



Analisa Penggunaan Beberapa Jenis Arang Lokal Sebagai Reduktor dalam Proses Pembuatan Besi Spon (*Sponge Iron*) dari Bahan Baku Pasir Besi Menggunakan Metode Reduksi Langsung

Fakhreza Abdul¹ dan Hairul Wasik²

Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111 Indonesia^{1,2}

INFORMASI ARTIKEL

Jurnal IPTEK – Volume 22
Nomer 2, Desember 2018

Halaman:
43 – 50
Tanggal Terbit :
20 Desember 2018

DOI:
<https://dx.doi.org/10.31284/j.ipitek.2018.v22i2.417>

ABSTRACT

The utilization of iron sand as raw material for the iron and steelmaking is a solution to the small domestic steel production. Direct reduction method is a method commonly applied to process iron sand. Direct reduction is carried out by utilizing a carbothermic reduction reaction between carbon in coal and iron oxide in iron sand. However, the use of coal as a reducing agent currently causes contra, namely about its impact on the environment. Thus, the use of charcoal to replace either partly or overall use of coal is an alternative solution. This research aims to analyze the effect of various types of local charcoal (coconut shell, Laban wood and Asem wood) as reducing agents in the direct reduction process of iron sand. The response to compare variations in the types of charcoal is percentage of Fe total and the percentage of metallization degree obtained. The direct reduction process is carried out at 1350°C and holding time for 10 hours. The products of the direct reduction process were then tested using EDX, metallization degrees and XRD to determine the percentage of Fe total, the percentage of Fe metal and the compounds formed. As a result, Laban charcoal is the best charcoal for the direct reduction of iron sand. Using Laban wood charcoal, a sponge iron with a total Fe content of 64.145% and a metallization degree of 88.54% can be obtained.

Keywords: Local Charcoal Variation; Direct Reduction; Iron Sand; Sponge Iron

EMAIL

fakhrezaabdul@gmail.com
hairulwasik@gmail.com

PENERBIT

LPPM- Institut Teknologi
Adhi Tama Surabaya
Alamat:
Jl. Arief Rachman Hakim
No.100,Surabaya 60117,
Telp/Fax: 031-5997244

Jurnal IPTEK by LPPM-ITATS is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

ABSTRAK

Pemanfaatan pasir besi sebagai bahan baku pembuatan besi dan baja merupakan solusi atas masih kecilnya produksi baja dalam negeri. Metode reduksi langsung merupakan metode yang umumnya diaplikasikan untuk mengolah pasir besi. Reduksi langsung dilakukan dengan memanfaatkan reaksi reduksi karbotermik antara karbon dalam batu bara dengan besi oksida dalam pasir besi. Namun, penggunaan batu bara sebagai reduktor saat ini menimbulkan kontra, yaitu tentang dampaknya terhadap lingkungan. Sehingga, pemanfaatan arang untuk mengganti baik sebagian ataupun keseluruhan penggunaan batu bara menjadi alternatif solusi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi beberapa jenis arang lokal (arang tempurung kelapa, kayu Laban dan kayu Asem) sebagai reduktor dalam proses reduksi langsung pasir besi. Adapun respon untuk membandingkan variasi jenis arang tersebut ialah kandungan Fe total dan derajat metalisasi yang diperoleh. Proses reduksi langsung dilakukan pada temperatur 1350°C dan waktu tunggu selama 10 jam. Hasil proses reduksi kemudian diuji menggunakan EDX, derajat metalisasi dan XRD untuk mengetahui kandungan Fe total, kandungan Fe logam dan senyawa yang terbentuk. Hasilnya, arang kayu Laban merupakan arang yang paling baik untuk proses reduksi langsung pasir besi. Dengan menggunakan arang kayu Laban, dapat diperoleh besi spon dengan kandungan Fe total sebesar 64,145% dan derajat metalisasi sebesar 88,54%.

