

PENGARUH WAKTU TAHAN DAN *BINDER* TERHADAP REDUKSI PASIR BESI CILACAP

Soesaptri Oediyani ¹, Elma Firdaus ²

^{1,2} Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Email: s_oediyani@untirta.ac.id

ABSTRAK

Kurangnya upaya pemanfaatan bahan baku lokal dalam pembuatan besi baja dan ketergantungan produsen besi baja lokal terhadap bahan baku impor mengakibatkan rendahnya daya saing produsen besi baja lokal. Oleh karena itu, perlu dilakukan optimalisasi penggunaan bahan baku lokal. Salah satunya melalui penelitian mengenai potensi bahan baku lokal sebagai bahan baku industri besi baja di Indonesia. Pasir besi merupakan salah satu bahan baku pembuatan besi baja yang berpotensi dieksplorasi. Salah satu sumber pasir besi lokal yang berpotensi dieksplorasi adalah pasir besi di daerah Cilacap. Selain karena cadangan pasir besi di daerah Cilacap cukup banyak yaitu 744.678,85 ton, kandungan Fe pasir besi tersebut relatif baik yaitu 51-56% untuk dilakukan benefisiasi kemudian direduksi sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan baja. Pasir besi dicampur dengan batubara dengan variasi jenis binder (bentonit dan dekstrin) dan batu kapur kemudian dibentuk menjadi briket lalu di reduksi. Proses reduksi menggunakan Muffle Furnace dengan variasi waktu tahan 15, 30, 45, 60, 75, 90 dan 120 menit kemudian binder bentonit dan dekstrin pada temperatur 950°C. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menaikkan waktu tahan maka akan menaikkan % metalisasi. Metalisasi terendah terdapat pada waktu tahan 15 menit yaitu 63,97% dengan binder bentonit. Sedangkan % metalisasi tertinggi pada saat waktu tahan 120 menit dengan binder dekstrin yaitu 71,68%.

KATA KUNCI: Pasir Besi Cilacap, persen metalisasi, jenis binder, waktu tahan

Abstract

Lack of efforts to use local raw material in the steelmaking and dependences of the local steel producers to import raw materials results in lower competitiveness of local steel producers. Therefore, necessary to optimize the use of local raw materials. One of them through research about the potential of local raw materials as raw materials in the steelmaking industry Indonesia. Iron sand is one of the steelmaking raw materials that could potentially be explored. One local source of iron sand potentially is explored in Cilacap. In addition to the iron sand deposit in Cilacap pretty much that 744.678,85 ton, Fe content of the iron sand is relatively good that 51-56% to do beneficiation then reduced so that it can be used as raw material for steelmaking. Iron sand mixed with coal, binder (bentonite and dextrin) and limestone then formed into briquettes and reduced. Reduction process use muffle furnace in Laboratory metallurgical engineering faculty Sultan Ageng Tirtayasa University with a holding time variation 15, 30, 45, 60, 75, 90 and 120 minute and binder (bentonite and dextrin) at temperature 950°C. Based on results of the study showed that by increasing the hold time will increase the metallization percent. Lowest metallization contained in a 15 minute hold time is 63.97% with bentonite binder. While the highest percent metallization during the holding time of 120 minutes with dextrin binder at 71.68%

KEYWORDS: Iron Sand Cilacap, metallization percent, binder, holding time

1. PENDAHULUAN

Upaya pemanfaatan pasir besi lokal dalam rangka untuk terealisasinya industri pengolahan dapat cepat terlaksana disamping alih teknologi adalah dengan melakukan berbagai penelitian pengolahan untuk menghasilkan besi dan baja. Sampai saat ini pasir besi belum diupayakan secara optimal, sebagian kecil hanya dimanfaatkan di pabrik pembuatan semen .

Pasir besi merupakan salah satu bahan baku pembuatan besi baja. Industri baja di Indonesia masih menggunakan bahan baku berupa *pellet* yang diimpor dari luar negeri sehingga harga jual baja menjadi mahal, sedangkan pasir besi di Indonesia jarang digunakan sebagai bahan baku. Dengan adanya Undang-undang Mineral Batubara (MINERBA) no 4 tahun 2009, pemerintah daerah diwajibkan mengolah produk hasil tambang di dalam negeri menjadi produk yang memiliki nilai tambah lebih baik dan tidak langsung menjual produk hasil tambang keluar negeri dalam keadaan mentah ataupun belum diolah.

Salah satu sumber pasir besi lokal yang berpotensi dieksplorasi adalah pasir besi di daerah Cilacap. Selain karena cadangan pasir besi di daerah Cilacap cukup banyak yaitu 744.678,85 ton, kandungan Fe pasir besi tersebut relatif baik yaitu 51-56% untuk dilakukan benefisiasi kemudian direduksi sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan baja.

