnetik masuk ke dalam jenis bijih besi primer. Indonesia tercatat memiliki 557.185.779 ton pada tahun 2010 (Utomo, 2011). Kekayaan sumber bijih besi Indonesia belum diimbangi dengan optimalisasi pemanfaatannya, sebagai contoh perusahaan baja nasional pun masih ada yang mengandalkan impor bahan baku bijih besi dalam bentuk pelet dari Brazil dan Swedia (Haryono, 2011).

Lahirnya UU No. 4 Tahun 2009 tentang pertambangan mineral dan batu bara yang mewajibkan pemurnian bijih dilakukan di dalam negeri dan penghentian ekspor bijih kadar rendah dengan kewajiban pemberlakuan paling lambat 12 Januari 2014 dan juga dikuatkan dengan Peraturan Menteri ESDM No. 7 Tahun 2012, maka peluang untuk pengolahan bijih besi menjadi *sponge iron* untuk bahan baku pembuatan baja memiliki potensi yang semakin besar.

Provinsi Lampung memiliki cadangan bijih besi magnetit yang terdapat di beberapa wilayah di antaranya Gunung Waja, sumberdaya terukur 173.743 ton dengan kadar 67,45% Fe; Wai - Wai : 835.000 ton dengan kadar 48,15 - 67,25% Fe, Ranggal : 1.003.000 ton dengan kadar 43,50-66,04%Fe (Ishlah, 1996). Pengambilan bijih besi di pertambangan menghasilkan produk bijih halus sekitar 30% dari produk tambang akibat aktifitas penggalian dengan alat berat. Pembuatan pelet bijih besi dengan bijih halus sebagai bahan bakunya bisa dilakukan untuk optimalisasi pemanfaatan bijih halus hasil aktivitas tambang tersebut. Pelet bijih besi bisa digunakan sebagai umpan proses pembuatan *sponge iron*.

Pembuatan baja diawali dengan proses reduksi bijih besi menjadi *sponge iron* kemudian dilebur dalam tungku listrik. Dua jenis proses reduksi dikenal dengan berbasis gas dan berbasis batubara. Proses reduksi dengan berbasis gas dilakukan oleh salah satu perusahaan baja nasional dengan bahan baku

reduktor dari gas alam yang direformasi menjadi gas reduktor hidrogen (Feinman, 1999). Namun yang menjadi kendala adalah harga gas alam yang mahal, sedangkan bahan baku mengambil 40-60% dari total biaya produksi sehingga produk baja yang dihasilkan sulit bersaing. Teknologi berbasis batubara menawarkan solusi lain dengan memakai batu bara sebagai reduktor. Indonesia memiliki banyak sumber daya batu bara sebesar 105 miliar ton dengan cadangan 21 miliar ton, dan cadangan sebesar 18,1 miliar ton berada di Pulau Sumatera bagian selatan termasuk Provinsi Lampung (Anonim, 2005).

Penelitian dengan topik pembuatan *sponge iron* menjadi penting karena besi berkaitan langsung dengan pembuatan baja, sedangkan konsumsi baja menjadi indikator kemajuan suatu negara. Semakin tinggi konsumsi baja suatu negara akan diikuti oleh tingginya nilai *Gross Domestic Product* (GDP) negara tersebut (Sarangi dan Sarangi, 2011).

