

PENGARUH TEMPERATUR DAN JENIS REDUKTOR TERHADAP PEROLEHAN PERSEN METALISASI HASIL REDUKSI BIJIH BESI DARI KALIMANTAN

Murti Handayani, Ir. Soesaptri Oediyani, M.E., Anistasia Milandia, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon Banten

Email : murti.handayani27@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu reduktor yang pada umumnya digunakan pada proses *iron making* adalah reduktor berupa gas alam dan batubara, karena gas alam dan batubara menghasilkan gas hidrogen ataupun gas karbon yang diperlukan untuk mereduksi bijih besi. Namun ketersediaan gas alam dan batubara di bumi setiap tahunnya semakin berkurang, mengingat gas alam dan batubara merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, maka perlu dilakukan penelitian untuk mencari sumber reduktor alternatif pengganti gas alam dan batubara. Salah satu sumber daya alam yang dapat dipergunakan sebagai sumber reduktor alternatif adalah arang kayu dan arang tempurung kelapa yang memiliki kandungan *fixed carbon* cukup tinggi untuk mereduksi bijih besi. Selain itu plastik/polietilen (PE) juga dapat digunakan sebagai sumber reduktor alternatif tambahan, karena PE memiliki rantai senyawa hidrogen dan karbon yang dapat bereaksi pada suhu tinggi. Selain reduktor, temperatur juga berperan penting pada proses reduksi bijih besi. Diperlukan temperatur yang optimum untuk mereduksi bijih besi, tergantung pada jenis bijih. Perbedaan temperatur reduksi dan penggunaan jenis reduktor yang berbeda akan memberikan pengaruh terhadap perolehan persen metalisasi besi spons hasil reduksi bijih besi. Pengaruh penggunaan PE dalam proses reduksi bijih diteliti dalam variasi temperatur, dan variasi jenis reduktor tambahannya. Campuran bijih besi, polietilen, dengan variasi jenis reduktor berupa batubara ; arang kayu ; dan arang tempurung kelapa ; dibuat briket menggunakan mesin *press* lalu dipanaskan agar PE meleleh dan dapat menguatkan briket, sehingga tidak diperlukan binder lagi untuk merekatkan briket. Briket kemudian direduksi menggunakan *muffle furnace* dengan variasi temperatur 800; 900; dan 1000°C dengan waktu tahan selama 120 menit, lalu dilakukan pengujian untuk mengetahui persen metalisasi dengan menggunakan analisa basah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persen metalisasi tertinggi adalah 97,08% diperoleh pada kondisi temperatur 1000°C dengan jenis reduktor berupa arang tempurung kelapa dan tambahan 7,4% PE dan perolehan logam Fe sebesar 62,90%. Data penelitian yang didapatkan menunjukkan bahwa temperatur dan jenis reduktor berpengaruh terhadap persen metalisasi dan banyaknya logam Fe yang terbentuk. Semakin tinggi temperatur, persen metalisasi yang dihasilkan juga semakin tinggi. Penggunaan jenis reduktor dan kandungan *fixed carbon* yang berbeda juga akan mempengaruhi persen metalisasi dan banyaknya logam Fe yang terbentuk, selain itu penambahan PE sebagai reduktor tambahan juga dapat mempengaruhi persen metalisasi dan logam Fe yang terbentuk pada besi spons.

Kata kunci : Reduktor, *fixed carbon*, batubara, arang kayu, arang tempurung kelapa, polietilen (PE), persen metalisasi

ABSTRACT

One of a reductant that is commonly used in the process of iron making is a reductant of natural gas and coal, because natural gas and coal can produce gas hydrogen or the carbon which needed to reducing iron ore. But the availability of natural gas and coal in the earth every year have decreased, remember natural gas and coal is natural resources that cannot be renewed, we need to investigation to triangulates the source a reductant alternative a substitute for natural gas and coal. One of natural resources which can be used as a source of a reductant alternative is wood's charcoal and coconut shell's charcoal which has the fixed carbon high enough to reduce iron ore. In addition polyethylene (PE) can also be used as a source of a reductant alternative additional, because PE having a chain of a compound of hydrogen and carbon that could respond at high temperatures. Instead of reducing agent, temperature also played an important role in a reduction process of iron ore. The optimum temperature required for the reduction of iron ore, depending on the type of ore. Differences in temperature reduction and the use of different types of reducing agent will give effect to the acquisition percent metallization of the sponge iron results. Effect of PE in ore reduction processes observed in the temperature variations, and variations in the type of additional reducing agent. A mixture of iron ore, polyethylene, with variations in the type reductant such as coal ; wood's charcoal ; and coconut shell's charcoal ; made briquettes using a press machine and then heated so that the PE melt and can strengthen the briquettes, so it is not necessary anymore to glue binder briquette. Briquettes are reduced using a muffle furnace with a temperature variation of 800; 900; and 1000°C with a holding time of 120 minutes, and then tested to determine the percent metallization using wet analysis. The results showed that the highest percent metallization is 97,08% obtained at 1000°C with the type of coconut shell's charcoal reductant with an additional 7,4 % PE, and Fe metal 62,90%. Research conducted a raid shows that temperatures and types of a reductant influences percent metallization's and the Fe metal's. The higher temperatures, percent metallization's is getting higher. The used different of reducing agents and fixed carbon will affect to percent metallization and Fe metal, besides PE as a additional reductant can also affected to percent metallization and Fe metal in sponge iron.

Keywords : Reducing agents, fixed carbon, coal, wood's charcoal, coconut shell's charcoal, polyethylene (PE), percent metallization

1. PENDAHULUAN

Pada tahun 2015 Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral menerbitkan Permen ESDM Nomor 8 Tahun 2015 tentang Peningkatan Nilai Tambah Mineral melalui Kegiatan Pengolahan dan Permurnian Mineral yang isinya antara lain melarang ekspor bahan tambang mentah tanpa pengolahan lebih dulu tetapi harus mendapatkan rekomendasi menteri ESDM RI. Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM Nomor 8 Tahun 2015 pengolahan bijih besi dalam bentuk besi spons dengan batasan minimum kandungan logam Fe 75%.^[1]

Indonesia saat ini memiliki sumberdaya bijih besi yang cukup melimpah, sekitar 712 juta ton, dengan jumlah cadangan sekitar 65 juta ton^[2] dan tersebar di wilayah Indonesia, antara lain Pulau Jawa, Sumatra, dan Kalimantan. Pulau Kalimantan apabila dibandingkan dengan pulau-pulau lainnya di Indonesia mempunyai potensi bijih besi yang paling banyak, baik dari jumlah lokasinya maupun sumberdaya dan cadangannya. Berdasarkan data neraca sumber daya mineral tahun 2010, terdapat 28 lokasi potensi bijih besi di Kalimantan dengan total sumberdaya 330 juta ton.^[3]

Sumberdaya bijih besi yang cukup melimpah tersebut pada saat ini belum diolah secara komersial, baik oleh pihak swasta maupun pemerintah. Perlu dilakukan penelitian untuk

memberikan nilai tambah terhadap bijih besi Kalimantan, sesuai dengan ketentuan Peraturan Menteri ESDM Nomor 8 tahun 2015 tentang peningkatan nilai tambah mineral melalui kegiatan pengolahan dan pemurnian mineral di dalam negeri.