Proses reduksi besi oksida dengan karbon padat sangat sulit terjadi karena reaksi tersebut berjalan sangat lambat dan kurangnya kontak langsung antara partikel besi oksida dengan partikel karbon padat. Oleh sebab itu reaksi reduksi yang terjadi sesungguhnya antara partikel besi oksida dan gas CO. Gas CO didapat dari hasil gasifikasi batubara. Dalam proses reduksi kestabilan CO telah tercapai maka dibutuhkan penahanan waktu agar gas CO dapat mereduksi pasir besi dengan sempurna. Waktu tahan proses yang tepat akan memberikan kesempatan difusi gas CO untuk mereduksi bijih besi sampai kepada bagian intinya

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu tahan reduksi terhadap persen metalisasi, mengetahui pengaruh *binder* terhadap persen metalisasi dan mengetahui pengaruh waktu tahan reduksi terhadap persen Fe Metal.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian pemanfaatan bahan baku lokal dengan menggunakan bahan baku pasir besi dari Sukabumi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pasir besi Sukabumi dapat digunakan sebagai bahan baku alternative pengganti pellet bijih besi yang diimport dari Brazil di dalam proses pembuatan besi baja. Pasir besi di setiap daerah mempunyai cirri khas masing-masing sehingga perlu dilakukan penelitian terhadap pasir besi lainnya yaitu dari daerah Cilacap mengingat cadangannya yang melimpah dan belum diolah.

Mula-mula bahan baku yang terdiri dari pasir besi, batubara dan batu kapur dipreparasi menggunakan Rod Mill sehingga dihasilkan produk ukuran -200#. Kemudian pasir besi dan batu kapur dianalisis untuk mengetahui komposisi kimianya sedangkan batubara diuji proksimat.

Setelah dilakukan pengujian terhadap bahan baku maka dilakukan proses pembuatan briket yaitu bahan baku dicampur dengan komposisi tertentu (78% pasir besi, 22% batubara dan sedikit batu kapur) dan ditambahkan binder (dekstrin dan bentonit) sebanyak 2%. Briket yang dihasilkan kemudian direduksi pada temperatur 950°C dengan variasi waktu reduksi (15,30,45,60,75,90 dan 120 menit). Besi Spons yang dihasilkan diuji kimia basah untuk mengetahui persen Fe metal dan persen Fe total, juga diuji sisa karbon dan metalografi. Tabel 1-3 masing-masing menunjukkan komposisi kimia pasir besi, batu kapur dan batubara.

Tabel 1 Komposisi Kimia Pasir Besi Cilacap

Komposisi	Kadar (%)
Fe Total	59,83
FeO	29,23
Fe ₂ O ₃	48,3
SiO ₂	1,48
TiO ₂	12,53
Al ₂ O ₃	3,72
CaO	0,33
MgO	2,87

Tabel 2 Hasil Pengujian Proksimat Batubara Sub-bituminus

Komposisi	Kadar (%)
<i>Moisture</i>	7,70
<i>Ash</i>	12,37
<i>Volatile Matter</i>	43,95
<i>Fixed Carbon</i>	35,98

Tabel 3 Komposisi Kimia Batu Kapur

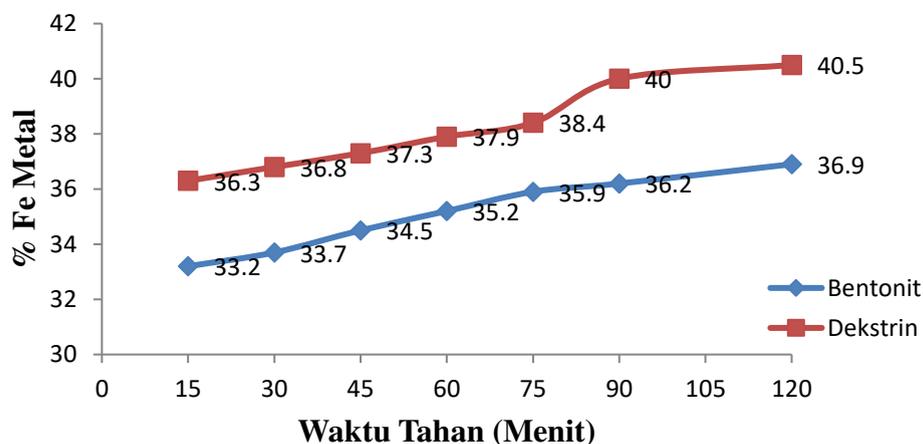
Komposisi	Kadar (%)
CaO	53,2
MgO	0,28
SiO ₂	0,70
LOI	41,8

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. PENGARUH WAKTU TAHAN TERHADAP PERSEN FE METAL BESI SPONS

Tahapan difusi gas CO merupakan hal yang perlu diperhatikan pada proses reduksi karena gas CO akan menentukan proses reduksi bijih besi sehingga perlu dilakukan penahanan waktu. Penahanan waktu reduksi dimaksudkan agar gas CO mempunyai kesempatan untuk berdifusi sampai ke bagian inti bijih besi. Pada penelitian ini dilakukan proses reduksi dengan variasi waktu tahan yaitu 15, 30, 45, 60, 75, 90 dan 120 menit dengan temperatur reduksi yang tetap yaitu 950°C sehingga didapatkan grafik seperti pada Gambar 1.