Kata kunci: Variasi Arang Lokal; Reduksi Langsung; Pasir Besi; Besi

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan sebuah negara kepulauan yang memiliki cadangan mineral besi yang melimpah. Terdapat tiga jenis bahan baku besi yang terdapat di Indonesia, antara lain bijih besi primer, besi laterit dan pasir besi. Dari ketiga jenis bahan baku besi tersebut, pasir besi merupakan yang terbesar dengan cadangan sebesar 2121 juta ton. Hal tersebut jauh lebih banyak dibandingkan potensi bijih besi primer sebesar 881,8 juta ton dan bijih besi laterit sebesar 1778,4 juta ton [1]. Sehingga, pemanfaatan pasir besi sebagai bahan baku pembuatan besi dan baja merupakan salah satu solusi atas permasalahan masih kecilnya produksi besi dan baja dalam negeri. Sama halnya dengan bijih besi primer, pasir besi dapat diolah menggunakan metode reduksi langsung. Saat ini, pengolahan pasir besi untuk pembuatan besi dan baja sudah diterapkan secara komersial di New Zealand bagian utara [2]. Dalam proses reduksi langsung, pasir besi akan dibuat aglomerat berupa pelet. Kemudian pelet tersebut akan dimasukkan bersama dengan batu bara kedalam suatu *kiln* untuk dipanaskan pada temperatur operasi yang dibawah temperatur lelehnya. Setelah itu, pelet tadi dikeluarkan dari *kiln*, didinginkan dan dipisahkan dari pengotornya. Sehingga, di akhir proses pelet sudah berubah menjadi besi spon. Penggunaan batu bara sebagai reduktor memiliki dua isu negatif, yaitu pertama bahwa batu bara merupakan sumber daya alam yang sulit diperbaharui dan cadangan batu bara Indonesia saat ini mulai menipis. Kedua, batu bara akan berdampak negatif bagi lingkungan karena melepaskan zat *volatile*, seperti metana, tar, *ash* dan dapat memicu terjadinya efek rumah kaca. Oleh karena itu, dibutuhkan pengganti batu bara sebagai reduktor dalam proses reduksi langsung pasir besi. Arang merupakan kandidat terkuat untuk menggantikan batu bara sebagai reduktor. Arang sendiri dapat diperbaharui dan ramah lingkungan. Arang dapat diperbaharui karena memiliki siklus karbon yang jauh lebih pendek (5-10 tahun) dibandingkan batu bara (sekitar 100 juta tahun) [3]. Arang lebih ramah lingkungan karena arang merupakan biomassa organik, yang mana produk pembakaran arang yang berupa CO₂ dapat digunakan untuk fotosintesis tumbuhan, sehingga CO₂ dari arang akan membuat siklus CO₂ menjadi seimbang antara CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran arang dan CO₂ yang digunakan untuk fotosintesis tumbuhan. Hal itu merupakan alasan mengapa CO₂ hasil pembakaran arang tidak menyebabkan efek rumah kaca. Di sisi lain, karena bahan bakar fosil sudah berada di bumi ratusan juta tahun yang lalu, maka CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil akan menghasilkan CO₂ “baru” yang mana tidak tersedia jumlah tumbuhan yang seimbang untuk memanfaatkannya dalam reaksi fotosintesis. Sehingga, CO₂ “baru” tadi akan berlebih dan tidak seimbang. Akibatnya, CO₂ berlebih tersebut akan menyebabkan efek rumah kaca [4].

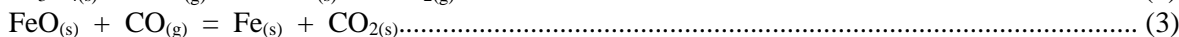
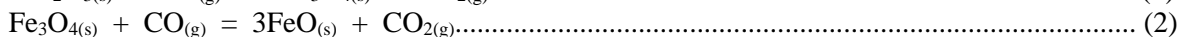
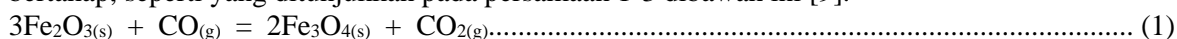
Penelitian mengenai penggunaan arang dalam proses pembuatan besi dan baja sudah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Arang sudah terbukti bisa digunakan sebagai pengganti kokas metalurgis dalam proses sintering bijih besi, akan tetapi arang memiliki kecepatan pembakaran yang lebih tinggi, sehingga kebutuhan arang dalam proses akan tinggi [5]. Penggunaan arang juga sudah terbukti dapat menurunkan secara signifikan kadar SO_x dan NO_x dari proses [6].

Di Indonesia sendiri, terdapat banyak jenis arang, tergantung dari bahan yang digunakan dalam pembuatan arang itu sendiri. Dalam penelitian ini, dipilihlah tiga jenis arang, yaitu arang tempurung kelapa, arang kayu Laban dan arang kayu asam. Pemilihan tiga jenis arang tadi dikarenakan banyaknya ketersediaan arang tersebut di Indonesia, khususnya di Pulau Jawa. Oleh karena itu, dilakukanlah penelitian yang mempelajari pengaruh ketiga jenis arang tersebut pada proses reduksi langsung pasir besi dalam aspek metalurgisnya.