Minyak bumi dan gas alam merupakan sumberdaya alam yang tidak dapat diperbaharui, dan jumlah cadangan minyak bumi dan gas alam setiap tahunnya berkurang karena adanya eksplorasi dan penambangan terhadap minyak bumi dan gas alam. Kegiatan eksplorasi dan penambangan membuat keberadaan dan ketersediaan minyak bumi dan gas alam di bumi semakin langka. Fakta bahwa ketersediaan minyak bumi dan gas alam yang semakin langka, maka perlu dicari dan diteliti jenis reduktor alternatif pengganti minyak bumi dan gas alam, sehingga reduktor alternatif tersebut dapat dijadikan solusi untuk mengatasi masalah yang timbul akibat dari kelangkaan tersebut.

Batubara digunakan sebagai pengganti gas alam karena batubara menghasilkan gas karbon yang dapat digunakan sebagai reduktor pada proses reduksi. Pemanfaatan batubara perlu dilakukan mengingat sumberdaya batubara yang melimpah di Indonesia. Pemanfaatan batubara sebagai sumber reduktor untuk proses reduksi bijih besi juga telah banyak digunakan pada industri pengolahan besi dan baja di Indonesia.

Selain batubara, sumber karbon antara lain adalah arang kayu yang diketahui dari penelitian sebelumnya bahwa arang kayu memiliki fixed carbon sekitar 76,39%. Arang kayu merupakan limbah dari industri pengolahan kayu dan rata-rata dihasilkan limbah kayu sekitar 61% atau sekitar 5 juta m³/tahun.^[5] Selama ini arang kayu hanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada industri rumah tangga, padahal potensi limbah kayu di Indonesia cukup melimpah. Dalam penelitian ini arang kayu akan digunakan sebagai sumber reduktor alternatif untuk mereduksi bijih besi, karena diketahui dari hasil pengujian analisa proksimat bahwa arang kayu memiliki fixed carbon hingga 76,39%. Penelitian ini juga bertujuan untuk meningkatkan nilai tambah pada arang kayu yang selama ini hanya dimanfaatkan pada industri rumah tangga.

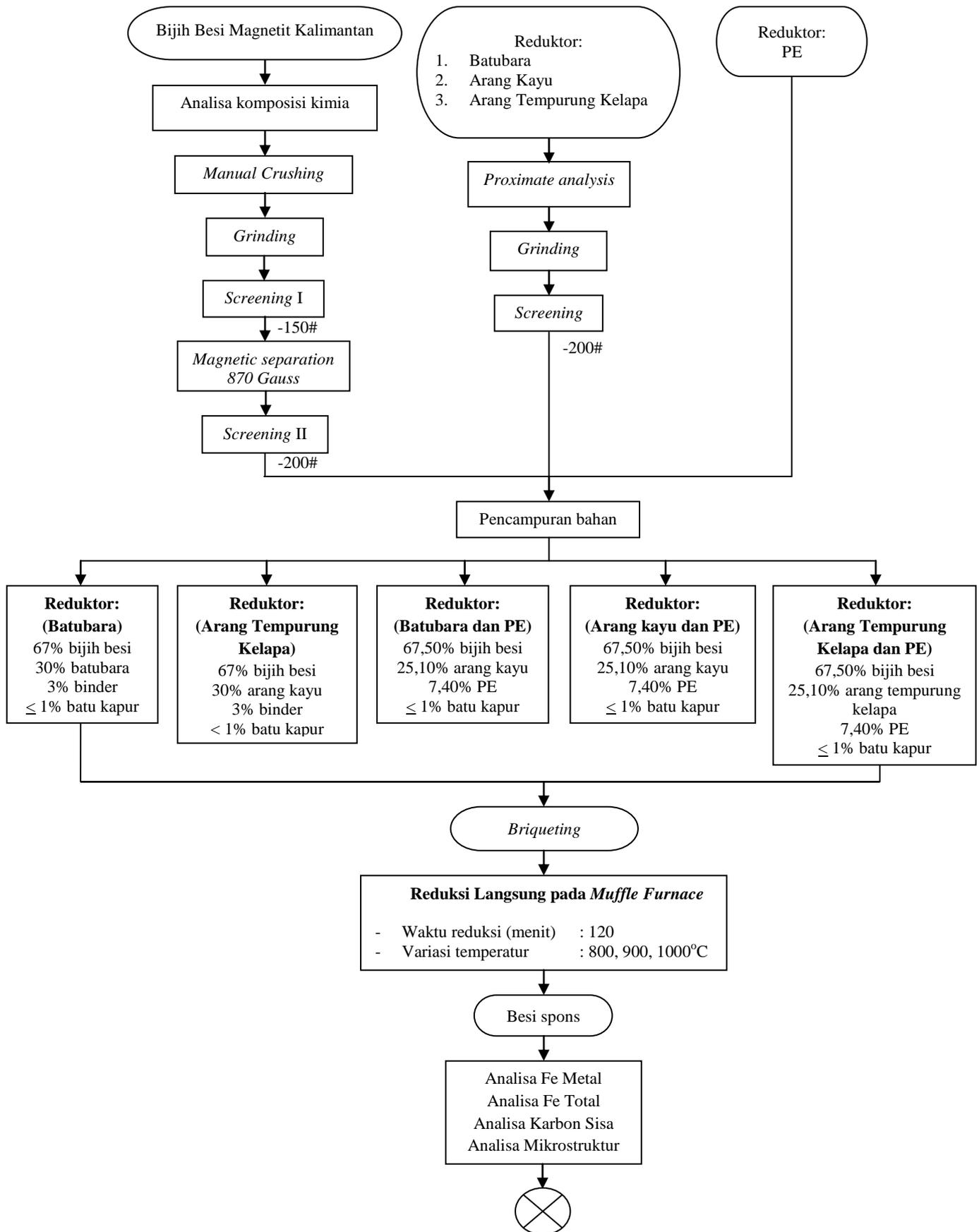
Selain arang kayu, arang tempurung kelapa juga berpotensi dijadikan sebagai salah satu sumber karbon untuk mereduksi bijih besi. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kelapa terbesar di Indonesia. Pemanfaatan pohon kelapa banyak sekali dijumpai di tengah-tengah masyarakat, mulai dari akar, batang, buah sampai dengan daunnya. Data yang telah dihimpun oleh Badan Pusat Statistik pada tahun 2010 menyebutkan bahwa rata-rata produksi buah kelapa di Indonesia adalah sebesar 5,6 juta ton/tahun, berarti terdapat sekitar 672 ribu ton tempurung kelapa yang dihasilkan.^[6]