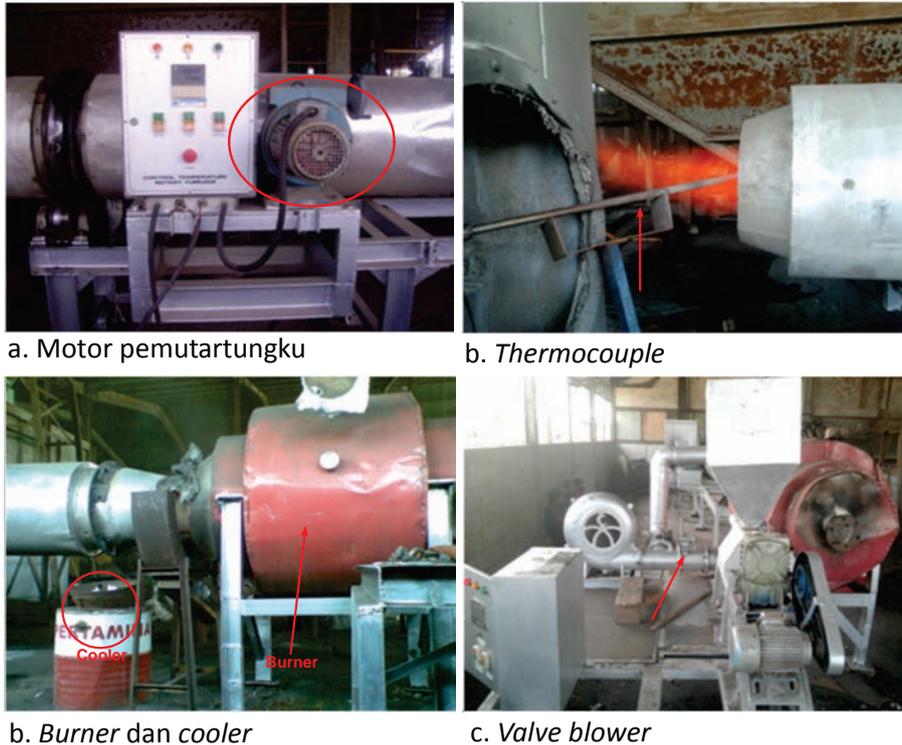
Pada penelitian pembuatan *sponge iron* ini, fokus penelitian adalah untuk memperoleh informasi mengenai pengaruh temperatur reduksi dan penggunaan jenis reduktor terhadap persen metalisasi *sponge iron* yang dihasilkan dari reduksi pelet bijih besi halus magnetit menggunakan tungku putar.

METODOLOGI

Pada penelitian ini terlebih dahulu dilakukan analisis komposisi kimia terhadap bahan baku pembuatan pelet komposit. Pada bijih besi halus magnetit dilakukan analisis XRF untuk mengetahui kandungan Fe total, untuk bahan reduktor (batubara dan arang kayu) dilakukan analisis proksimat untuk mengetahui kadar *fixed carbon* (Speight, 2005).

Bijih besi halus magnetit, batubara, arang kayu dan bentonit dibuat menjadi pelet. Bahan baku untuk pembuatan pelet terlebih dahulu dilakukan penggilingan menggunakan *ball mill* dan pengayakan menggunakan ayakan dengan ukuran 100 mesh. Komposisi pembuatan pelet komposit adalah bijih halus magnetit 77%, reduktor 20%, bentonit 3% dengan menggunakan mesin *balling drum* yang kemudian dikeringkan dengan cara dijemur.

Dalam proses ini, material yang terdiri dari *bijih bongkah* atau pelet, batu bara, *recycle char* dan *flux* diumpahkan ke dalam tungku putar. *Flux* dibutuhkan untuk mengikat sulfur dari batu bara. Material bergerak menuju bagian pengeluaran tungku putar



a. Motor pemutartungku

b. Thermocouple

b. Burner dan cooler

c. Valve blower

Gambar 1. Tungku putar yang digunakan dalam percobaan

(*discharge end*) dan secara bertahap dipanaskan hingga temperatur 1000-1100°C. Pada zona *pre-heating*, material dipanaskan hingga 980°C oleh aliran gas panas di *freeboard* yang berlawanan arah dengan jalannya material. Untuk meningkatkan efisiensi tungku, zona *preheating* dibuat pendek sekitar 40 hingga 50% dari panjang tungku (Kuni dkk., 2008). Ketika umpan telah mencapai temperatur 900°C, reduksi mulai berlangsung seperti yang akan dibahas dalam termodinamika reduksi langsung berbasis batubara.