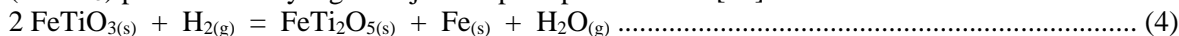
TINJAUAN PUSTAKA

Pasir besi merupakan salah satu bahan baku yang digunakan dalam pembuatan besi dan baja. Komposisi dari pasir besi bergantung pada lokasinya, akan tetapi, secara umum pasir besi mengandung mineral Titanomagnetite (Fe_{3-x}Ti_xO₄) yang mengandung sekitar 60% Fe dan 8% TiO₂ [7]. Metode reduksi langsung (*DRI*) ialah metode yang paling banyak diaplikasikan dan merupakan metode yang efisien untuk mengolah pasir besi. Dalam skala industri, proses *DRI* terdiri dari proses reduksi langsung dan proses pelelehan serta pemisahan slag dalam *Electric Arc Furnace (EAF)*. Proses *DRI* dilakukan untuk memproduksi pellet pra-reduksi yang memiliki derajat metalisasi sebesar 60-75% [8]. Reaksi reduksi langsung merupakan reaksi pengurangan bilangan oksidasi dari

oksida besi hingga diperoleh logam besi. Reaksi reduksi langsung untuk oksida besi terjadi secara bertahap, seperti yang ditunjukkan pada persamaan 1-3 dibawah ini [9].



Selain itu, terdapat reaksi pembentukan pseudobrookite (FeTi_2O_5) dan reduksi ilmenite (FeTiO_3) pada 1050°C yang ditunjukkan pada persamaan 4 [10].



Jika terdapat unsur vanadium dan chromium, maka dibutuhkan temperatur minimal sebesar 1250°C untuk mereduksi $\text{FeO}\cdot\text{V}_2\text{O}_3$ dan $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ menjadi karbida [11]. Arang merupakan salah satu jenis biomassa. Biomassa sendiri merupakan fraksi *degradable* biologis dari produk, sampah dan sisa dari hewan dan tumbuhan, kehutanan serta fraksi *degradable* dari sampah rumah tangga dan industri [12]. Di dalam arang, terdapat dua konstituen yang berperan dalam reaksi reduksi oksida besi, yaitu karbon dan *volatile matter*. *Volatile matter* ialah produk – produk mudah menguap, seperti gas yang mudah terbakar dan asap yang terbentuk saat pemanasan biomassa [12]. Reaksi reduksi langsung oksida besi tersebut bisa dilakukan menggunakan berbagai *kiln* atau *furnace*. Akan tetapi, diantara metode *DRI* yang berbasis gas dan batu bara, teknologi *tunnel kiln* merupakan teknologi yang cocok karena memiliki biaya investasi yang rendah, pengoperasian yang simpel dan fleksibel serta menghasilkan kualitas produk yang tinggi [13].

METODE

Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan – bahan antara lain : pasir besi, batu bara, berbagai jenis arang yang terbuat dari tempurung kelapa, kayu Asem dan kayu Laban, dolomit, air dan *binder* berupa tepung tapioka. Pasir besi yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Sukabumi, Jawa Barat. Batu bara diperoleh dari Binuang, Kalimantan Selatan. Dolomit diperoleh dari Gresik, Jawa Timur. Arang diperoleh dari Jombang, Jawa Timur. Adapun kandungan kimia dari pasir besi dan dolomit diperoleh dari pengujian *XRF* (*Nitton-mining*). Hasil pengujian *XRF* untuk pasir besi dan dolomit masing – masing ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Di sisi lain, karakterisasi awal batu bara dilakukan menggunakan analisa proksimat. Hasil analisa proksimat batu bara ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 1. Komposisi kimia pasir besi

Unsur	Fe	Ti	Si	Mg	Al	O
%Berat	57,93	8,46	3,4	2,72	2,66	24,4

Tabel 2. Komposisi kimia dolomit

Unsur	Mg	Ca	Fe	Si	Al	S	LOI
%Berat	13,7	18,1	0,07	0,55	0,001	0,004	Bal.

Tabel 3. Hasil analisa proksimat berbagai jenis reduktor

Parameter	Hasil, %				Standar Pengujian
	Batubara	Arang tempurung kelapa	Arang kayu Laban	Arang kayu Asem	
Moisture	1,80	4,10	6,58	6,04	ASTM D 3173 - 02
Ash	4,75	14,18	2,42	3,30	ASTM D 3174 - 02
Volatile matter	52,86	18,76	25,14	20,20	ASTM D 3175 - 02
Karbon fiks	42,35	62,96	65,86	70,46	ASTM D 3172 - 02