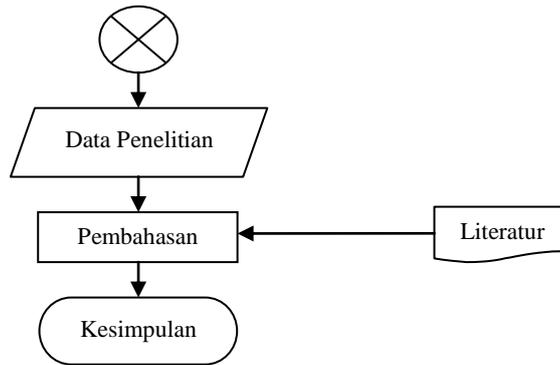
Fakta bahwa tempurung kelapa yang dihasilkan cukup banyak, maka pemanfaatan arang tempurung kelapa perlu dilakukan untuk meningkatkan nilai tambah terhadap arang tempurung kelapa sehingga pemanfaatannya tidak hanya terbatas pada industri rumah tangga saja, namun bisa dimanfaatkan untuk skala industri yang lebih besar. Arang tempurung kelapa dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif reduktor untuk mereduksi bijih besi karena berdasarkan penelitian sebelumnya diketahui bahwa arang tempurung kelapa merupakan sumber karbon dan memiliki kandungan *fixed carbon* sampai dengan 85%.^[7]

Pada penelitian ini plastik dengan jenis PE (polietilen) digunakan sebagai salah reduktor selain batubara. Saat terjadi pirolisis, PE dapat menghasilkan gas H₂. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Murakami (2011), gas H₂ yang dihasilkan pada proses pirolisis PE dapat digunakan membantu proses reduksi bijih besi.

Selain reduktor, hal penting lainnya pada proses reduksi bijih besi adalah temperatur reduksi. Temperatur sangat berpengaruh terhadap proses pembuatan besi spons. Berdasarkan diagram Bauer Glassner magnetit mulai tereduksi pada temperatur 670-870°C membentuk FeO. FeO tereduksi pada temperatur 870-1000°C. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan temperatur reduksi 800, 900 dan 1000°C.^[10]

2. METODOLOGI PENELITIAN





Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Hasil Penelitian

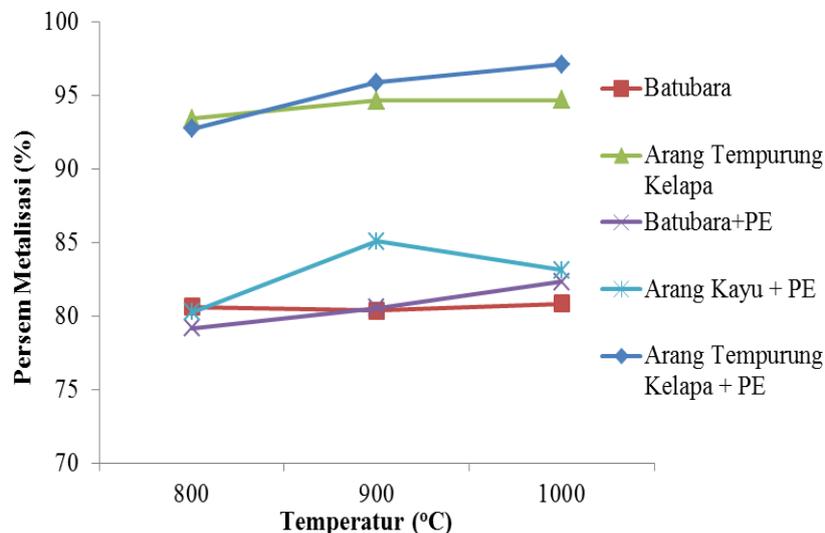
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada reduksi bijih besi magnetit Kalimantan dengan menggunakan jenis reduktor yang berbeda dan variasi temperatur reduksi, diperoleh hasil persen metalisasi besi spons seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Persen Metalisasi Besi Spons Tiap Sampel.

Sampel	% Metalisasi	Sampel	% Metalisasi	Sampel	% Metalisasi
A ₁	80,63	B ₁	93,42	C ₁	79,19
A ₂	80,36	B ₂	94,62	C ₂	80,54
A ₃	80,85	B ₃	94,66	C ₃	82,33

Sampel	% Metalisasi	Sampel	% Metalisasi
D ₁	80,25	E ₁	92,70
D ₂	85,08	E ₂	95,87
D ₃	83,13	E ₃	97,08

3.2 Pengaruh Variasi Temperatur dan Jenis Reduktor terhadap Persen Metalisasi Besi Spons



Gambar 2. Pengaruh Variasi Temperatur dan Jenis Reduktor terhadap Persen Metalisasi

Pada Gambar 2 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur maka persen metalisasi yang dihasilkan juga semakin tinggi, dan penggunaan jenis reduktor yang berbeda akan mempengaruhi persen metalisasi yang dihasilkan. Dapat dilihat pada Gambar 2. bahwa persen metalisasi tertinggi diperoleh pada kondisi temperatur reduksi 1000°C dengan penggunaan jenis reduktor berupa arang tempurung kelapa dan polietilen sebagai reduktor tambahan, yaitu sebesar 97,08%, sedangkan persen metalisasi terendah diperoleh pada kondisi temperatur 800°C dengan penggunaan jenis reduktor berupa batubara dengan penambahan polietilen sebagai reduktor tambahan, yaitu sebesar 79,19%.

