

**PEMBUATAN SPONGE IRON DARI BIJIH BESI LAMPUNG  
MENGUNAKAN ROTARY KILN DALAM RANGKA Mendukung Industri  
LOGAM NASIONAL**

**Yayat Iman Supriyatna, S.T., M.T.**

**Ir. Suharto, M.T.**

**Muhammad Amin, S.T.**

UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung-LIPI  
Jl. Ir. Sutami KM.15 Tanjung Bintang Lampung Selatan  
Telp : (0721) 350054 Fax (0721) 350056  
E-mail : yayat\_iman@yahoo.com

**ABSTRACT**

The availability of abundant mineral resources make Indonesia as a country that is potentially significant in the development and processing of minerals. Indonesia has abundant raw materials such as iron ore and other support material. But the limitations of the application of technology led to Indonesia's dependence on imported sponge iron and pig iron (pig iron) as raw material for the metal industry is still high. Lampung Province is one of the provinces in Indonesia which has the potential of local iron ore reserves are profitable and are eligible to be processed. The process of reduction of iron ore pellets in a rotary kiln and shaft furnace has done fairly satisfactory. In the research that has been conducted in 2011 produced sponge iron with metallization reaching 96% in the shaft furnace. Efforts to increase the degree of metallization of iron ore pellets to min. 90% in the reduction process in the rotary kiln with a continuous process has been carried out in 2012. Operating variables very important to known and observed (in order to obtain the desired quality of sponge iron) which is consist of iron ore pellet feed composition, the size of the bait, feed flow rate, profile operating temperature, speed of the rotary kiln, slope angle of rotary kiln, retention time, flow rate and inlet air temperature for the burner and the composition of the sponge iron. The process of reduction of iron ore pellets carried out at a temperature of 950 - 1200°C in a rotary kiln using pulverized burner modified UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung LIPI (UPT. BPML - LIPI), which has been patented and established as one of the outcomes Innovator in 2010 fueled local coal and other sources of energy based on biomass. Quality of sponge iron targeted which are have high levels of metal Fe  $\geq 80\%$  and  $\geq 90\%$  metallization degree. In this study, the best results are obtained sponge iron has a metal content of 62.62% Fe and 95.31% metallization degree.

*Keywords: iron ore, pulverized coal burner, reduction, rotary kiln, sponge iron.*

**ABSTRAK**

Ketersediaan sumberdaya mineral yang melimpah menjadikan Indonesia sebagai negara yang berpotensi signifikan dalam pengembangan dan pengolahan mineral. Indonesia memiliki bahan baku yang berlimpah berupa bijih besi dan material pendukung lainnya. Tetapi keterbatasan penerapan teknologi menyebabkan ketergantungan Indonesia pada impor *sponge iron* dan besi kasar (*pig iron*) sebagai bahan baku industri logam masih tinggi. Provinsi Lampung merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki potensi cadangan bijih

besi lokal yang menguntungkan dan memenuhi syarat untuk diolah. Proses reduksi *pellet* bijih besi dalam tungku diam dan tungku putar (*rotary kiln*) telah dilakukan dengan cukup memuaskan. Pada penelitian yang telah dilakukan pada tahun 2011 dihasilkan *sponge iron* dengan metalisasi mencapai 96% pada tungku diam dan tertutup. Upaya untuk meningkatkan derajat metalisasi *pellet* bijih besi hingga min. 90% dalam proses reduksi di *rotary kiln* dengan proses kontinyu telah dilakukan pada tahun 2012. Pada unit *rotary kiln* variabel operasi penting untuk diperhatikan dan diamati agar memperoleh kualitas *sponge iron* yang dikehendaki meliputi komposisi umpan *pellet* bijih besi, ukuran umpan, laju alir umpan, profil temperatur operasi, kecepatan putar *rotary kiln*, sudut kemiringan *rotary kiln*, waktu tinggal, laju alir dan temperatur udara masuk untuk *burner* dan komposisi *sponge iron*. Proses reduksi *pellet* bijih besi dilaksanakan pada temperatur 950 – 1200°C dalam *rotary kiln* menggunakan *pulverized burner* hasil rekayasa UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung LIPI (UPT BPML LIPI) yang telah dipatenkan dan ditetapkan sebagai salah satu hasil Inovator pada tahun 2010 berbahan bakar batu bara lokal dan sumber energi lainnya berbasis biomassa. Target kualitas *sponge iron* komersial yang diharapkan memiliki kadar Fe metal  $\geq 80\%$  dan derajat metalisasi  $\geq 90\%$ . Pada penelitian ini hasil terbaik *sponge iron* yang diperoleh memiliki kadar Fe metal 62,62% dan derajat metalisasi 95,31%.