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu tahan proses reduksi maka persen Fe metal yang terbentuk akan semakin meningkat. Persen Fe metal terendah dihasilkan pada saat waktu tahan 15 menit yaitu sebesar 33,2% dan tertinggi dihasilkan pada waktu tahan 120 menit yaitu sebesar 36,9% untuk besi spons yang menggunakan *binder* bentonit. Begitu pula hasil yang sama didapat pada besi spons dengan menggunakan *binder* dekstrin yaitu persen Fe metal terendah dihasilkan pada proses reduksi dengan waktu tahan 15 menit yaitu sebesar 36,3% dan tertinggi pada waktu tahan 120 menit yaitu 40,5%. Hal ini disebabkan oleh gas CO memiliki waktu yang lebih lama untuk berdifusi sampai ke inti bijih besi sehingga semakin banyak Fe metal yang terbentuk seiring dengan bertambahnya waktu tahan.



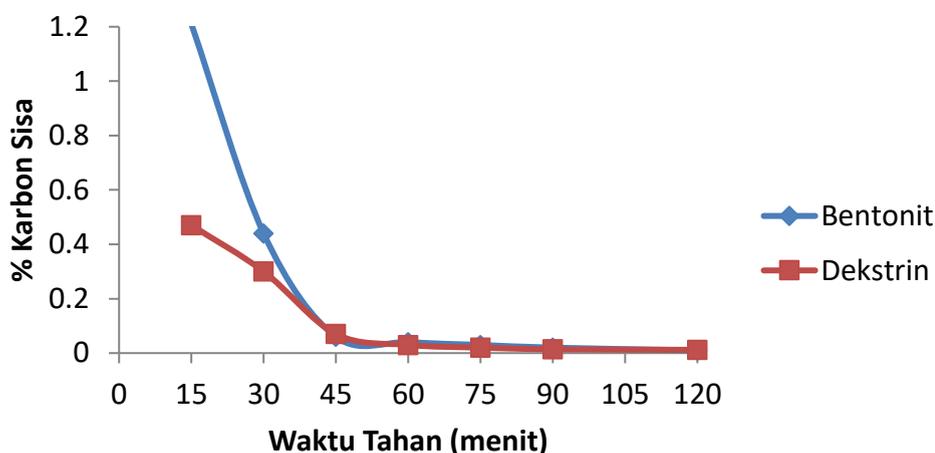
Gambar 1. Pengaruh waktu tahan terhadap persen metalisasi dengan binder bentonit(biru) dan dekstrin (merah)

Hal ini ditunjang oleh penelitian yang dilakukan oleh Deqing Zhu, Vinicius Mendez, Tiejun Chun dan Jiap Pan yang melakukan proses reduksi dengan waktu tahan 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80 dan 100 menit pada temperatur 950°C menggunakan *rotary kiln*. Hasilnya adalah semakin

lama waktu tahan proses reduksi maka akan semakin meningkat pula persen Fe metal yang terbentuk. Persen Fe metal tertinggi didapatkan pada waktu tahan 100 menit dengan nilai 85,7%.

Semakin lama waktu tahan maka akan semakin meningkat pula persen Fe metal yang terbentuk. Hal ini didukung oleh data karbon sisa hasil analisa menggunakan *Carbon Determinator* yang dapat dilihat pada Tabel A4 dan Gambar 2