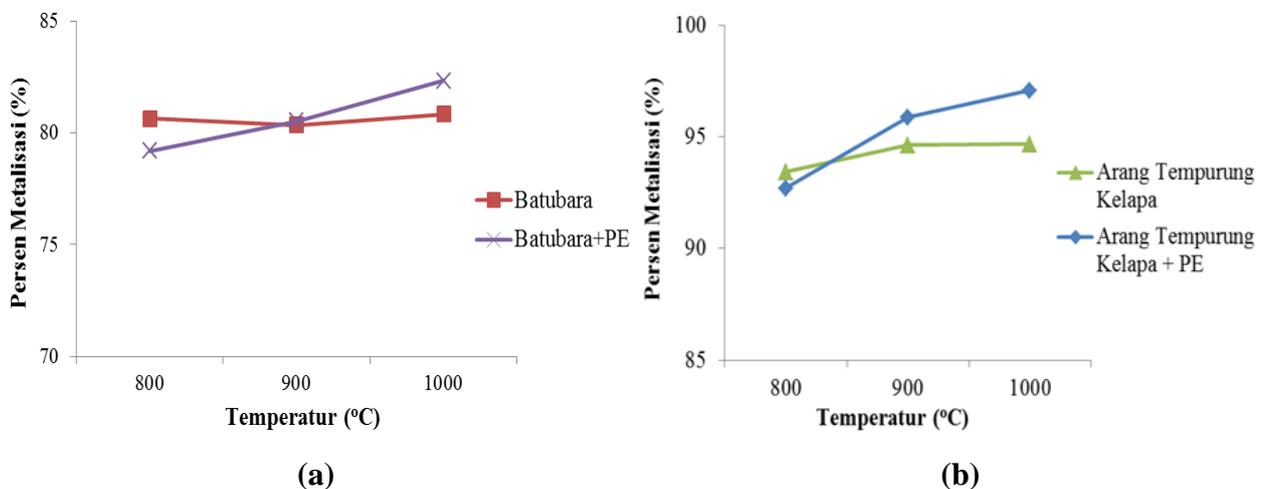
Reduktor dibutuhkan pada proses reduksi bijih besi, yang berfungsi untuk melepaskan oksigen yang terikat pada bijih besi. Untuk mendapatkan logam Fe, bijih besi yang masih berikatan dengan senyawa oksida harus melalui suatu tahapan yang dibutuhkan untuk melepaskan sejumlah oksigen yang terikat pada bijih besi sehingga pada akhirnya yang tersisa pada bijih besi tersebut hanya Fe dalam bentuk logamnya.

Kandungan *fixed carbon* pada reduktor dapat mempengaruhi proses reduksi bijih besi. Diketahui dari hasil analisa proksimat bahwa batubara memiliki kandungan *fixed carbon* paling kecil, yaitu sekitar 36%, kemudian arang kayu yang memiliki *fixed carbon* sekitar 46%, dan arang tempurung kelapa memiliki kandungan *fixed carbon* tertinggi, yaitu sekitar 70%. Semakin banyak reduktor yang digunakan maka semakin banyak pula ketersediaan bahan reduktor sehingga oksida besi yang dapat direduksi akan semakin banyak, sedangkan semakin banyak kandungan *fixed carbon* dalam suatu reduktor maka akan semakin sedikit penggunaan reduktor yang dibutuhkan.^[5]

Selain kandungan *fixed carbon* pada reduktor, temperatur proses reduksi juga mempengaruhi persen metalisasi yang dihasilkan. Berdasarkan garis kesetimbangan *Boudouard*, pada temperatur 900-1000°C, akan diperoleh 100% CO. Apabila temperaturnya diturunkan maka kesetimbangan tersebut tidak akan tercapai sehingga terjadi penguraian dari gas CO menjadi CO₂ dan gas C, sehingga jumlah reduktor akan berkurang.

Pada temperatur 1000°C sampel tereduksi secara optimum, hal ini dapat dilihat dari perolehan persen metalisasi dari masing-masing variasi reduktor dan variasi temperatur. Diketahui bahwa persen metalisasi terendah diperoleh pada temperatur 800°C, yaitu sebesar 79,19%, dan persen metalisasi tertinggi diperoleh pada temperatur 1000°C, yaitu sebesar 97,08%.

3.3 Pengaruh Penambahan Polietilen terhadap Persen Metalisasi Besi Spons



Gambar 3. Pengaruh Penambahan Polietilen terhadap Persen Metalisasi
(a) Reduktor batubara (b) Reduktor arang tempurung kelapa

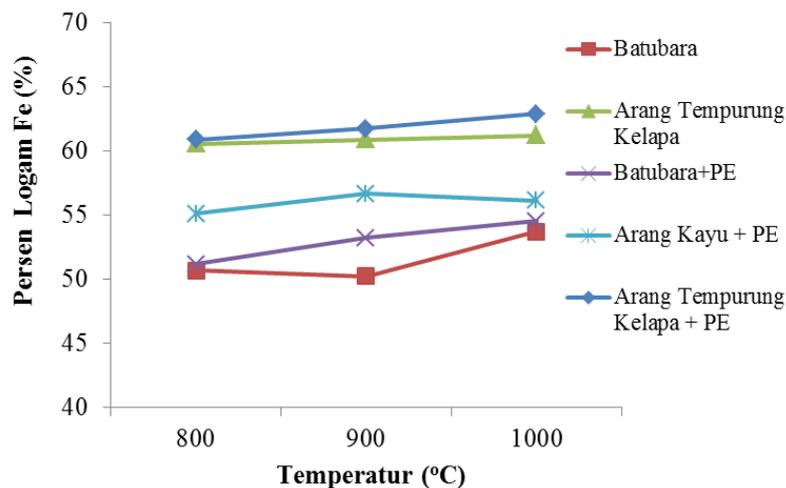
Dari Gambar 3 dapat terlihat bahwa penambahan polietilen mempengaruhi hasil dari reduksi bijih besi. Persen metalisasi yang dihasilkan dari reduksi dengan menggunakan reduktor batubara pada temperatur 800°C dan tanpa tambahan polietilen adalah 80,63%, lalu menurun menjadi 80,36% pada penambahan pada temperatur 900°C. Pada temperatur 1000°C, persen metalisasi kembali meningkat menjadi 80,85%.

Meningkatnya metalisasi hasil reduksi juga terjadi pada variasi temperatur dan reduktor berupa batubara dengan penambahan polietilen. Hasil metalisasi reduksi pada temperatur 800°C yaitu 79,19%, lalu meningkat menjadi 80,54% pada temperatur 900°C, dan 82,33% pada temperatur 1000°C.