Kata kunci: bijih besi, pulverized coal burner, reduksi, rotary kiln, sponge iron.

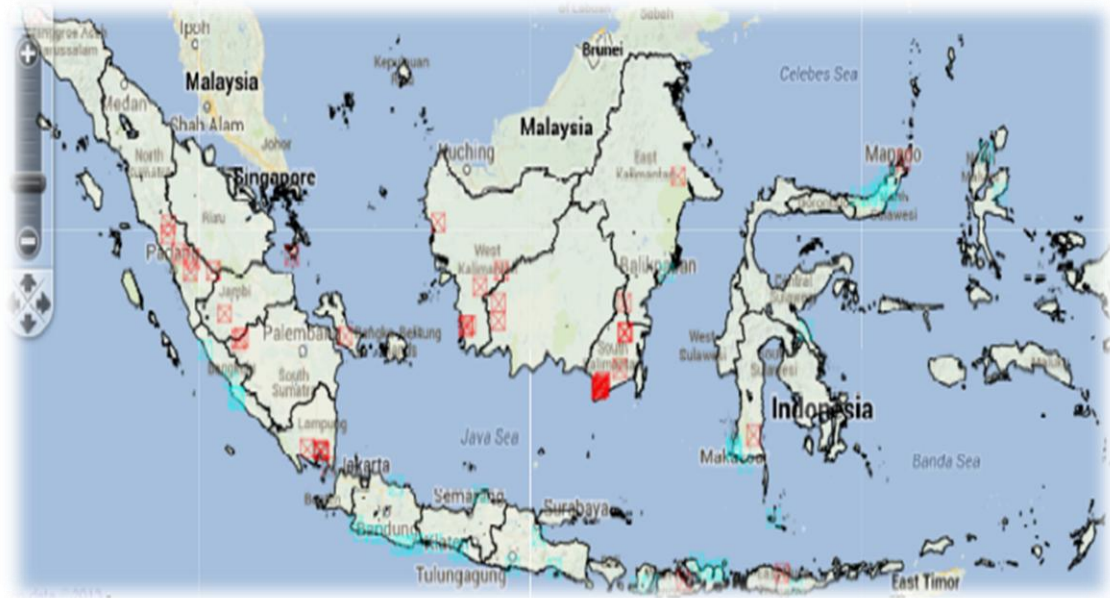
## PENDAHULUAN

Ketersediaan sumber daya mineral yang melimpah menjadikan Indonesia sebagai negara yang berpotensi signifikan dalam pengembangan dan pengolahan mineral. Namun, ketersediaan sumberdaya mineral yang melimpah belum menjadikan Indonesia bebas dari ketergantungan kepada negara lain misalnya dalam hal pemenuhan kebutuhan besi dan baja dalam negeri. Salah satu bahan yang dapat digunakan untuk pembuatan besi dan baja yaitu *sponge iron*. Keterbatasan penerapan teknologi menyebabkan Indonesia masih mengimpor *sponge iron* dalam jumlah yang cukup besar.