Variabel penelitian adalah temperatur reduksi (suhu 900, 1050 dan 1200°C) dan jenis reduktor batu bara subbituminus dan arang kayu. Proses reduksi menggunakan tungku putar dengan dia-meter dalam 25 cm, panjang 600 cm selama 2 jam. Berat percontoh 20 kg untuk masing-masing variabel dan dilakukan secara kontinyu.

Proses pengaturan temperatur tungku putar dilakukan dengan merubah posisi *valve blower* dan kuantitas batu bara dari *coal pulverizer*. Setelah 2 jam, *sponge iron* dikeluarkan dan didinginkan dalam *cooler* hingga temperatur ruang, untuk mencegah reoksidasi. *Sponge iron* dipisahkan dari material pengotor lain kemudian dilakukan pengujian %Fe metal dan karbon sisa.

Analisis Fe total dan Fe metal dilakukan di laboratorium CCIC dengan metode MSG 01 - 008 dan analisis karbon sisa dilakukan di Laboratorium PT. Krakatau Steel menggunakan *carbon analyzer*. Persentase metalisasi dihitung berdasarkan perbandingan Fe *metal* pada produk *sponge iron* terhadap Fe total dalam bahan baku.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian reduksi bijih besi dibutuhkan untuk mengetahui efisiensi reduktor sebagai penyedia karbon dalam reaksi reduksi. Temperatur pun menjadi hal yang berkaitan dengan efisiensi, karena makin tinggi temperatur maka kalori yang dibutuhkan semakin banyak. Variasi dalam penelitian ini melibatkan dua hal tersebut yang menjadi salah satu faktor pendukung keberhasilan reduksi bijih besi dilihat dari tingkat metalisasi *sponge iron* yang dihasilkan.

Variabel temperatur yang digunakan adalah 900, 1050 dan 1200°C dengan penggunaan dua jenis reduktor yang berbeda yaitu batubara (*fixed carbon* 44,25%) dan arang kayu (*fixed carbon* 76,85%). Sedangkan variabel tetap yang digunakan adalah waktu reduksi pelet dalam tungku putar yaitu selama 2 jam.

Tabel 1 menyajikan hasil analisis proksimat bahan baku yang berupa arang kayu dan batubara. Hasil analisis XRF bijih besi halus dan hasil analisis produk *sponge iron* dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3. Dari Tabel 2 dan 3 dapat diketahui peningkatan kadar Fe total.

Kadar Fe akhir yang dicapai rata-rata sebesar 59,50%. Kecilnya kadar Fe ahir yang dicapai dikarenakan kadar Fe awal yang terlalu rendah dalam bahan bijih besi halus sehingga proses peningkatannya sangat dipengaruhi oleh pengotor-pengotor lainnya. Selain itu proses reduksi membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan bijih yang mempunyai kadar Fe lebih tinggi dengan pengotor yang lebih sedikit (Tabel 4).

Tabel 1. Perbandingan hasil analisis proksimat reduktor arang kayu dengan batu bara

No	Percontoh	% Hasil Analisis Proksimat			
		Moisture	VM	Ash	FC
1	Arang kayu	7,80	18,75	4,37	76,85
2	Batu Bara	18,96	40,22	15,48	44,25

Tabel 2. Hasil analisis XRF bijih besi halus

Komposisi	Kadar (%)	Komposisi	Kadar (%)
Fe ₂ O ₃	71,12	MnO ₂	3,21
SiO ₂	18,12	TiO ₂	0,11
Al ₂ O ₃	3,47	P ₂ O ₅	0,20
K ₂ O	0,10	BaO	0,01
CaO	0,11	CuO	0,01
MgO	2,90	Na ₂ O	0,04