Hal yang sama juga terjadi pada variasi temperatur dan jenis reduktor berupa arang tempurung kelapa. Hasil metalisasi reduksi pada temperatur 800°C yaitu 93,42%, ketika reduktor arang tempurung kelapa ditambahkan polietilen persen metalisasinya menurun menjadi 92,70%. Pada temperatur 900°C, persen metalisasi yang dihasilkan dengan menggunakan reduktor arang tempurung kelapa tanpa tambahan polietilen yaitu 94,62%, kemudian meningkat menjadi 95,87% untuk reduktor arang tempurung kelapa dengan penambahan polietilen. Peningkatan persen metalisasi juga terjadi pada temperatur 1000°C, persen metalisasi yang dihasilkan dengan menggunakan reduktor arang tempurung kelapa tanpa tambahan polietilen yaitu 94,66%, kemudian meningkat menjadi 97,08% untuk reduktor arang tempurung kelapa dengan penambahan polietilen.

Dari Gambar 3 dan data yang didapatkan dapat dinyatakan bahwa penambahan polietilen mempengaruhi persen metalisasi yang dihasilkan. Persen metalisasi meningkat seiring dengan penambahan polietilen sebagai reduktor tambahan. Namun, penambahan polietilen tidak selalu meningkatkan metalisasi, oleh karena itu penambahan polietilen sebagai reduktor perlu dikontrol agar penggunaan komposisinya tepat. Penambahan polietilen yang disarankan dari penelitian sebelumnya tidak boleh lebih dari 10%.^[22]

3.4 Pengaruh Temperatur dan Jenis Reduktor terhadap Persen Logam Fe Besi Spons



Gambar 4. Pengaruh Temperatur terhadap Persen Logam Fe

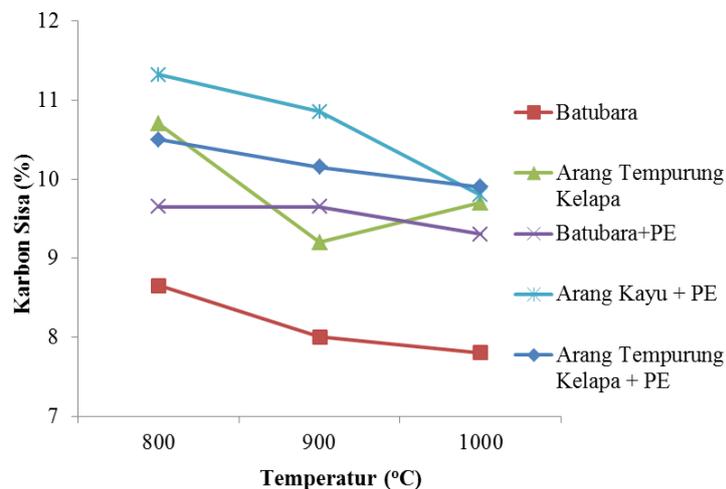
Diketahui dari Gambar 4 bahwa persen logam Fe terendah diperoleh pada kondisi temperatur 800°C yaitu sebesar 50,26% dengan jenis reduktor berupa batubara, sedangkan persen logam Fe tertinggi diperoleh pada kondisi temperatur 1000°C dengan jenis reduktor berupa arang tempurung kelapa dengan tambahan polietilen, yaitu sebesar 62,90%.

Penggunaan jenis reduktor yang berbeda pada proses reduksi juga akan memberikan pengaruh terhadap perolehan nilai logam Fe selama proses reduksi. Pada Gambar 4 terlihat bahwa pada variasi temperatur reduksi, penggunaan jenis reduktor berupa campuran arang

tempurung kelapa dan polietilen memiliki persen logam yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan penggunaan jenis reduktor lainnya. Pada kondisi penggunaan reduktor berupa campuran arang tempurung kelapa dan polietilen terlihat bahwa kecenderungan logam Fe yang terbentuk lebih optimum dibandingkan penggunaan jenis reduktor lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa kandungan jumlah *fixed carbon* pada reduktor akan membuat perolehan logam Fe pada besi spons menjadi optimal karena secara tidak langsung konsentrasi dari produk reduksi yang dihasilkan seperti CO dan CO₂ akan banyak pula yang berdampak pada difusi.

Berdasarkan diagram Ellingham, kenaikan temperatur proses menyebabkan reaksi reduksi bijih besi akan cenderung berjalan ke arah kanan (membentuk logam Fe) atau berjalan lebih spontan. Sehingga reaksi reduksi bijih besi akan berjalan semakin baik pada setiap kenaikan temperatur.^[18]

Semakin tinggi temperatur, maka akan semakin meningkat pula persen logam Fe yang terbentuk. Pernyataan ini didukung oleh teori berdasarkan diagram Ellingham dan perolehan persen logam Fe serta perolehan hasil analisa karbon sisa menggunakan *Carbon Determinator* yang dapat dilihat pada Gambar 5.

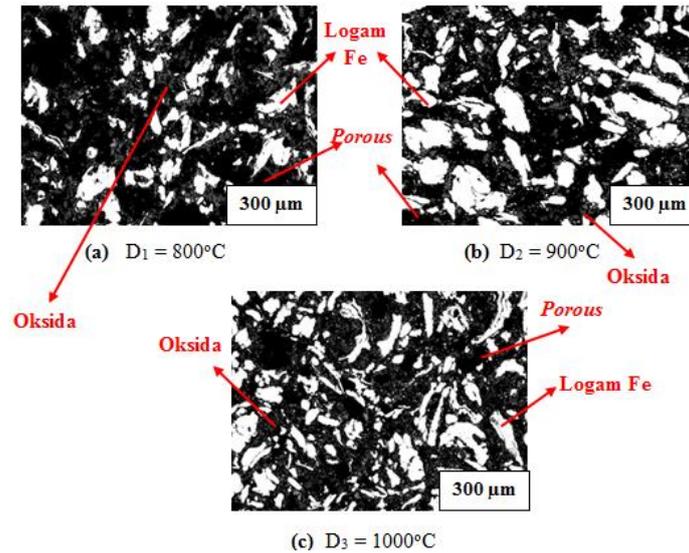


Gambar 5. Grafik Hubungan antara Temperatur terhadap Karbon Sisa

Gambar 5 menunjukkan bahwa jumlah karbon sisa akan cenderung berkurang dengan bertambahnya temperatur reduksi. Berkurangnya jumlah karbon sisa pada proses reduksi mengakibatkan konsentrasi gas CO sebagai reduktor naik. Kenaikan konsentrasi gas CO akan membuat logam Fe semakin banyak terbentuk.