*Sponge iron* merupakan produk antara hasil reduksi bijih besi, dapat berbentuk *pellet* atau *lumps* dengan kadar Fe metal  $\geq 75\%$

(berdasarkan Permen ESDM No.8 Tahun 2015). Produk ini dapat dilebur di tungku busur listrik untuk menghasilkan besi atau baja. Alternatif lain, *sponge iron* juga dapat dilebur di tungku kupola menghasilkan besi kasar (*pig iron*).

Provinsi Lampung merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki potensi cadangan bijih besi lokal yang dapat diolah menjadi produk yang memiliki nilai tambah lebih tinggi, misalnya *sponge iron*. Peta sumber daya bijih besi di Indonesia ditampilkan pada Gambar 1 (lokasi keberadaan bijih besi ditunjukkan dengan tanda warna merah) dan Lampung ditampilkan pada Gambar 2 (lokasi keberadaan bijih besi ditunjukkan dengan warna hitam).



Gambar 1. Peta Sumber Daya Bijih Besi di Indonesia (webgis.djmbp.esdm.go.id)



Gambar 2. Peta Sumber Daya Bijih Besi di Lampung (regionalinvestment.bkpm.go.id)

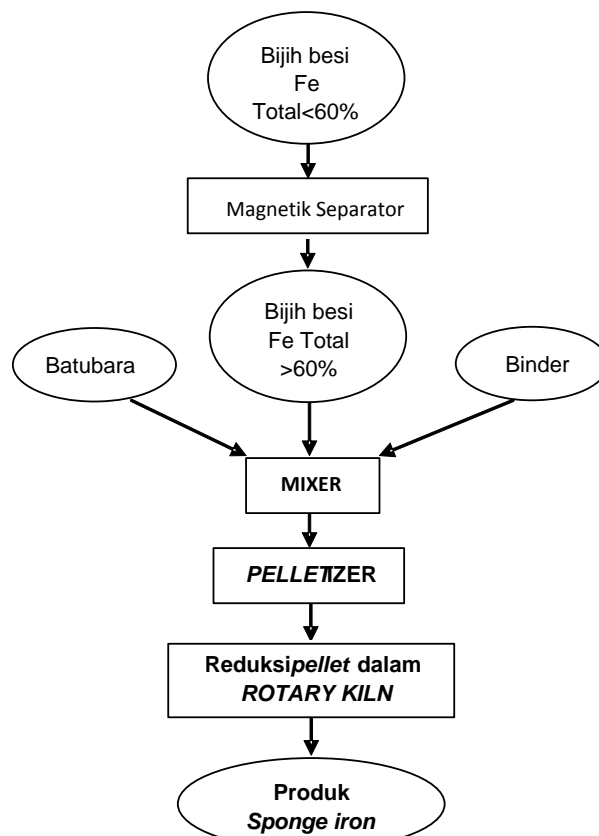
Undang - Undang No 4 Tahun 2009 mengatur tentang kewajiban bagi Pemegang Izin Usaha Pertambangan (IUP) dan Izin Usaha Pertambangan Khusus (IUPK) untuk melakukan peningkatan nilai tambah produk tambang mineral dan batubara melalui kegiatan pengolahan dan

pemurnian. Akan tetapi, jenis bijih besi asal Lampung memerlukan proses pengolahan terlebih dahulu sehingga dapat menghasilkan *sponge iron* yang memenuhi persyaratan Permen ESDM No.8 Tahun 2015 dan kebutuhan pasar logam nasional

terhadap *sponge iron* sebagai bahan baku pembuatan besi/baja.