Tabel 3. Hasil analisis Fe total dan logam Fe metal produk *sponge iron*

Percontoh	Fe total (%)	Fe metal (%)	Derajat metalisasi (%)
AK 900	61,81	59,26	95,87
AK 1050	56,11	53,87	96,01
AK 1200	60,59	59,04	97,43
BB 900	61,81	54,31	95,62
BB 1050	56,11	57,16	95,81
BB 1200	60,59	57,71	96,70

Ket: Ak : Arang Kayu
BB : Batubara

Tabel 4. Data *upgrading* Fe sebelum dan sesudah menjadi *sponge iron*

No.	Temperatur (°C)	Fe awal	Fe akhir	Peningkatan
1	900	49,78%	61,81%	12,03%
2	1050	49,78%	56,11%	6,33%
3	1200	49,78%	60,59%	10,81%
Rata - rata =		49,78%	59,50%	9,72%

Pengaruh Temperatur Terhadap % Metalisasi

Parameter keberhasilan proses reduksi dilihat dari persentase metalisasi menyatakan perbandingan antara jumlah logam Fe (Fe yang telah terpisah dari oksigen) dengan jumlah Fe total (Fe keseluruhan yang ada dalam percontoh). Reaksi reduksi besi oksida oleh gas CO merupakan reaksi endotermik (Stephenson dan Smailer, 1980).



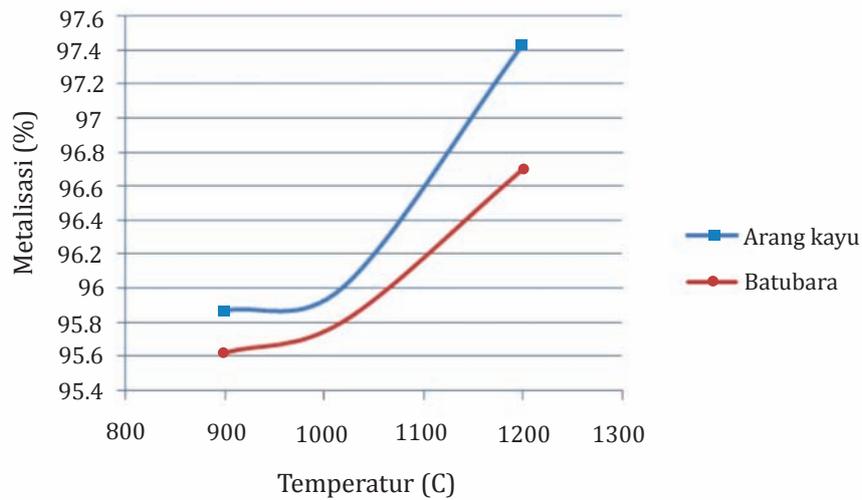
$$\Delta H^{\circ}_{1200K} = +130,9 \text{ Kal/mol} \dots \dots \dots (1)$$

Reaksi (1) reduksi magnetit menjadi wustit bersifat endotermik, yang artinya membutuhkan panas. Maka temperatur mengambil peran penting dalam proses reduksi bijih besi.

Penelitian dilakukan pada temperatur di atas 727°C, yaitu 900°C agar tekanan parsial gas CO lebih besar dari 60,89%. Pada Gambar 2 menunjukkan pengaruh temperatur reduksi terhadap persen metalisasi *sponge iron* dengan reduktor batubara dan arang kayu.

Pada Gambar 2 ditunjukkan hasil reduksi pelet komposit arang kayu dengan waktu reduksi 2 jam dalam tungku putar. Dapat diketahui bahwa semakin tinggi temperatur reduksi yang digunakan maka persen metalisasi semakin tinggi. Persen metalisasi tertinggi dicapai pada temperatur 1200°C, yaitu sebesar 96,7 %.