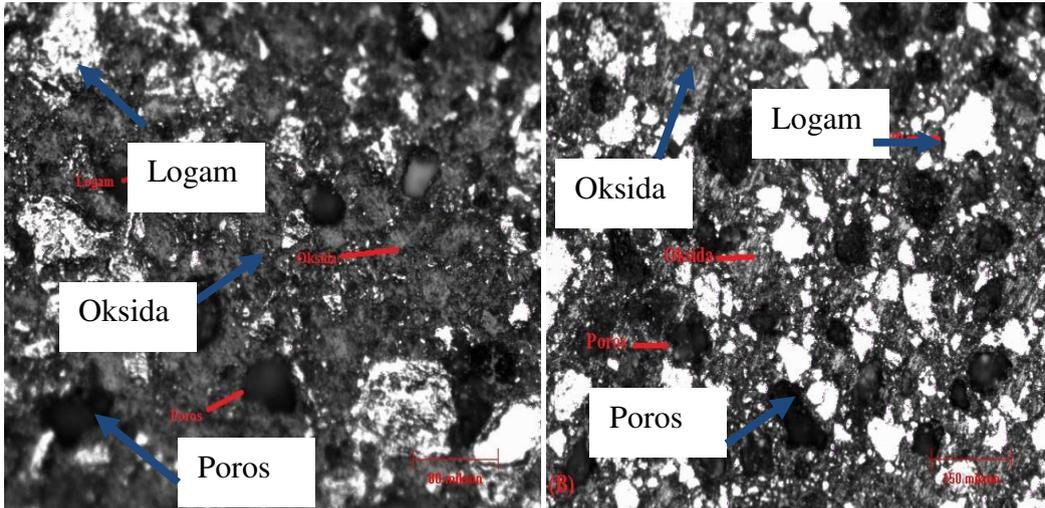
Gambar 2 menunjukkan bahwa jumlah karbon sisa semakin berkurang dengan bertambahnya waktu tahan proses reduksi. Berkurangnya jumlah karbon sisa pada proses reduksi mengakibatkan konsentrasi gas CO sebagai reduktor naik. Kenaikan konsentrasi gas CO akan membuat Fe metal semakin banyak terbentuk. Nilai karbon sisa tertinggi didapatkan pada saat waktu tahan 15 menit sebesar 1,21% karena gas CO tidak mempunyai waktu yang lama untuk berdifusi ke inti bijih sehingga nilai karbon sisa pada batubara masih cukup besar. Semakin lama waktu tahan maka semakin banyak pula karbon yang mengalami gasifikasi sehingga semakin banyak gas CO yang berdifusi ke dalam bijih, sehingga nilai karbon pada batubara akan semakin kecil.



Gambar 2. Grafik hubungan antara waktu tahan terhadap karbon sisa

Selain itu dilakukan analisa mikrostruktur dengan menggunakan mikroskop optik untuk mendukung pernyataan sebelumnya pada proses reduksi ini untuk mengetahui terbentuknya logam besi, seperti pada Gambar .3 menunjukkan fasa-fasa yang terbentuk setelah dilakukan proses reduksi pada temperatur 950°C dengan waktu tahan 15 dan 120 menit.

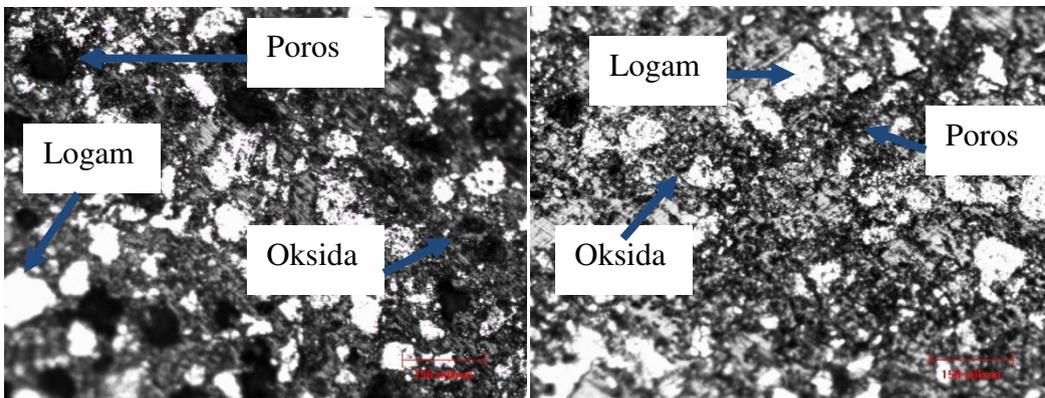
Gambar 3 menunjukkan mikrostruktur besi spons dan dapat dilihat bahwa logam besi lebih banyak terbentuk pada waktu tahan 120 menit yaitu 34% dibandingkan dengan 15 menit yaitu 14% berdasarkan perhitungan Fe metal. Hal ini mendukung pernyataan sebelumnya yang mengatakan bahwa semakin lama waktu tahan proses reduksi bijih besi akan semakin banyak pula Fe metal yang terbentuk.



Gambar 3 Mikrostruktur besi spons abu-abu(Oksida), Putih(Logam), Hitam(*Porous*). Gambar kiri (waktu tahan 15 menit) dan kanan (120 menit)