Proses pembuatan *sponge iron* dapat menggunakan menggunakan *rotary kiln* atau tungku diam. Penelitian reduksi bijih besi lampung menggunakan tungku diam telah dilakukan UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung (BPML) – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Hasilnya cukup bagus yaitu dihasilkan *sponge iron* dengan metalisasi mencapai 96%. Reduksi pada tungku diam ini masih terdapat beberapa kekurangan yaitu proses reduksi belum dapat berjalan kontinyu, produk ada yang melekat satu sama lain dan

*pellet* yang berada ditengah (tidak terpanggang) tidak mengalami reduksi. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah -masalah yang terjadi pada reduksi dengan menggunakan tungku diam maka pada penelitian ini dilakukan proses reduksi *pellet* bijih besi dengan menggunakan *rotary kiln*. Hasil kegiatan penelitian ini bertujuan untuk mendukung industri logam nasional dalam hal penyediaan bahan *sponge iron* menggunakan bijih besi asal Lampung. Diagram alir proses pengolahan bijih besi menjadi *sponge iron* dalam *rotary kiln* yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir proses pengolahan bijih besi menjadi *sponge iron*

Pada penelitian ini proses reduksi *pellet* bijih besi dilakukan pada temperatur 950 – 1200°C dalam *rotary kiln* menggunakan *pulverized burner* hasil rekayasa UPT. BPML – LIPI yang telah dipatenkan dan ditetapkan sebagai salah satu hasil inovator pada tahun 2010 berbahan bakar batu bara lokal atau sumber karbon dari biomassa. Target kualitas *sponge iron* komersial yang diharapkan yaitu dengan derajat metalisasi  $\geq 90\%$ .

## METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen riil dalam *rotary kiln* didahului dengan studi literatur teori pembuatan *sponge iron*. Berdasar teori yang ada dan pengalaman sebelumnya, dibuat perkiraan hasil *sponge iron* yang didapat dengan kondisi proses tertentu. Perkiraan ini kemudian dilaksanakan

dengan percobaan riil dalam *rotary kiln* dengan jumlah *pellet* lebih kurang 250kg setiap perlakuan, hasil dibandingkan dengan teori dan perkiraan yang telah dikembangkan. Pengukuran suhu reduksi dilakukan dengan mengendalikan konsumsi bahan bakar melalui pengaturan kecepatan putar *screw feeder*, waktu reaksi, temperatur reduksi, analisa kimia dan fisika terhadap *pellet* sebelum dan setelah proses reduksi. Analisis kimia terutama dilakukan untuk mengetahui kandungan Fe metal dan Fe total untuk mengetahui persen metalisasi serta kadar karbon. Analisis kimia juga dilakukan pada bahan baku yaitu bijih besi, batubara dan binder bentonit. Bijih besi dianalisis menggunakan XRF dimana hasilnya ditampilkan pada Tabel 1. Hasil analisis bentonit ditampilkan pada Tabel 2 dan hasil analisis proksimat batubara ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 1. Hasil analisis XRF sampel bijih besi

Parameter	Satuan	Hasil
MnO <sub>2</sub>	%	1,21
Si O <sub>2</sub>	%	10,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	3,47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	81,19
TiO <sub>2</sub>	%	0,11
K <sub>2</sub> O	%	0,10
CaO	%	0,11
MgO	%	2,90
Na <sub>2</sub> O	%	0,044
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,20
CuO	%	0,12
BaO	%	Tt
SO <sub>3</sub>	Ppm	3120
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ppm	Tt
NiO <sub>2</sub>	Ppm	Tt
PbO	Ppm	858

Keterangan : Tt = tidak terdeteksi

Tabel 2. Hasil analisis bentonit

Parameter	Hasil
Moisture content (2 hr, 110 <sup>0</sup> C), %	8,6
Swelling index	24,05
pH (10% suspension)	9,50
Jelling forming	Jell

Tabel 3. Hasil analisis proksimat batubara

No.	Nama contoh	% Hasil analisa proximat			
		Moisture	Volatile	Ash	FC
1	Batubara	18,96	40,22	15,48	44,25

Variabel penelitian adalah temperatur reduksi dalam *rotary kiln* dan jenis *binder* yang digunakan. Indikator keberhasilan reduksi adalah persentase metalisasi yaitu perbandingan kadar Fe metal terhadap Fe total dalam *sponge iron*. Semakin besar nilai persentasi metalisasi semakin baik

proses reduksi atau konversinya. Proses uji coba reduksi bijih besi asal Lampung menggunakan *rotary kiln* ditampilkan pada Gambar 4. Produk hasil percobaan kemudian dianalisis kimia untuk mengetahui kadar Fe metal sehingga kualitas *sponge iron* dapat diketahui.