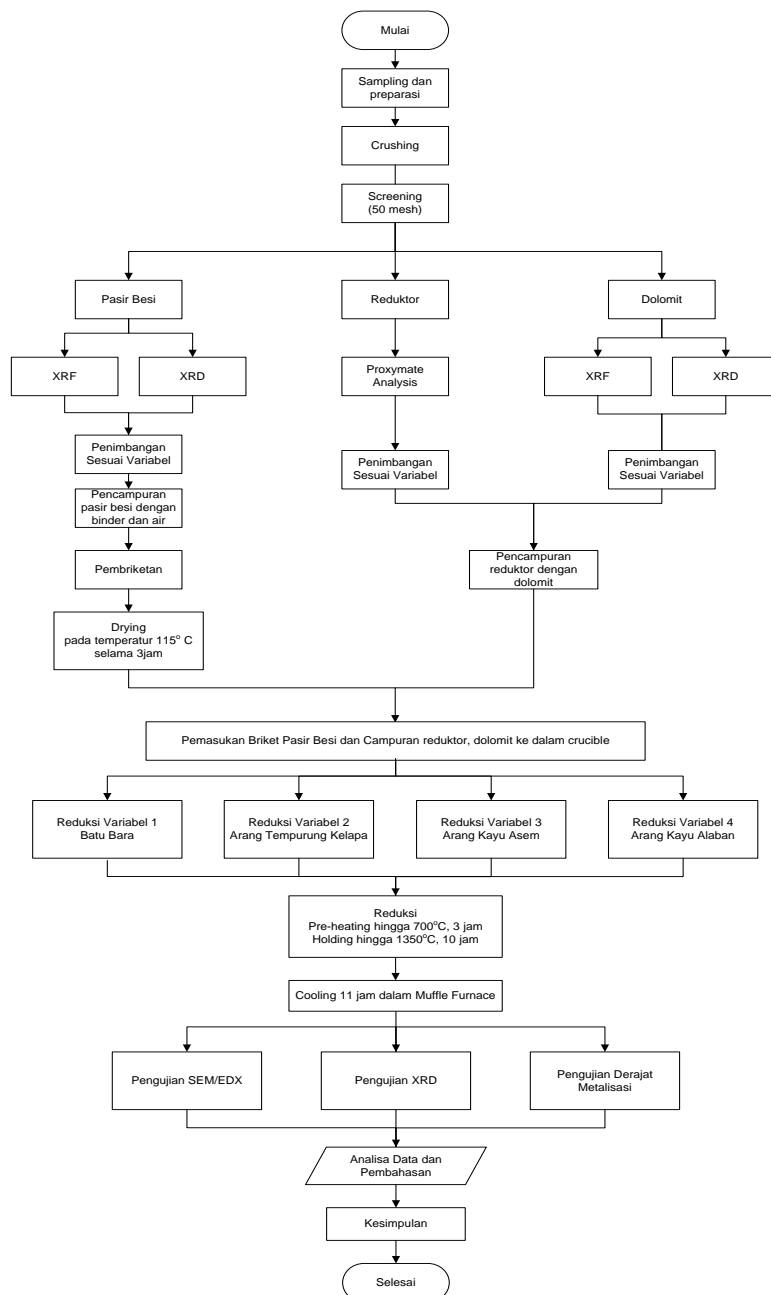
Metodologi Penelitian

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 1. Pertama, semua bahan baku di-*sampling* berdasarkan standar ASTM E-877. Setelah dilakukan *sampling*, bahan baku pasir besi

diuji menggunakan *XRF* dan *XRD*. Bahan baku dolomit dilakukan pengujian *XRF*. Untuk bahan baku batu bara dan tiga jenis arang dilakukan pengujian analisa proksimat. Selanjutnya, semua bahan baku tadi dilakukan proses *crushing* dan *sieving* sehingga diperoleh ukuran bahan baku sebesar 50 *mesh*. Kemudian, semua bahan baku tadi ditimbang sesuai perhitungan neraca massa untuk proses reduksi. Berat masing-masing bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan berat bahan baku dan variabel yang digunakan dalam penelitian

No	Kode	Pasir Besi (gr)	Dolomit (gr)	Batu Bara (gr)	Arang Tempurung Kelapa (gr)	Arang Kayu Laban (gr)	Arang Kayu Asem (gr)
1	A	100	60	44	-	-	-
2	B	100	60	-	40	-	-
3	C	100	60	-	-	37	-
4	D	100	60	-	-	-	36