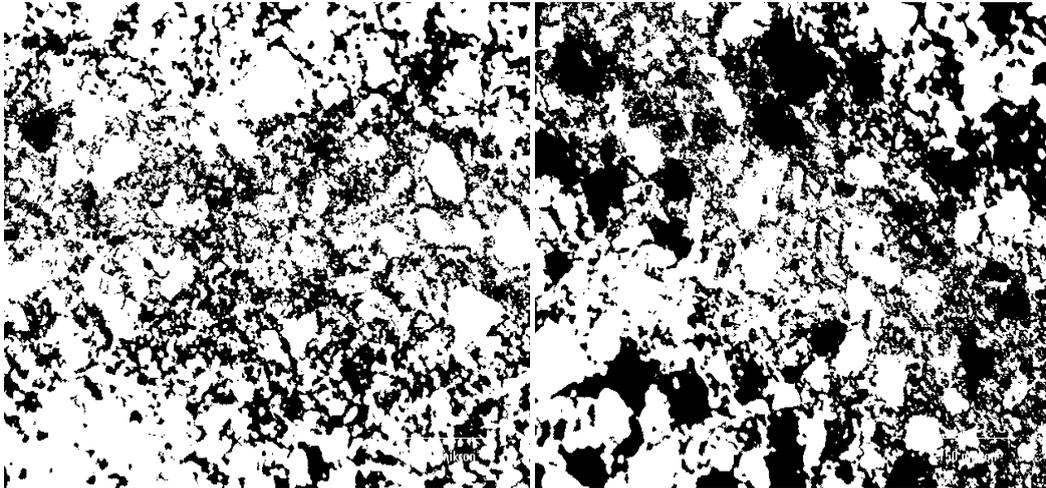
3.2 Pengaruh jenis *binder* terhadap persen Fe metal besi spons

Binder merupakan pengikat yang digunakan untuk membuat partikel menyatu membentuk suatu gumpalan. Pada penelitian ini menggunakan bentonit dan dekstrin sebagai *binder* dalam pembuatan briket. Kemudian dilakukan analisa mikrostruktur yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4 dan perhitungan porositas menggunakan *ImageJ* ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 4 Analisa mikrostruktur besi spons abu-abu(Oksida), Putih(Logam), Hitam(*Porous*). Gambar kanan (*binder* bentonit) dan kiri (*binder* dekstrin)

Dari Gambar 4 diketahui bahwa besi spons dengan menggunakan *binder* bentonit menghasilkan Fe metal yang lebih sedikit dibandingkan dengan dekstrin. Hal ini dapat dilihat pula berdasarkan perhitungan porositas pada struktur mikro besi spons tersebut. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa besi spons dengan menggunakan *binder* dekstrin memiliki porositas yang lebih banyak yaitu 46, 58% dibandingkan dengan besi spons yang menggunakan *binder* bentonit yaitu sebesar 32,81%. Semakin banyak porositas maka semakin banyak pula gas reduktor CO yang masuk ke dalam inti sehingga dapat menghasilkan Fe metal.

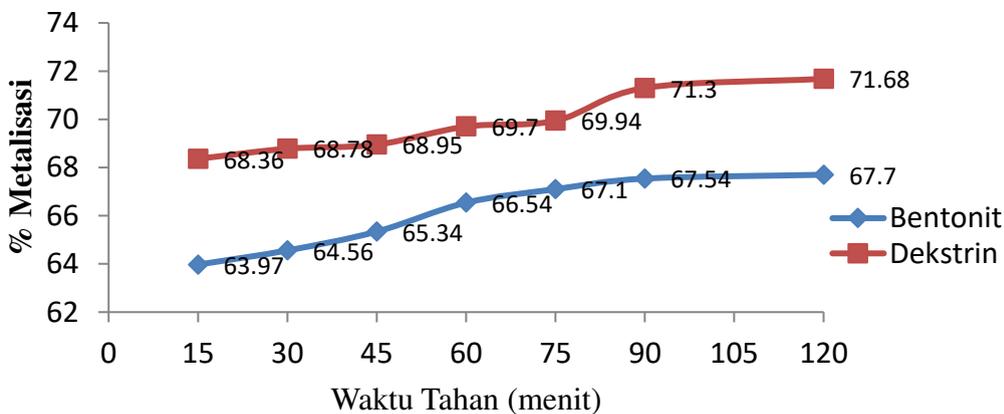


Gambar 5 Perhitungan porositas menggunakan *Image J*. Gambar kiri *binder* bentonit dan gambar kanan *binder* dekstrin.

Proses reduksi bijih untuk menghasilkan besi dilakukan dalam beberapa tahapan, dengan hematit di inti yang kemudian diikuti magnetit, wustit dan besi. Permukaan antara lapisan yang satu dengan yang lainnya adalah sejajar dengan permukaan terluar dari partikel. Semakin lama waktu tahan pada proses reduksi akan menghasilkan fe metal yang semakin banyak pula sehingga dapat meningkatkan persen metalisasinya karena nilai fe metal akan berbanding lurus dengan persen metalisasi sesuai dengan rumus:

$$\% \text{ Metalisasi} = \frac{Fe \text{ metal}}{Fe \text{ total}} \times 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

Sama halnya dengan kenaikan persen Fe metal terhadap waktu tahan, persen metalisasi juga tergantung pada kestabilan gas CO yang berdifusi hingga bagian inti bijih besi. Pada saat kestabilan gas CO telah tercapai, dibutuhkan waktu tahan agar gas CO dapat tereduksi hingga ke bagian inti bijih besi yang belum tereduksi. Pengaruh waktu tahan terhadap persen metalisasi dapat dilihat pada Gambar 5.