Kandungan karbon sisa yang masih tinggi disebabkan karena adanya karbon berlebih dibandingkan dengan kebutuhan karbon. Pada proses reduksi, karbon akan bereaksi dengan panas dan terdekomposisi menjadi gas CO, gas CO inilah yang akan mereduksi bijih besi oksida menjadi logam besi. Namun, ketika gas CO yang ada pada sistem tersebut berlebih atau reaksinya telah setimbang, maka kesetimbangan tersebut akan bergerak ke arah kiri atau bergeser ke arah yang akan memperkecil pengaruh perubahan tersebut, sehingga gas CO yang dihasilkan akan terbentuk lagi menjadi padatan karbon (C). Padatan karbon inilah yang terdeteksi sebagai karbon sisa, hal ini sesuai dengan asas kesetimbangan Le Chatelier.

Selain itu dilakukan analisa mikrostruktur dengan menggunakan mikroskop optik untuk mendukung pernyataan sebelumnya pada proses reduksi untuk mengetahui terbentuknya logam Fe, seperti pada Gambar 6 yang menunjukkan fasa-fasa yang terbentuk setelah dilakukan proses reduksi variasi temperatur 800, 900, dan 1000°C.

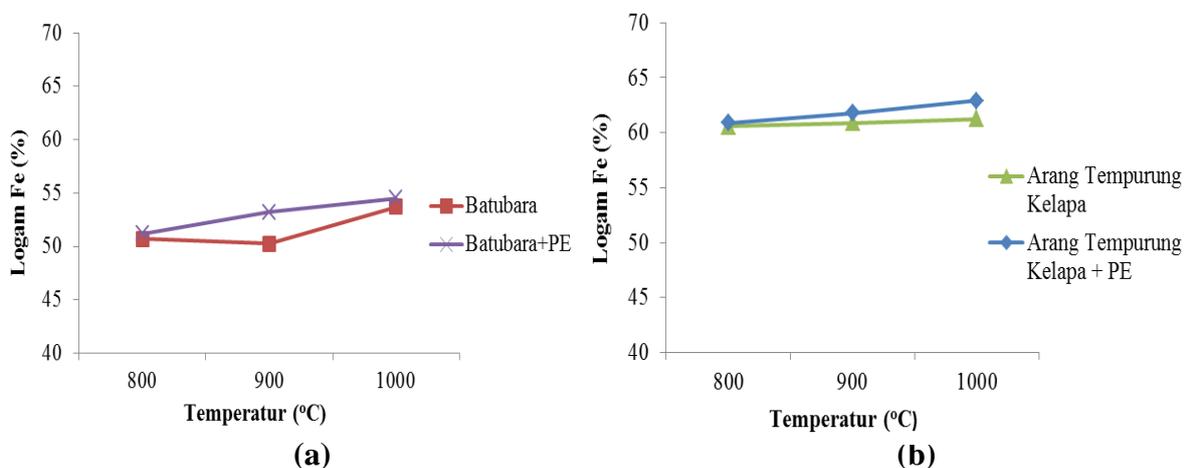


Gambar 6. Struktur mikro dengan variasi temperatur (a) Arang kayu + PE 800°C (b) Arang kayu + PE 900°C (c) Arang kayu + PE 1000°C

Pada Gambar 6.c logam Fe yang terbentuk terlihat lebih banyak daripada Gambar 4.a. Hal ini terjadi karena pada temperatur 1000°C reaksi gasifikasi karbon dengan gas CO₂ berjalan lebih cepat sehingga gas CO yang dihasilkan dari reaksi tersebut dapat dihasilkan lebih banyak dan karena jumlah gas CO yang diperlukan sudah mencukupi maka perubahan FeO menjadi logam Fe dapat terjadi lebih sempurna.

Selain dilakukan analisa struktur mikro, perlu dilakukan analisa komparasi warna menggunakan *software ImageJ*, untuk mengetahui banyaknya porositas yang ada pada besi spons. Berdasarkan metode komparasi warna pada Gambar 6, sampel D₁ memiliki jumlah porositas 42,44%, kemudian menurun menjadi 36,02% pada sampel D₂. Pada sampel D₃ porositas meningkat menjadi 43,00%. Dari data perhitungan porositas menggunakan *ImageJ*, menunjukkan bahwa terdapat perbedaan porositas pada masing-masing temperatur. Porositas yang lebih banyak mengindikasikan adanya reduksibilitas yang tinggi, karena reduksibilitas yang tinggi kereaktifan suatu bijih besi dapat dikategorikan sangat cepat. Reduksibilitas yang tinggi dibuktikan dengan besarnya jumlah logam Fe yang terbentuk.

3.5 Pengaruh Penambahan Polietilen terhadap Persen Logam Fe Besi Spons



Gambar 7. Pengaruh penambahan polietilen terhadap perolehan logam Fe (a) Reduktor batubara (b) Reduktor arang tempurung kelapa

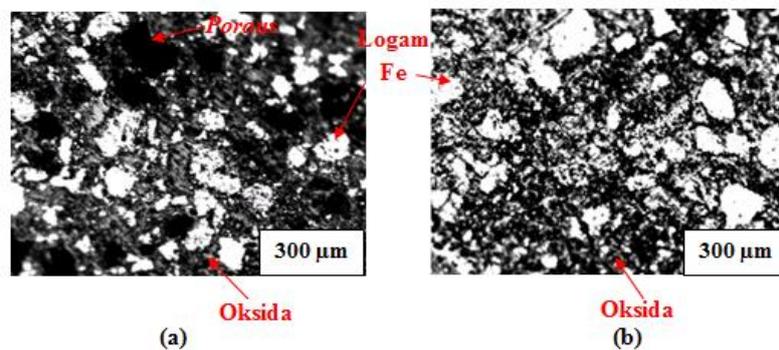
Dari Gambar 7 dapat terlihat bahwa penambahan polietilen mempengaruhi perolehan logam Fe. Persen logam Fe yang dihasilkan dari reduksi dengan menggunakan reduktor batubara pada temperatur 800°C dan tanpa tambahan polietilen adalah 50,70%, lalu menurun menjadi 50,26% pada penambahan pada temperatur 900°C. Pada temperatur 1000°C, persen logam Fe kembali meningkat menjadi 53,73%.