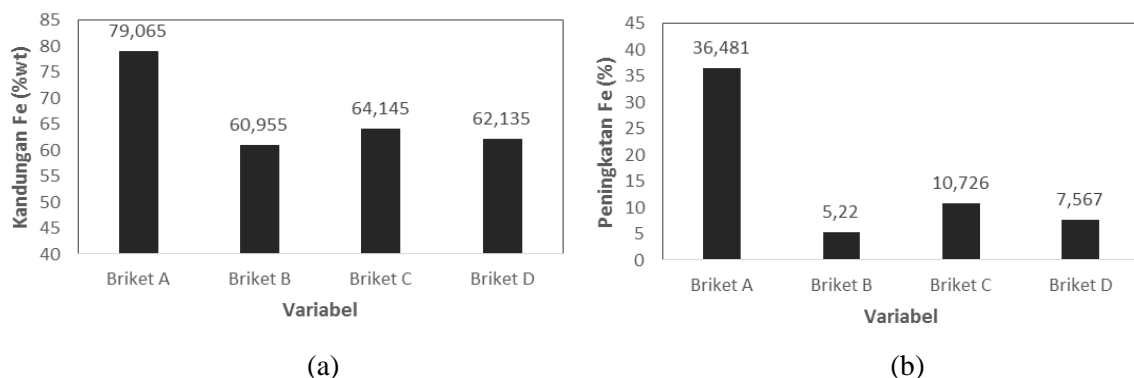
Gambar 1. Diagram alir penelitian

Setelah dilakukan penimbangan, bahan baku pasir besi, *binder* dan air dicampur dan dilakukan proses pembriketan. Proses pembriketan ini dilakukan dengan menggunakan tekanan 30 kgf/cm² dan cetakan briket berbentuk *pillow* dengan volume sebesar 3 cm³. Kemudian, *green briket* dimasukkan bersama dengan serbuk reduktor dan dolomit ke dalam *crucible*. Penataan briket sedemikian rupa hingga seluruh briket tertutup oleh campuran serbuk reduktor dan dolomit. Selanjutnya, *crucible* dimasukkan ke dalam tungku *muffle gas* dan dipanaskan sampai mencapai temperatur 1350⁰C dalam waktu 3 jam dan kemudian ditahan pada 1350⁰C selama 10 jam. Setelah itu, dilakukan pendinginan dalam tungku selama 11 jam. Sehingga, dalam satu proses membutuhkan waktu selama 24 jam (sesuai dengan proses produksi komersil *tunnel kiln*). Setelah pendinginan tersebut, briket dikeluarkan dari *crucible* dan dilakukan pengujian *EDX*, *XRD* serta derajat metalisasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Variasi Jenis Arang sebagai Reduktor terhadap Kandungan Fe_{Total}

Variasi jenis arang mempengaruhi kandungan Fe_{Total} dalam produk besi spon yang dihasilkan. Gambar 3(a) menunjukkan kandungan Fe_{Total} dari masing – masing variabel jenis arang dan dibandingkan dengan penggunaan batu bara sebagai reduktor. Gambar 3(a) menunjukkan proses reduksi langsung besi oksida telah terjadi untuk seluruh variabel jenis reduktor yang digunakan. Hal tersebut dapat dilihat dari kenaikan kandungan Fe Total dari kandungan Fe Total awal pasir besi, yaitu 57,93%. Peningkatan ini disebabkan oleh tereduksinya besi oksida yang terkandung dalam pasir besi oleh gas reduktor yang berasal dari masing-masing jenis reduktor.



Gambar 3. Pengaruh variasi jenis arang terhadap (a) kandungan Fe_{Total} produk besi spon dan (b) peningkatan kadar Fe produk hasil reduksi langsung .

Untuk melihat secara lebih detail tentang pengaruh variasi jenis arang ini, maka dapat dilihat dari persentase peningkatan kadar Fe total dari masing – masing produk besi spon untuk masing – masing variabel jenis reduktor dari kandungan Fe total awal dari pasir besi. Gambar 3(b) menunjukkan bahwa Briket A (Batu bara) memiliki persentase kenaikan kandungan Fe yang paling tinggi dibandingkan briket lain yang menggunakan arang. Briket A memiliki kenaikan kandungan Fe total sebesar 36,481%. Di sisi lain, untuk variabel jenis arang yang digunakan sebagai reduktor, Briket C (Arang Kayu Laban) memiliki kenaikan kandungan Fe total tertinggi, yaitu sebesar 10,726%. Sedangkan kenaikan kandungan Fe total yang paling rendah (5,22%) diperoleh saat penggunaan arang tempurung kelapa (Briket B). Batu bara merupakan reduktor yang lebih baik dibandingkan dengan arang karena batu bara memiliki kandungan karbon fiks dan *volatile matter* yang tinggi, namun mengandung abu, dan kandungan sulfur serta fosfor yang rendah [14].