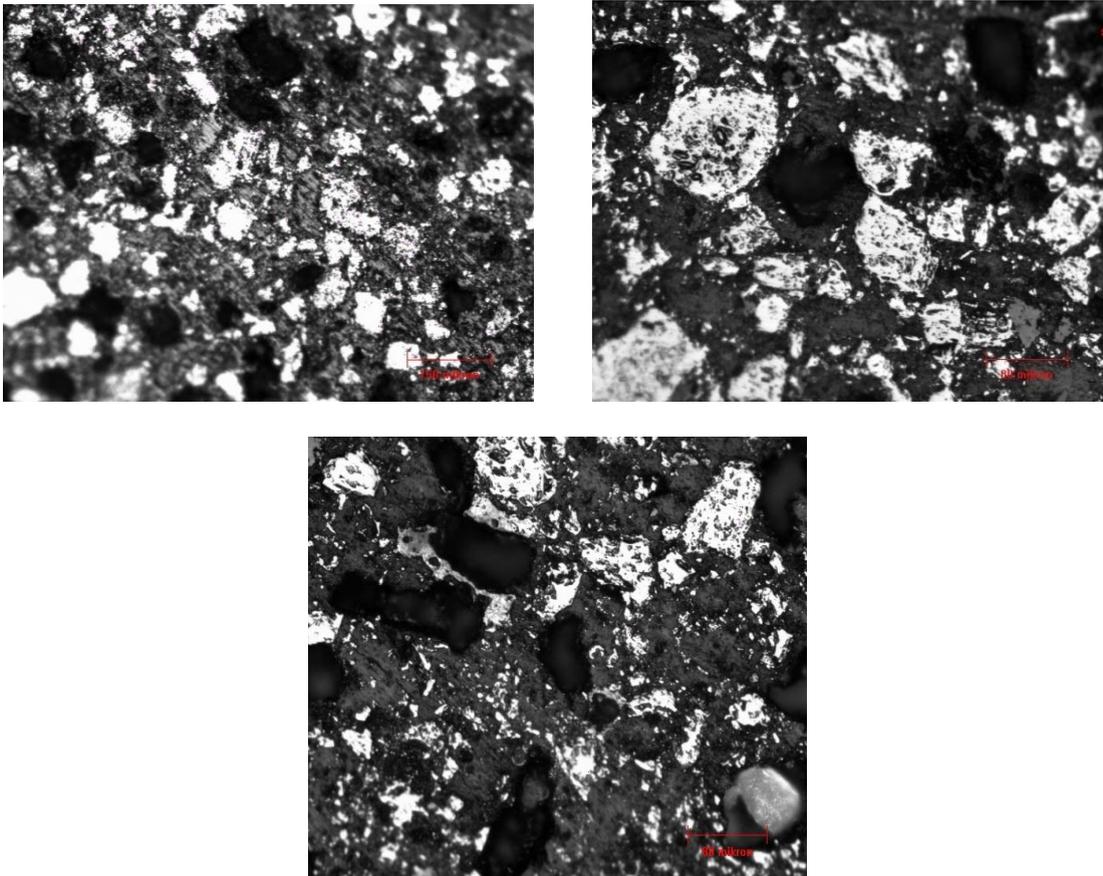


Gambar 6 Pengaruh waktu tahan terhadap persen metalisasi dengan binder bentonit dan dekstrin

3.3. Kinetika Reduksi

Waktu tahan merupakan salah satu parameter yang menentukan kinetika proses reduksi bijih besi. Kinetika reaksi pada proses reduksi bijih besi berhubungan dengan kecepatan merubah bijih besi yang masih dalam bentuk oksida menjadi besi metal dengan melepaskan oksigen yang terikat pada bijih tersebut. Dalam proses reduksi bijih besi dengan CO sebagai reduktor, bijih besi yang masih dalam bentuk oksida akan dirubah menjadi besi metal melalui beberapa tahapan mekanisme proses. Tahapan yang paling lambat dalam suatu proses akan menentukan keseluruhan kecepatan reaksi sehingga dapat disebut sebagai tahapan yang mengendalikan kecepatan reaksi atau *rate controlling step*. [Ross., 1980].

Kendali laju reaksi dapat ditentukan dengan melihat jumlah Fe metal dan pori yang terbentuk di setiap lapisan. Untuk mengetahui terbentuknya logam besi dan pori di permukaan, di lapisan antara permukaan dan inti serta di inti briket pada proses reduksi ini dilakukan analisa mikrostruktur dengan menggunakan mikroskop optik, seperti pada Gambar 7 menunjukkan fasa-fasa yang terbentuk setelah dilakukan proses reduksi pada temperatur 950°C dengan waktu tahan 120 menit.