Unit Rotary Kiln



Pulverized Burner



Proses pemanasan Pulverized Burner



Proses ujicoba reduksi bijih besi menjadi *sponge iron*



Pengukuran suhu operasi



Sponge iron hasil proses reduksi

Gambar 4. Alat *rotary kiln* dan proses percobaan penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil percobaan yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

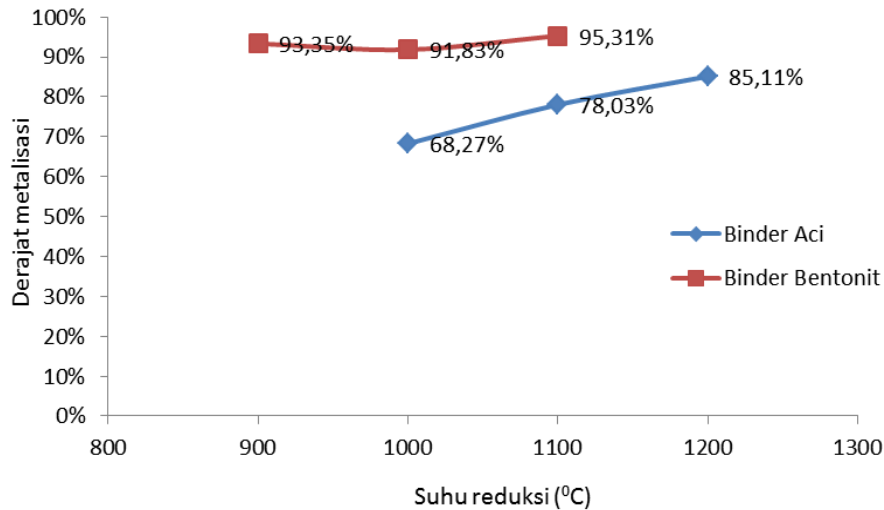
### ➤ Pengaruh suhu terhadap derajat metalisasi

Hasil percobaan reduksi bijih besi menjadi *sponge iron* ditampilkan pada Tabel 4 dan Gambar 5. Gambar 5 menunjukkan bahwa dengan semakin tinggi suhu proses yang digunakan

untuk reduksi pellet bijih besi maka derajat metalisasi juga semakin tinggi. Baik pellet bijih besi dengan binder bentonit maupun dengan binder aci menunjukkan hal yang sama. Hal ini dikarenakan pellet bijih besi mulai tereduksi pada suhu 700<sup>0</sup>C. Dengan suhu ruangan *rotary kiln* yang melebihi suhu teoritis untuk terjadinya reduksi bijih besi maka proses reduksi berlangsung dengan makin sempurna.