Meningkatnya persen logam Fe hasil reduksi juga terjadi pada variasi temperatur dan reduktor berupa batubara dengan penambahan polietilen. Hasil persen logam Fe pada temperatur 800°C yaitu 51,19%, lalu meningkat menjadi 53,23% pada temperatur 900°C, dan 54,54% pada temperatur 1000°C.

Hal yang sama juga terjadi pada variasi temperatur dan jenis reduktor berupa arang tempurung kelapa. Perolehan persen logam Fe pada temperatur 800°C yaitu 60,59%, ketika reduktor arang tempurung kelapa ditambahkan polietilen persen logam Fe-nya meningkat menjadi 60,89%. Pada temperatur 900°C, persen logam Fe yang dihasilkan dengan menggunakan reduktor arang tempurung kelapa tanpa tambahan polietilen yaitu 60,89%, kemudian meningkat menjadi 61,76% untuk reduktor arang tempurung kelapa dengan penambahan polietilen. Peningkatan persen logam Fe juga terjadi pada temperatur 1000°C, persen logam Fe yang dihasilkan dengan menggunakan reduktor arang tempurung kelapa tanpa tambahan polietilen yaitu 61,24%, kemudian meningkat menjadi 62,90% untuk reduktor arang tempurung kelapa dengan penambahan polietilen.

Dari data yang dapat dari Gambar 7, dapat dinyatakan bahwa semakin tinggi temperatur reduksi, maka semakin tinggi pula persen logam Fe yang dihasilkan, dan penambahan polietilen sebagai reduktor tambahan maka akan mempengaruhi nilai logam Fe yang dihasilkan.

Pengujian metalografi dilakukan untuk membuktikan bahwa penambahan polietilen mempengaruhi perolehan logam Fe. Gambar 8 adalah struktur mikro sampel dengan menggunakan reduktor batubara tanpa tambahan polietilen dan reduktor batubara dengan tambahan polietilen yang diambil menggunakan mikroskop optik. Pada Gambar 8 terlihat bagian yang berwarna abu-abu, bagian ini merupakan logam yang masih berikatan dengan oksigen (Besi Oksida). Bagian yang berwarna hitam merupakan *porous* dan bagian yang berwarna putih merupakan logam Fe.

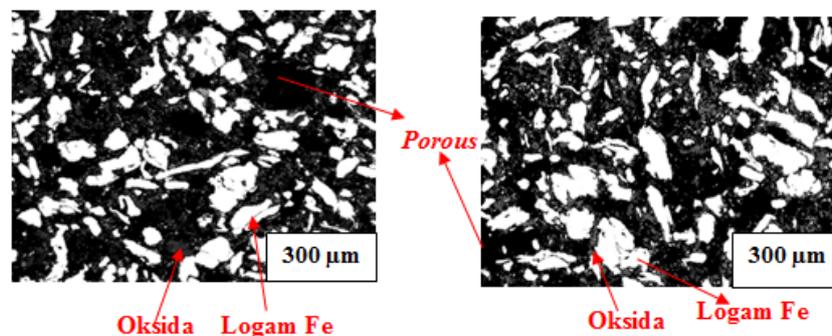


Gambar 8. Struktur mikro besi spongs, temperatur reduksi 1000°C
(a) Reduktor batubara dan (b) reduktor batubara dengan penambahan polietilen

Pada Gambar 8 terlihat bahwa pembentukan logam Fe meningkat ketika reduktor batubara ditambahkan dengan polietilen, dan terdapat banyak pori pada besi spongs. Metode komparasi warna dilakukan untuk mengetahui berapa banyak pori yang terbentuk pada besi spongs. Berdasarkan metode komparasi warna pada Gambar 8, sampel besi spongs yang menggunakan reduktor batubara tanpa tambahan polietilen memiliki jumlah porositas 36,19%, sedangkan pada sampel besi spongs yang menggunakan reduktor batubara dengan

tambahan polietilen mempunyai porositas sebesar 42,17%. Dari data persen porositas tersebut, dapat diketahui bahwa terjadi kenaikan persen porositas seiring dengan ditambahkannya polietilen sebagai reduktor. Porositas yang lebih banyak mengindikasikan adanya reduksibilitas yang tinggi. Reduksibilitas yang semakin meningkat ketika ditambahkan polietilen sebagai reduktor, dapat dibuktikan dengan adanya peningkatan jumlah logam Fe yang terbentuk pada besi spons, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

Selain batubara, penambahan polietilen pada arang tempurung kelapa juga perlu dianalisa, apakah penambahan polietilen pada arang tempurung kelapa juga mempengaruhi perolehan logam Fe dan jumlah porositas pada besi spons. Gambar 9 menunjukkan struktur mikro besi spons dengan menggunakan reduktor berupa arang tempurung kelapa tanpa tambahan polietilen dan reduktor arang tempurung kelapa yang ditambahkan polietilen.



Gambar 9. Struktur mikro besi spons, temperatur reduksi 1000°C
(a) Reduktor arang tempurung kelapa) (b) Reduktor arang tempurung kelapa dengan penambahan polietilen

Dari Gambar 9 jika dilihat secara kasat mata dapat diketahui bahwa hal yang sama juga terjadi pada besi spons yang menggunakan reduktor arang tempurung kelapa. Terjadi peningkatan kadar logam Fe pada besi spons yang ditambahkan reduktor polietilen dibandingkan dengan yang tidak ditambahkan polietilen. Selain itu juga terbentuk porositas pada besi spons.

Berdasarkan metode komparasi warna pada Gambar 9, sampel besi spons yang menggunakan reduktor arang tempurung kelapa tanpa tambahan polietilen memiliki jumlah porositas 42,90%, sedangkan pada sampel besi spons yang menggunakan reduktor arang tempurung kelapa dengan tambahan polietilen mempunyai porositas sebesar 44,47%. Dari data persen porositas tersebut, dapat diketahui bahwa hal yang sama terjadi pada sampel besi spons yang menggunakan reduktor arang tempurung kelapa. Apabila dibandingkan dengan sampel besi spons yang menggunakan reduktor batubara, pada sampel besi spons yang menggunakan reduktor arang tempurung kelapa juga mengalami kenaikan persen porositas seiring dengan ditambahkannya polietilen sebagai reduktor. Porositas yang lebih banyak mengindikasikan adanya reduksibilitas yang tinggi. Reduksibilitas yang semakin meningkat ketika ditambahkan polietilen sebagai reduktor, dapat dibuktikan dengan adanya peningkatan jumlah logam Fe yang terbentuk pada besi spons, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1. Jenis reduktor yang berbeda berpengaruh terhadap perolehan persen metalisasi dan persen logam Fe yang dihasilkan. Diketahui dari hasil percobaan, bahwa reduktor arang tempurung kelapa dengan tambahan polietilen memiliki persen metalisasi yang paling tinggi, yaitu sebesar 97,08% dan logam Fe sebesar 62,90%.