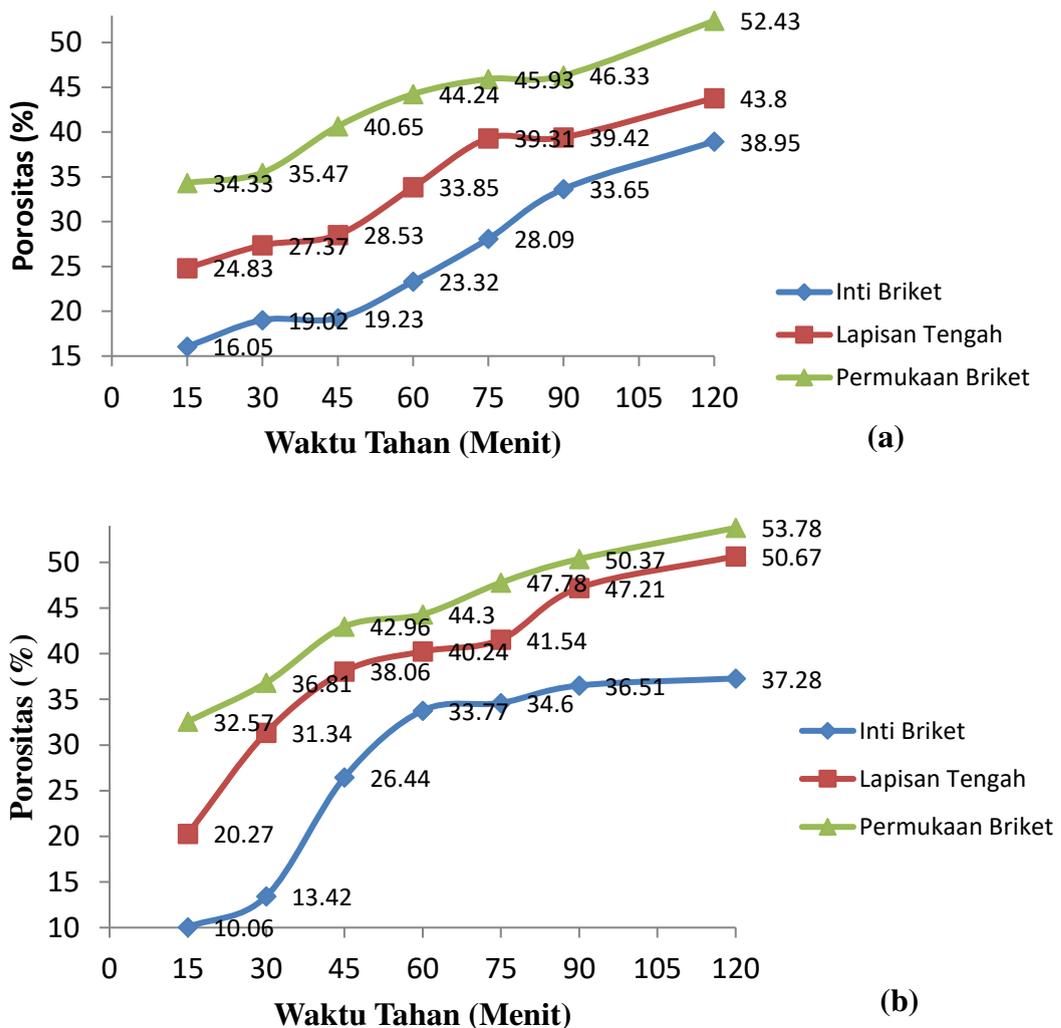


Gambar 7 Analisa mikrostruktur besi spons abu-abu(Oksida), Putih(Logam), Hitam(*Porous*). Gambar kiri atas analisa mikrostruktur di permukaan briket, kanan atas di lapisan tengah dan bawah di inti briket.

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa logam besi yang terbentuk pada permukaan besi spons hasil reduksi lebih banyak daripada di bagian tengah dan inti briket. Berdasarkan perhitungan Fe metal menggunakan *Image J* pada permukaan besi spons banyak Fe metal yang terbentuk 34%, di lapisan tengah yaitu 27,26% dan di inti briket yaitu 13,12%. Hal ini dikarenakan difusi gas CO terhambat seiring dengan bertambahnya waktu tahan sehingga pada inti briket Fe metal yang terbentuk mulai sedikit. Selain itu, difusi gas reduktor terhambat

dikarenakan porositas yang semakin berkurang. Berdasarkan perhitungan menggunakan *Image J* pada waktu 120 menit menggunakan *binder* dekstrin di permukaan briket terdapat porositas sebanyak 53,78%, di lapisan tengah terdapat 50,67% dan di inti briket terdapat porositas sebanyak 37,28%. Begitu pula pada waktu tahan 15, 30, 45, 60, 75, dan 90 menit yang dapat dilihat pada Gambar 8.