Pada reduksi pelet komposit arang kayu menjadi *sponge iron* masih terjadi tren kurva yang terus menaik seiring dengan penambahan temperatur reduksi. Metalisasi yang paling tinggi sebesar 97,43% dihasilkan pada temperatur 1200°C. Persen metalisasi ini lebih tinggi dibanding dengan *sponge iron* hasil reduksi pelet komposit magnetit-batu bara. *Sponge iron* hasil reduksi pada tempertur 900°C hanya menghasilkan metalisasi 95,62%, tetapi adanya



Gambar 2. Grafik pengaruh temperatur terhadap % metalisasi *sponge iron* dengan reduktor batubara dan arang kayu

peningkatan logam Fe mengindikasikan terjadi reaksi reduksi pelet komposit batu bara tersebut.

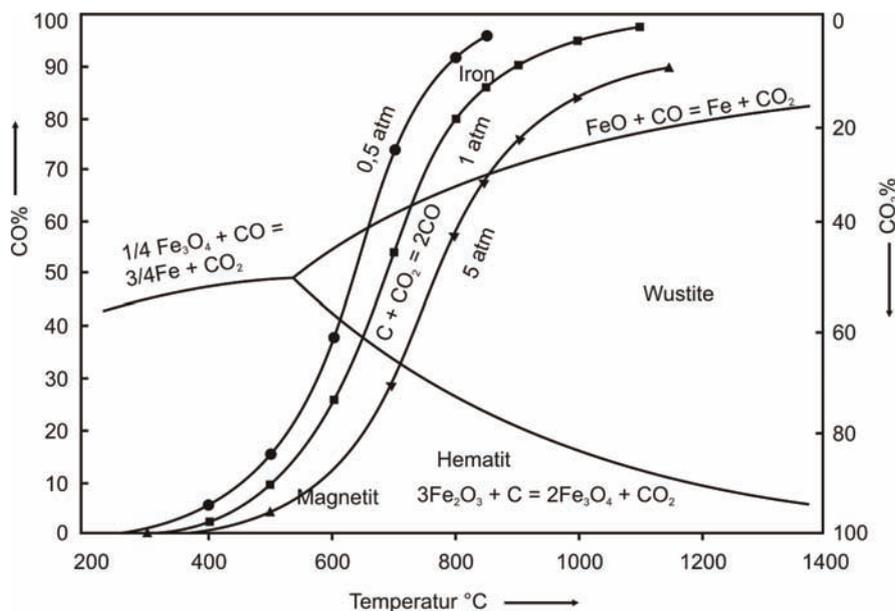
Hal ini dapat dijelaskan berdasarkan pada Gambar 3 yang menampilkan kurva kesetimbangan Boudouard memotong kurva *wustite-iron* pada temperatur 700°C dan memotong kurva *magnetite-wustite* pada temperatur 650°C. Itu berarti secara termodinamika wustit tidak dapat direduksi pada temperatur di bawah 700°C dan magnetit tidak

dapat direduksi pada temperatur di bawah 650°C, karena CO berdekomposisi menjadi CO₂ dan C (Stephenson dan Smailer, 1980).

Kesetimbangan reduksi wustit terjadi apabila tekanan parsial dan komposisi gas sebagai berikut (Stephenson dan Smailer, 1980):

$$P_{CO} = 0,6089 \text{ atm}$$

$$P_{CO_2} = 0,3911 \text{ atm}$$



Gambar 3. Efek tekanan terhadap kesetimbangan reaksi Boudouard (Stephenson dan Smailer, 1980)

Temperatur juga menentukan komposisi tekanan gas parsial CO/CO₂; pada temperatur 1000 K perbandingan tekanan gas parsial CO dengan CO₂ adalah 60,89% : 39,11 % (Stephenson dan Smailer, 1980), sehingga minimal pada temperatur 727°C reduksi wustit terjadi secara eksotermik.

Metalisasi yang dihasilkan dapat memenuhi standar nasional Indonesia untuk *sponge iron* yakni minimum 85% (Muda, 2011).