Tabel 4. Hasil percobaan reduksi pellet bijih besi dengan waktu reduksi 40 menit

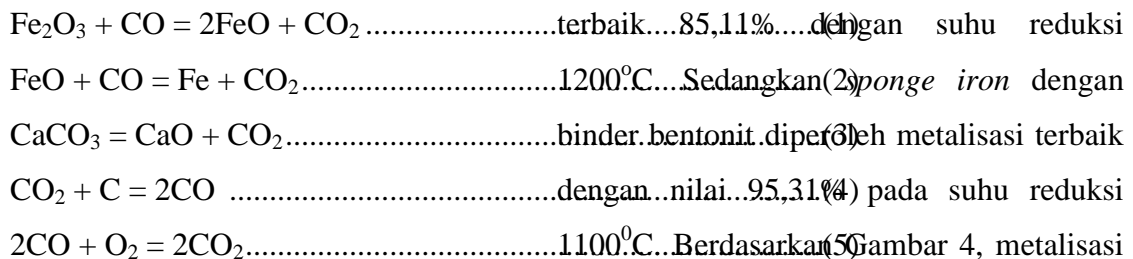
No.	Fe Metal (%)	Fe Total (%)	Derajat Metalisasi (%)	Binder	Temperatur Operasi (°C)
A1	60,35	70,91	85,11	Aci	1200
A2	55,33	70,91	78,03	Aci	1100
A3	48,41	70,91	68,27	Aci	1000
A4	62,62	65,70	95,31	Bentonit	1100
A5	60,33	65,70	91,83	Bentonit	1000
A6	61,33	65,70	93,35	Bentonit	900



Gambar 5. Pengaruh temperatur terhadap metalisasi besi

Proses yang terjadi didalam *rotary kiln* menurut kurva Boudouard's, dimana gas CO terjadi pada temperatur tinggi dari CO<sub>2</sub>, selanjutnya gas CO inilah yang akan mereduksi besi oksida menjadi Fe.

Reaksi reduksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Reaksi (4) dikenal sebagai reaksi Boudouard. Reaksi pembentukan reduktor CO terjadi pada saat pembakaran batu bara oleh udara padat temperatur diatas 950°C. Di muka *blower*, udara tiup akan segera bereaksi dengan batu bara membentuk gas CO melalui reaksi 4 dan reaksi 5 terjadi dimana reaksinya bersifat *exothermic* (menghasilkan panas dalam *rotary kiln*). Kedua reaksi (4 dan 5) tersebut akan

berkompetisi di dalam *rotary kiln* dan pada temperature tinggi diatas 950°C pembentukan gas CO lebih stabil dibandingkan dengan pembentukan gas CO<sub>2</sub>.

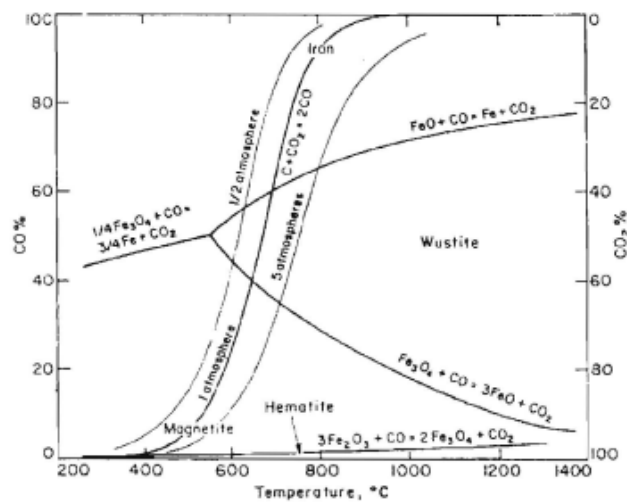
Berdasarkan grafik diatas untuk *sponge iron* dengan binder aci diperoleh metalisasi terbaik 85,11% dengan suhu reduksi 1200°C. Sedangkan (2) *sponge iron* dengan binder bentonit diperoleh metalisasi terbaik dengan nilai 95,31% (4) pada suhu reduksi 1100°C. Berdasarkan (5) Gambar 4, metalisasi semakin tinggi dengan naiknya temperatur, ini sesuai dengan reaksi utama (1) dan (2) yang terjadi.