Jadi, semakin berkurang jumlah pori di setiap lapisan briket akan menghambat difusi gas reduktor ke dalam inti sehingga mengakibatkan semakin berkurangnya Fe metal yang terbentuk, sehingga dapat diasumsikan bahwa tahap yang paling lambat adalah difusi.



Gambar 8 Grafik Hubungan Waktu Tahan dan Porositas di Setiap Lapisan Briket Berdasarkan Perhitungan dengan Menggunakan *Image J* (a) *Binder* Bentonit dan (b) *Binder* Dekstrin.

Proses reduksi besi oksida sampai menjadi besi metal melalui tahapan-tahapan tertentu. Gas reduktor akan berdifusi menuju lapisan antarmuka besi oksida melalui suatu lapisan film. Dari kelima tahapan tersebut, tahapan kedua yaitu gas reduktor melalui lapisan produk ke reaksi antarmuka dan adsorpsi gas reduktor di lapisan antarmuka wustit merupakan reaksi paling lambat karena seiring berjalannya waktu tahan proses difusi gas reduktor mulai terhambat.

Semakin lama waktu tahan maka Fe metal yang terbentuk semakin banyak sehingga dapat menghambat difusi gas reduktor menuju lapisan antarmuka. Apabila difusi gas reduktor melambat maka proses yang mengendalikan reaksi adalah *Diffusion Control*. [Ray, H.S, 1992].

Untuk meningkatkan laju proses reduksi dapat dilakukan proses pengadukan karena ketika difusi gas yang melalui suatu lapisan produk menjadi faktor maka kecepatan reaksi akan berkurang dengan bertambah tebalnya lapisan produk.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Persen metalisasi besi spons tertinggi yaitu 71,68% didapatkan pada temperatur 950°C dengan waktu tahan 120 menit menggunakan *binder* desktrin.
- b. Persen metalisasi besi spons terendah yaitu 63,97% didapatkan pada temperatur 950°C dengan waktu tahan 15 menit menggunakan *binder* bentonit.
- c. Pengontrol laju pada proses reduksi pasir besi Cilacap adalah *Diffusion Controlled*.

DAFTAR RUJUKAN

- Biswas,A.K. 1981. *Principles of Blast Furnace Ironmaking*. Gootha Publishing House. Brisbane, Australia.
- Bogdandy, L& Engell,H.J. 1971. *The Reduction of Iron Ores*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg and Verlag Stahleisen. Dusseldorf
- Fatih Habashi. 1969. *Principles of Extractive Metallurgy*. Volume 1:Chapter 7. Kinetics of Heterogeneous Reaction. Gordon and Breach. New York
- Hasidevi, Z. 2009. *Pengaruh temperatur dan waktu tahan terhadap reduksi pasir besi Bayah*. Skripsi, yang tidak diterbitkan. Cilegon: Fakultas Teknik UNTIRTA
- Herianto, Edi. 2009. *Potensi Pengembangan Sumber Daya Mineral Pasir Besi di Indonesia*. Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI.
- Lankford.et al. 1985. *The Making, Shaping and Treating of Steel. United States Steel. 10 edition. Herbeck and Held. Pitsburg Pennsylvania. USA.*
- Park, E dan Ostrovski, O. 2004. *Reduction of the gas mixture of titanomagnetite ironsand and hematite iron ore fines by carbon monoxide*. Hal 214-216
- Patnaik, N.K. 2000. *Prospects of Indian DRI Industry and Availability of Non Cooking Coal*. India
- Ross, H. U. 1980. *Physical Chemistry: Part I Thermodynamics, Part II:Reaction Kinetics. Direct Reduced Iron Technology and Economics of Productions and Use. The Iron and Steel Society. Warrendale*. Hal 9-28.
- Rosenqvist, Terkel. 1983. *Principles of Extractive Metallurgy*, 2nd ed. Tokyo : McGraw Hill Kogakusha Ltd.
- Subraham Keshary Singh & Tintula Krishnan. 2008. *Reduction Kintecs of Iron Ore Pellets and The Effects of Binder*. Departement of Metallurgical and Materials Engineering National Institute of Technology Rourkel
- Sumaryono. 1991. *Mining and Coal Utilization Techniques*. :Penggunaan batubara sebagai bahan bakar langsung , hal 2-10. Pusat Pengembangan Teknologi Mineral Bandung.
- Sun, S.S. 1977. *A Study of Kinetics and Mechanisms of Iron Ore Reduction in Ore Coal Composites*. Canada: McMaster University.
- Utomo, Wahyudi. *Pengantar Teknologi Besi Baja*. Jurusan Teknik Metalurgi. FT.UNTIRTA. Cilegon-Banten.