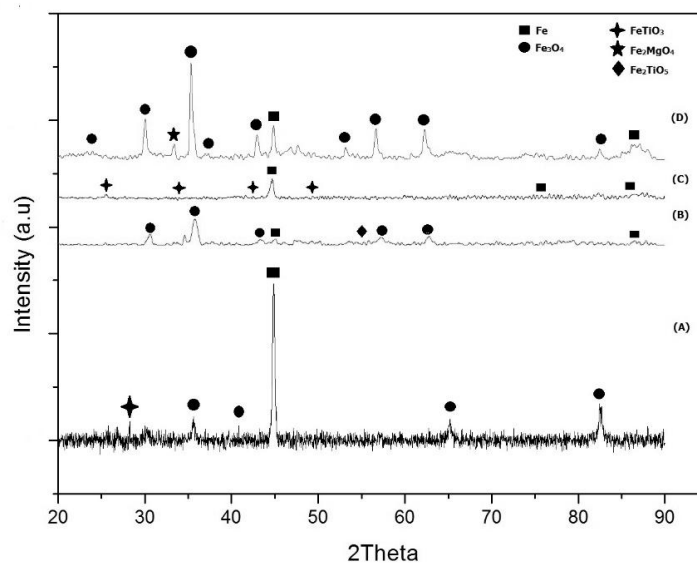
Pada penelitian ini, meskipun kandungan karbon fiks dari masing- masing reduktor berbeda, akan tetapi variasi kandungan karbon fiks tersebut memiliki pengaruh yang sangat kecil pada kenaikan kandungan Fe total. Hal tersebut dikarenakan penentuan berat masing – masing variabel telah berdasarkan penggunaan rasio mol Fe/C_{fiks} yang sama untuk semua variabel, baik Briket A, B, C dan D. Sehingga, pengamatan dilakukan pada *volatile matter* dari masing-masing variabel. Selain itu, karbon kandungan karbon fiks juga bertolak belakang dengan kenaikan

kandungan Fe total dari besi spon yang dihasilkan. Hal tersebut tampak pada saat penggunaan Briket A (Batu bara) yang memiliki kandungan karbon fiks yang paling rendah dibandingkan dengan kandungan fiks karbon untuk reduktor arang. Akan tetapi, Briket A dapat memiliki peningkatan kandungan Fe total yang tertinggi, yaitu sebesar 36,48%. *Volatile matter* yang ada dalam masing-masing reduktor mempengaruhi proses reduksi yang terjadi [15].

Volatile matter dalam batu bara akan mengalami proses devolatilisasi mulai temperatur 300°C. Proses devolatilisasi ini akan menyebabkan batu bara terurai dan terdekomposisi menjadi karbon, tar dan gas (C_xH_y , H_2 , CO dan N_2). Diantara gas – gas hasil proses devolatilisasi tersebut, gas CO dan H_2 lah yang memiliki peranan penting dalam proses reduksi oksida besi menjadi besi logam. Gas CO dan H_2 tersebut akan menambah daya reduktif dari masing-masing reduktor [16]. Gas CO dan H_2 ini terbentuk saat dipanaskan pada temperatur 700°C ke atas. Oleh karena itulah, *volatile matter* yang terkandung dalam masing-masing reduktor akan memegang peranan penting dalam tingkat keberhasilan proses reduksi pasir besi menjadi besi spon. Sehingga dapat disimpulkan bahwa peningkatan kandungan Fe total akan berbanding lurus dengan kandungan *volatile matter* yang ada dalam reduktor. Sehingga, semakin tinggi kandungan *volatile matter* dalam reduktor, maka semakin baik pula proses reduksi langsung yang terjadi dan akhirnya semakin tinggi pula peningkatan kandungan Fe total dari besi spon yang dihasilkan.

Pengaruh Variasi Jenis Arang sebagai Reduktor terhadap Senyawa dalam Besi Spon

Identifikasi fasa dari besi spon yang dihasilkan dari masing-masing variabel diuji dengan mesin XRD PANalytical X'Pert. Pengujian XRD tersebut dilakukan menggunakan besaran 2θ sebesar 10° sampai 90° . Hasil uji XRD untuk masing-masing variabel ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Hasil pengujian XRD untuk masing-masing variabel.

Gambar 4 menunjukkan bahwa Briket A memiliki puncak tertinggi berupa Fe, hal tersebut menunjukkan bahwa reduksi oksida besi menjadi logam besi terjadi dengan optimal. Hal itu memiliki kesesuaian dengan hasil uji EDX untuk Briket A, dimana Briket A memiliki kenaikan kandungan Fe total yang paling tinggi dibandingkan briket lain yang menggunakan arang sebagai reduktornya. Gas karbon monooksida yang dihasilkan dari reaksi Boudouard memiliki jumlah yang banyak. Selain itu, *volatile matter* dalam batu bara yang tinggi menyebabkan atmosfer reduksi dalam *crucible* menjadi semakin reduktif karena kandungan gas reduktor seperti H_2 dan CO dalam *crucible* juga semakin banyak, sehingga mendorong oksida besi untuk tereduksi menjadi logam besi. Hal tersebut diperkuat dengan ketiadaan senyawa Fe_2O_3 dalam besi spon dari Briket A yang mana hal tersebut membuktikan bahwa sebagian besar oksida besi dalam pasir besi telah tereduksi menjadi besi logam.