2. Penambahan polietilen sebagai reduktor tambahan dapat mempengaruhi persen metalisasi dan persen logam Fe yang dihasilkan. Namun penambahan polietilen sebagai reduktor tetap harus dikontrol, tidak lebih dari 10%. Diketahui dari hasil percobaan bahwa polietilen mampu meningkatkan persen metalisasi sekitar 23,25%.
3. Temperatur reduksi juga mempengaruhi perolehan persen metalisasi dan persen logam Fe yang dihasilkan. Semakin tinggi temperatur maka logam Fe dan persen metalisasi yang dihasilkan juga akan semakin meningkat. Diketahui dari hasil percobaan bahwa persen metalisasi tertinggi dicapai pada kondisi temperatur 1000°C dengan jenis reduktor berupa arang tempurung kelapa yang ditambahkan polietilen, yaitu sebesar 97,08% dan persen logam Fe sebesar 62,90%

4.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lanjutan mengenai pengaruh waktu tahan terhadap persen metalisasi.
2. Membandingkan pengaruh penambahan beberapa jenis polietilen, seperti HDPE, LDPE, dan PET.

DAFTAR PUSTAKA

1. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2014. Jakarta.
2. Kementrian Perindustrian Republik Indonesia. 2015. bkti-pii.or.id/presentasi-roadmap-dan-pasar-baja/.
3. Data Sumber Daya dan Cadangan Berdasarkan data Pusat Sumber Daya Geologi (PSDG), 2013.
4. Statistik direktori geologi dan sumber daya mineral. 2013. <http://www.dim.esdm.go.id>.
5. Yayat, Iman. 2012. Studi Penggunaan reduktor Pada Proses Reduksi Pelet Bijih Besi Lampung Menggunakan *Rotary Kiln*” UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung.
6. Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Riau. 2013. riau.litbang.pertanian.go.id.
7. Willyandhika, Kustiarana. 2013. “Pengaruh Waktu Reduksi dan Ukuran Pelet Campuran Bijih Besi Lampung-Arang Tempurung Kelapa terhadap Persen Metalisasi Besi Spons Menggunakan *Rotary Kiln* UPT. BPML LIPI”. Cilegon: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
8. Ermawati, Rahyani. 2011. “Konversi Limbah Plastik Sebagai Sumber Energi Alternatif”. Balai Besar Kimia dan Kemasan – Kementrian Perindustrian.
9. Billmeyer, W. F. 1994. “*Textbook of Polymer Science, 3rd Edition*”. New York: Jhon Wiley & Son.
10. Rosenqvist, Terkel. 1983. “*Principles of Extractive Metallurgy*”. New york: McGraw-Hill.
11. Jamali, A, dkk. “Pengolahan Bijih Besi Halus menjadi *Hot Metal*”. UPT. Balai Pengolahan Mineral. Lampung: Pusat Penelitian Informatika LIPI.
12. Bafeman, A.M, dan Jensen. 1981. “*Iron & Ferroalloy Metals in (ed) M.L.,*”. Economic Minerals Deposits, P. 392.
13. Utomo, Wahyudi. 2006. “Diktat Dapur dan Bahan Bakar”. Cilegon: Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

14. Hidayat, Dadang. 2009. "Reduksi Bijih Besi Laterit dari Bayah Provinsi Banten dengan Reduktor Batubara". Bogor: Institut Pertanian Bogor.
15. Anonim.2015. "Manfaat Arang Kayu". www.selingkaran.com.
16. Kurniawan, A. 2012. "Mengenal Kode Kemasan Plastik yang Aman dan Tidak". Artikel. www.selingkaran.com.
17. El-Geassy AHA et al. 2007. "*Reduction Kinetics and Catastrophic Swelling of MnO₂-doped Fe₂O₃ Compacts with CO at 1073–1373 K*". ISIJ International 47(3):377–385.
18. Ross, H. U. 1980. *Physical Chemistry*, Chapter 3. "*Direct Reduced Iron Technology and Economics of Productions and Use*" The Iron and Steel Society of AIME, Warrendale, Hal 19-25 dan 26-34.
19. Robert L. Stephenson. 1980. "*Direct Reduced Iron Technology and Economics of Productions and Use*". The Iron and Steel Society of AIME. Warrendale.
20. Biswas,A.K.1981. "*Principles Of Blast Furnace Ironmaking*". Brisbane, Australia: Gootha Publishing House.
21. Avner, Sidney. 1964. "*Introduction to Physical Metallurgy*". New York: McGraw-Hill.
22. Murakami,T dan Kasai, E. (2011). "*Reduction Mechanism of Iron Oxide – Carbon Composite With Polyethylene at Lower Temperatur*". ISIJ International, Vol 51, No 1, 9 -13.
23. Matsuda, T., Hasegawa, M., Ikemura, A., Wakimoto, K., dan Iwase, M. 2008. "*Utilization of Waste Plastic for The Production of Metallic Iron Hydrogen and Carbon Monoxide without Generating Carbon Dioxide*". ISIJ Int., Vol. 48, No. 9, pp. 1186-1196.
24. Ueki, Y., Ohno, K., Maeda. T., Nishioka, K., dan Shimizu, M. 2008. "*Reaction Behaviour during Heating Waste Plastic Materials and Iron Oxide Composites*". ISIJ Int., Vol. 48, No. 12, pp. 1670-1675.
25. Nishioka, K., Taniguchi, T., Ueki, Y., Ohno, K., Maeda, T., dan Shimizu, M. 2007. "*Gasification and Reduction Behaviour of Plastic and Iron Ore Mixtures by Microwaves Heating*". ISIJ Int., Vol. 47, No. 4, pp. 602-207.
26. Dankwah, J. R., Amoah, T., Dankwah, J., dan Fosu, A. Y. 2015. "*Recycling Mixed Plastic Waste as Reductant in Iron Making*". ISIJ Int., Vol. 15. No. 2, pp. 73-80.