Hasil yang didapatkan pada penelitian ini jika ditinjau dari laju kenaikan metalisasi menunjukkan hasil yang menaik tajam setelah temperatur 1000 – 1100°C. Hal ini berkaitan dengan reaksi Boudouard (1) yang berlangsung spontan pada temperatur di atas 1000°C. Perubahan



oksida besi menjadi logam dibawah pengaruh tekanan CO, hal ini dapat dilihat dari reaksi (1). Pengaruh tekanan CO dapat dilihat pada Gambar 6 yang menunjukkan bahwa perubahan oksida besi menjadi logam besi dapat terjadi melalui magnetit ( $Fe_3O_4$ ) maupun *wustite*. Magnetit dan *wustite* dapat direduksi oleh gas CO seiring dengan tingginya temperatur semakin tinggi tekanan gas CO, perubahan oksida besi menjadi logam semakin banyak jumlahnya.

Pada tekanan 1 atm, konsentrasi gas CO akan mencapai 100% pada temperatur dibawah  $1000^{\circ}C$  namun dengan karbon berlebih produksi CO masih terus berlangsung sehingga reduksi juga dapat terus terjadi. Proses reduksi yang terus berlangsung akan menyebabkan kadar Fe metal pada *sponge iron* semakin tinggi. Berdasarkan Gambar 6 pada suhu  $> 700^{\circ}C$  jika gas CO lebih dari 50% maka produk Fe metal akan semakin besar.



Gambar 6. Kurva Boudouard's pada reaksi reduksi besi oksida

➤ **Pengaruh binder terhadap derajat metalisasi**

*Sponge iron* dengan binder bentonit dan binder aci pada suhu reduksi ( $1100^{\circ}C$ ) yang sama hasil derajat metalisasi terbaiknya berturut – turut yaitu sebesar 95,31% dan 78,03%. Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa untuk suhu reduksi yang sama *sponge iron* dengan binder bentonit derajat metalisasinya lebih besar

daripada derajat metalisasi *sponge iron* dengan binder aci.

➤ **Analisa Teknis dan Ekonomis**

Tekno ekonomi sederhana pembuatan *sponge iron* dengan spesifikasi *sponge iron* komersial di pasaran :

- Fe.Tot. = min.90 ;
- Metalisasi = min.90 ;
- Fe.metal = min.87 ;
- C = 0,2 ;
- S = 0,008 ;

$P = 0,012$  ;

Gaunge = 1,6 ;

Analisa sederhana HPP untuk memproduksi 1 ton *sponge iron* membutuhkan material dan biaya sebagai berikut :

- Harga produk *sponge iron* Rp 3000/kg
- Bijih besi : 1275 kg x Rp 700/kg,- = Rp 892.500,-
- Batubara (20%) untuk reduktor 340 x Rp 900/kg = Rp 306.000,-
- Bentonit (5%) 85 kg x Rp 700,-/kg = Rp 59.500,-
- Batu bara untuk Energi 90 kg/jam x 4 jam x Rp 1.200/kg = Rp 432.000,-
- Upaha tenaga kerja langsung 3 orang per 4 jam @ Rp 30.000 = Rp 120.000,-

Jumlah = **Rp 1.810.000,-**

**Harga produk *sponge iron* Rp 3.000/kg x 1.000 kg = Rp 3.000.000,-**

**Gross profit margin sebesar Rp 1.190.000,-/ton *sponge iron*. Terlihat sangat menarik untuk dapat dikembangkan lebih lanjut.**

## KESIMPULAN

1. Nilai derajat metalisasi *sponge iron* tertinggi yaitu 95,31% untuk *sponge iron* dengan binder bentonit dan

suhu reduksi 1200<sup>0</sup>C dengan kadar Fe metal 62,62%.