Briket B memiliki puncak tertinggi berupa Fe₃O₄, yang menunjukkan bahwa reduksi langsung untuk oksida besi tidak berjalan secara optimal. Sehingga, reduksi hanya berlangsung pada tahap reduksi Fe₂O₃ menjadi Fe₃O₄. Briket C memiliki puncak tertinggi berupa Fe. Fasa Fe tersebut menunjukkan bahwa reduksi yang terjadi telah berlangsung dengan cukup baik. Briket C sendiri memiliki kandungan *volatile matter* yang cukup tinggi. Hal tersebut menyebabkan reduksi Fe₂O₃ menjadi Fe logam berjalan dengan baik. Atmosfer reduksi cukup reduktif, karena suplai gas CO dari reaksi Boudouard dan suplai gas CO dan H₂ dari reaksi devolatilisasi *volatile matter* dalam arang kayu Laban cukup banyak. Hal tersebut dibuktikan dengan ketiadaan senyawa Fe₂O₃ dan fasa Fe₃O₄ dalam produk besi spon. Akan tetapi, pada Briket C, masih terdapat senyawa pengotor berupa Fe₂TiO₅. Senyawa tersebut merupakan produk reaksi antara Hematit (Fe₂O₃) dengan Titanium oksida (TiO₂), seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (5) [17].

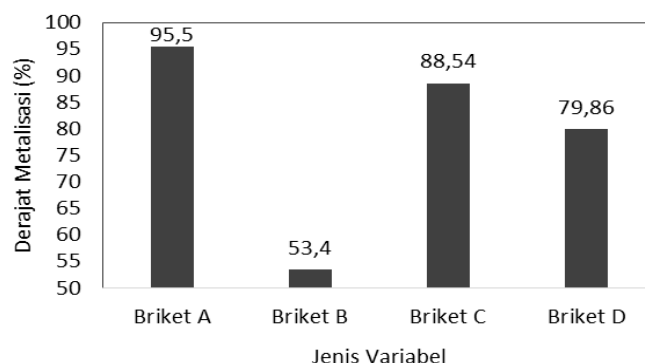


Fasa Fe₂TiO₅ sendiri belum bisa tereduksi karena atmosfer dalam *crucible* tidak cukup reduktif, dengan kata lain tekanan parsial CO dalam *crucible* masih rendah. Sama halnya dengan Briket B, Briket D memiliki puncak tertinggi berupa magnetite (Fe₃O₄). Masih terdapatnya fasa Fe₃O₄ dalam produk hasil reduksi langsung tersebut menjadi bukti bahwa proses reduksi dari oksida besi masih kurang optimal. Hal tersebut disebabkan karena kurangnya gas reduktor dalam membentuk atmosfer reduktif dalam *crucible*.

Pengaruh Jenis Arang Lokal sebagai Reduktor terhadap Derajat Metalisasi

Derajat metalisasi merupakan persentase perbandingan antara besi logam yang terbentuk dengan besi total yang terkandung dalam produk reduksi langsung atau besi spon yang dihasilkan. Hasil pengujian derajat metalisasi untuk masing-masing variabel ditunjukkan oleh Gambar 8. Dari Gambar 8 diketahui bahwa derajat metalisasi untuk Briket A (Batu bara) merupakan yang paling tinggi. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengujian EDX dn XRD sebelumnya. Jika dilihat untuk variabel penggunaan reduktor jenis arang, maka Briket C memiliki derajat metalisasi tertinggi, yaitu sebesar 88,54%, hal ini selaras dengan hasil uji XRD untuk Briket C, dimana Briket C memiliki fasa dominan berupa Fe.

Difusi gas reduktor tersebut dapat berjalan dengan baik karena reaksi Boudouard dan proses devolatilisasi yang terjadi cukup banyak sehingga mampu membuat atmosfer yang reduktif untuk reaksi reduksi oksida besi. Banyaknya jumlah gas reduktor disebabkan oleh banyaknya kandungan *volatile matter* yang terkandung dalam arang kayu laban jika dibandingkan dengan arang tempurung kelapa dan arang kayu Asem. Difusi gas – gas reduktor yang akan mereduksi oksida besi menjadi logam besi berjalan dengan baik, serta atmosfer reduksi yang terbentuk juga cukup reduktif meskipun masih belum mampu mereduksi senyawa besi-titanium-oksida.