Pengaruh Jenis Reduktor terhadap % Metalisasi

Pada penelitian ini digunakan dua jenis reduktor yaitu batu bara sub bituminus Lampung dan arang kayu dengan kandungan *fixed carbon* masing-masing 44,25 dan 76,85%. Batubara subbituminus dipilih sebagai salah satu reduktor dalam penelitian ini mengacu pada reduktor yang biasa digunakan dalam tungku putar yaitu batubara *non-coking* dan lignit. Kandungan *fixed carbon* yang diharapkan berkisar 50% (Sarangi dan Sarangi, 2011). Arang kayu dipilih sebagai reduktor pembanding batu bara karena memiliki *fixed carbon* yang lebih tinggi untuk dilihat pengaruhnya terhadap persentase metalisasi dan bahan baku arang kayu yang bersifat lebih *renewable* dibanding batubara. Hasil dari *sponge iron* dengan kedua reduktor yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 2. Proses reduksi pelet komposit dilakukan pada temperatur reduksi 1200°C selama 2 jam. Tampak kurva merah mewakili pelet komposit dengan reduktor arang kayu menghasilkan *sponge iron* dengan metalisasi yang lebih tinggi sebesar 97,4% dibanding pelet komposit dengan reduktor batu bara subbituminus Lampung yang hanya menghasilkan *sponge iron* dengan dengan metalisasi tertinggi sebesar 96,7% (kurva biru) dengan kecenderungan yang terus menaik juga seiring dengan peningkatan temperatur reduksi.

Pada Tabel 5 diperlihatkan data analisis sisa karbon menggunakan alat *Carbon Determinator* di Laboratorium Kimia PT KS – Cilegon.

Tabel 5. Hasil Analisa Sisa karbon *Sponge iron*

Jenis Reduktor	Temperatur (°C)	% Karbon
Batu Bara	900	0,033
	1050	0,057
	1200	0,018
Arang Kayu	900	2,593
	1050	4,935
	1200	0,038

Fixed carbon menjadi parameter kualitas suatu batu bara atau reduktor. Secara umum reduktor dengan *fixed carbon* tinggi memiliki kalori yang tinggi pula. Jumlah karbon dalam batu bara menyediakan reduktor gas CO melalui reaksi Boudouard (Reaksi 2). Kebutuhan reduktor harus mempertimbangkan kandungan *fixed carbon* dalam suatu batubara; kandungan *fixed carbon* untuk reduktor diharapkan berkisar 50% (Sarangi dan Sarangi, 2011). Data kandungan *fixed carbon* berguna dalam menghitung kebutuhan berat reduktor dalam suatu proses reduksi secara stoikiometri.



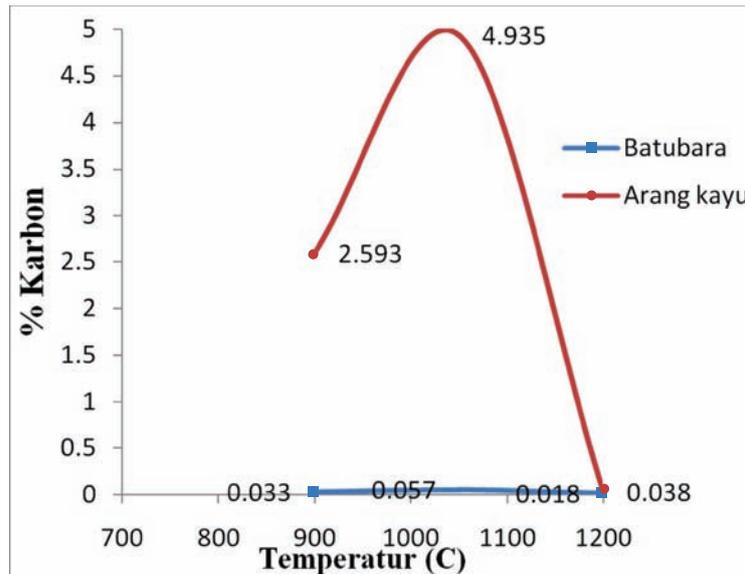
Adanya perbedaan persentase sisa karbon antara *sponge iron* yang dihasilkan dari reduksi pelet batubara dengan yang dihasilkan dari reduksi pelet arang kayu disebabkan karena arang kayu memiliki kandungan *fixed carbon* yang lebih banyak sehingga memiliki sisa karbon yang lebih tinggi dibanding batu bara dan tingkat reaktifitas dari jenis reduktor yang digunakan. Hasil analisis karbon sisa dari *sponge iron* dengan pereduksi batubara memiliki sisa karbon yang kecil 0,033, 0,057 dan 0,018 %. Jika melihat grafik pada Gambar 4 menunjukkan bahwa kadar karbon sisa pada suhu 1050°C lebih besar daripada suhu 900°C dan 1200°C. Hal ini dimungkinkan karena proses reduksi pelet bijih besi pada suhu 1050°C tidak berlangsung sempurna, sehingga jumlah karbon yang tidak terpakai untuk mereduksi cukup besar. Hal ini terbukti dari hasil logam Fe pada produk *sponge iron* pada suhu 1050°C lebih rendah dibandingkan dengan hasil *sponge iron* pada temperatur reduksi yang lainnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari percobaan-percobaan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Kesimpulan