2. Derajat metalisasi *sponge iron* dengan binder bentonit (suhu reduksi 1100<sup>0</sup>C, metalisasi 91,83%) lebih besar daripada derajat metalisasi *sponge iron* dengan binder aci (suhu reduksi 1100<sup>0</sup>C, metalisasi 78,03%) pada suhu reduksi yang sama.
3. Teknologi pembuatan *sponge iron* menggunakan *rotary kiln* dapat menjadi alternatif untuk pengolahan bijih besi sehingga mempunyai nilai tambah.
4. Pengembangan industri pengolahan bijih besi ini sangat penting, karena akan dapat menarik dan mendorong munculnya industri baru di sektor yang sama di tempat dan daerah tersedianya cadangan bijih besi dan bahan pendukung lainnya yang tersebar di Indonesia dalam hal ini khususnya Lampung.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alamsari Bayu, et al, Studi of the effect of Reduced Iron Temperature Rising on Total Carbon Formation in Iron Reactor Isobaric and Cooling Zone, Hindawi Publishing Corporation, Advance in Mechanical Engineering, Volume 2010, Article ID 192430, doi. 11.1155/2010/192430, January 2010
- Arabinda, S., *Sponge iron Production In Rotary Kiln* PHI Learning Privete Limited, New Delhi, 2011.

- Bleifuss Rodney L., et al, US Patent Pub. No. US 2005/0229748 A1, October 2005
- CAMCI Ladin, et al, Reduction of Iron Oxides in solid Wastes Generated by Steelworks, Turkish J. Eng. Env, Sci. 26, 37-44 TUBITAK, 2002.
- Chatterjee, A. 2010, *Sponge iron* Production bt Direct Reduction of Iron Oxide, PHI Learning Privete Limited, New Delhi, 2011.
- Doe Fundamentals Hand Book, Material Science Volume 1 and 2, Washington, January 1993.
- Gudenau Heinrich Wilhelm, et al, Research in The Reduction of Iron Ore Agglomerates Including Coal and C-containing Dust, ISIJ International Vol. 45 No. 4, pp. 603-608, 2005.
- Gunter Heitmann, et al, Process for Production of Iron *Sponge*, US Patent No. 3.486.883, December 1969
- Gunter Heitmann, et al, Process for Production of Iron *Sponge*, US Patent No. 3.663.201, May 1972
- Hashimoto Sumito, et al, Moving-Hearth Heating Furnance and Method for Making Reduced Metal Agglomerates, US Patent No. US 6.790.255 B2, September 2004
- Hirsch Martin, et al, Method for Producing Iron Carbide from Granulated *Sponge*Iron, US Patent Pub. No. US 6.627.171 B2, September 2003
- Iacotti Italo, et al, Process for The Production of Carburized *Sponge iron* Briquettes, US Patent No. 4.178.170, December 1979
- Ito Shuzo, et al, Metallic Iron Nugget s, US Patent Pub. No. US 2007/0258843 A1, November 2007
- Kashiwaya Yoshiaki, et al, Reaction Behavior of Facing Pair between Hematite and Graphite : A Coupling Phenomenon of Reduction and Gasification, ISIJ International Vol. 41 No. 8, pp. 818-826, 2001
- LU W-K., et al, The Evolution of Ironmaking Process Based on Coal-Containing Iron Ore Agglomerates, ISIJ International Vol. 41 No. 8, pp. 807-812, 2001
- Markotic A., et al, State of The Direct Reduction and Reduction Smelting Processes, Journal of Mining and Metallurgy, 38 (34-4) B 123-141, 2002-01-01
- Martinez-Vera Enrique R., et al, Method for Carburizing *Sponge iron*, US Patent No. 4.224.057, September 1980
- Matsui Takashi, et al, Influence of Gangue Composition on Melting Behavior of Coal-Reduced Iron Mixture, ISIJ International, Vol. 44, No. 12, pp. 2105-2111, 2004
- Murata H., et al, Consideration of Steel Scrap Melting in a Cupola, Conference Internationale Sur le Cubilot a Strasbourg Le 16-17 Mars 2000
- Nascimento Ramiro Conceicao, et al, Microstructures of Self-reducing Pellets Bearing Iron Ore and Carbon, ISIJ International Vol. 37 No. 11, pp. 1050-1056, 1997
- Negami Takuya, ITmk3 Technology, Direct from Midrex 1st Quarter 2001
- Peters, A.I, Ferrous Production Metallurgy, John Willey and Sons, East Chicago, 1981