Gambar 8. Pengaruh jenis arang terhadap derajat metalisasi produk besi spon yang dihasilkan

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini antara lain adalah penggunaan arang sebagai reduktor masih belum cukup optimal jika dibandingkan dengan penggunaan batu bara sebagai reduktor, kandungan Fe total dan derajat metalisasi tertinggi untuk produk reduksi langsung pasir

besi diperoleh saat menggunakan arang kayu Laban dengan kandungan Fe total sebesar 64,145% dan derajat metalisasi sebesar 88,54%, dan variasi jenis arang yang paling baik digunakan sebagai reduktor proses reduksi langsung pasir besi adalah briket C (arang kayu Laban).

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. P. R. I Kementerian, "Profil industri baja", 2014. [Online]. Available: www.kemenperin.go.id/download/7547/Profil-Industri-Baja. [Accessed : 11-Jan-2019]
- [2]. C. Geng, T.C., Y.W. Sun, C. Ma, Y. Xu, H.F. Yang, "Effects of embedding direct reduction followed by magnetic separation on recovering titanium and iron of beach titanomagnetite concentrate", *Journal of Iron and Steel Research, International*, vol. 24, no.2, p. 156-164, Feb.2017.
- [3]. T. Norgate, N. Haque, M. Somerville, S. Jahashahi, "Biomass as a source of renewable carbon for iron and steelmaking", *ISIJ Inter.*, vol. 52, no. 8, p. 1472-1481, 2012.
- [4]. P. McKendry, "Energy production from biomass (part 1) : overview of biomass", *Biosource Technology*, vol. 83, no. 1, p. 37-46, Mei 2002.
- [5]. L. Lu, M. Adam, M. Kilburn, S. Hapugoda, M. Somerville, S. Jahanshahi, J.G. Mathieson, "Substitution of charcoal for coke breeze in iron ore sintering", *ISIJ Inter.*, vol. 53, p. 1607-1616, 2013.
- [6]. R.R. Lovel, K.R. Vining, M. Dell'amico, "The influence of fuel reactivity on iron ore sintering", *ISIJ Inter.*, vol. 49, p. 195-202, 2009.
- [7]. Z. Wang, D. Pinson, S. Chew, H. Rogers, B. J. Monaghan, and G. Zhang, "Interaction of New Zealand ironsand and flux materials", *ISIJ Inter.*, vol. 56, p. 1315-1324, 2016.
- [8]. X. She, H. Sun, X. Dong, Q. Xue, and J. Wang, "Reduction mechanism of titanomagnetite concentrate by carbon monoxide", *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy*, vol. 49, p. 263-270, 2013.
- [9]. N. Dilmac, S. Yoruk, S.M. Gulaboglu, "Determination on reduction degree of direct reduced iron via FT-IR spectroscopy", *Vibrational Spectroscopy*, vol. 61, p. 25-29, 2012.
- [10]. Y.L. Sui, Y.F. Guo, T. Jiang, and G.Z. Qiu, "Reduction kinetics of oxidized vanadium titanomagnetite pellets using carbon monoxide and hydrogen", *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 706, p. 546-553, 2017.
- [11]. L.S. Zhao, L.N. Wang, D.S. Chen, H.X. Zhao, Y.H. Liu, and Q. Tao, "Behaviors of vanadium and chromium in coal-based direct reduction of high-chromium vanadium-bearing titanomagnetite concentrates followed by magnetic separation", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 25, p. 1325-1333, 2015.
- [12]. B. Patel, B. Gami, "Biomass characterization and its use as solid fuel for combustion", *Iranica Journal of Energy and Environment*, vol. 3, p. 123-128, 2012.
- [13]. N.T Farrok, M. Askari, T. Fabritius, Behavior of three non-coking coals from Iranian's deposits in simulated thermal regime of tunnel kiln direct reduction of iron, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 123, p. 395-401, 2017.
- [14]. Y. J. Li, Y. S. Sun, Y. X. Han, P. Gao, "Coal based reduction Mechanism of-low grade laterite ore". *Transaction of Non Ferrous Metals in China*, vol. 23, p. 3428-3433, 2010.
- [15]. Z. Liu, X. Bi, Z. Gao, W. Liu, "Carbothermal reduction of iron ore in its concentrate-agricultural waste pellets". *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 1, p. 1-6, 2018.
- [16]. B. D. Makahanap, A. Manaf, "Karakteristik reduksi bijih laterit", *Majalah Metalurgi LIPI*, vol. 25, no. 2, p. 113-115, 2010.
- [17]. X. Chen, Y. Huang, M. Gan, X. Fan, L. Yuan, W. Lu, "Roasting characteristics of oxidized pellets of vanadium-titanium-magnetic concentrates", *Proceeding of The 5th International Symposium on High Temperature Metallurgical Processing 16-20 Feb 2014, San Diego, USA TMS*, p. 279-286, 2014.