1. Reduktor arang kayu sedikit lebih baik dibanding batu bara. Pada temperatur yang sama dengan waktu reduksi 2 jam memiliki persentase metalisasi yang lebih tinggi. Pada temperatur 1200°C *sponge iron* dengan reduktor arang kayu memiliki persentase metalisasi sedikit lebih tinggi sebesar 97,43% dibanding *sponge iron* dengan reduktor batu bara sebesar 96,7%.
2. Semakin tinggi temperatur reduksi, maka menghasilkan pula persentase metalisasi yang



Gambar 4. Grafik sisa karbon sponge iron dengan reduktor batubara dan arang kayu

lebih tinggi untuk penggunaan reduktor yang sama. Persentase metalisasi tertinggi didapat pada temperatur 1200°C dengan penggunaan reduktor arang kayu, yaitu sebesar 97,43%.

Saran

1. Melakukan penelitian dengan menggunakan jenis reduktor yang lebih inovatif seperti pemanfaatan cangkang sawit.
2. Melakukan penelitian proses reduksi menggunakan pasir besi sebagai sumber bijih besi seperti yang dilakukan oleh New Zealand Steel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Riset dan Teknologi yang telah mendanai dan UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung – LIPI yang mendukung kegiatan penelitian ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2005. *Sumber daya batubara*; World Coal Institute, Inggris. Halaman 1-43.

Feinman, J., 1999. *Direct reduction and smelting processes*, Chapter 11, J. Feinmen and Associates, Inc. Pittsburgh, 746-748.

Haryono, D., 2011. *Bahan ajar pirometalurgi*, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (tidak diterbitkan).

Kuni, D. and Chisaki, T., 2008, *Rotary reactor engineering*, Elsevier B.V. Oxford, 105-109.

Muda, I., 2011. *Trial produksi pembuatan sponge iron dari fines pellet ukuran 3-5 mm dengan menggunakan rotary kiln*, SNBB ITB (tidak diterbitkan).

Sarangi, A. dan Sarangi, B., 2011. *Sponge iron production in rotary kiln*; PHI Learning, New Delhi, Halaman 183-193.

Speight, J.G., 2005. *Handbook of coal analysis*, Vol 166, John Wiley and Sons, Inc: Canada, 60-61.

Stephenson, R.L. and Smailer, R.M., 1980. *Direct reduced iron technology and economics of production and use*, Warrendale - Pa : The iron & Steel Society, AIME.

Teuku, I., 1996. *Potensi bijih besi Indonesia dalam kerangka pengembangan klaster industri baja*, Direktorat ESDM, Bandung, Halaman 1-12 (tidak diterbitkan).

Utomo, W., 2011. *Pengantar teknologi besi baja*, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon (tidak diterbitkan).