

## Material dengan Kandungan Karbon Tinggi dari Pirolisis Tempurung Kelapa untuk Reduksi Bijih Besi

**Anton Irawan, Ristina Puspa dan Riska Mekawati<sup>\*)</sup>**

Jurusan Teknik Kimia, Fak. Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jln. Jendral Soedirman Km 3, Cilegon, 41353, Telp: (025)-395502, Fax: 0254-395440

### Abstrak

Karbon merupakan unsur penting untuk proses reduksi biji besi sebagai reduktor. Bahan baku pembuatan karbon untuk proses reduksi sebagian besar berasal dari minyak bumi, gas alam dan batubara. Dengan kebutuhan minyak dan batubara semakin meningkat serta merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui maka dibutuhkan bahan baku karbon dari sumber daya lain yang dapat diperbaharui. Tempurung kelapa merupakan salah satu sumber daya alam yang dapat dijadikan sebagai sumber bahan baku material karbon.

Tujuan dari penelitian ini adalah mencari kondisi optimum untuk reduksi biji besi oleh *high carbon material* dari pirolisa tempurung kelapa. Tempurung kelapa termasuk golongan kayu keras yang dapat ditingkatkan kadar karbonnya dengan pirolisa. Arang yang dihasilkan dari proses pirolisa tempurung kelapa akan diuji karakterisasi menggunakan analisa proksimat dan ultimat.

Pada penelitian ini hasil pirolisa tempurung kelapa yang digunakan memiliki kandungan fixed karbon 68,25% dan volatile matter 24,50%. Uji kinerja proses reduksi bijih besi dilakukan pada temperatur reduksi 1150°C dengan variasi waktu tahan reduksi 60, 75 dan 90 menit. Pada proses reduksi, persen metalisasi yang paling tinggi 97,33% pada waktu tahan 75 menit. Kadar karbon sisa tertinggi dengan reduktor arang tempurung kelapa yaitu 22,76% pada waktu tahan reduksi 60 menit.

**Kata kunci :** arang, metalisasi, pirolisis, , reduksi, tempurung kelapa

### 1. Pendahuluan

Bahan baku pembuatan karbon untuk proses reduksi bijih besi untuk skala besar maupun kecil berasal dari minyak bumi, gas alam dan batubara. Dengan pertumbuhan sektor industri yang meningkat pesat menyebabkan kebutuhan akan energi juga semakin meningkat. Minyak bumi, gas alam dan batubara merupakan sumber energi utama untuk sektor industri sebagai bahan bakar. Selain itu minyak bumi dan batubara juga sumber daya alam yang tidak diperbaharui. Kondisi ini menyebabkan perlunya sumber karbon lain untuk reduksi bijih besi khususnya dalam skala kecil menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Salah satu sumber daya alam yang dapat dipergunakan sebagai bahan baku untuk reduksi bijih besi adalah tempurung kelapa yang memiliki struktur morfologi yang mendekati batubara. Luas lahan kelapa di Indonesia mencapai 3,67 juta Ha yang memiliki potensi menghasilkan tempurung kelapa yang besar. Tempurung kelapa merupakan limbah dari penggunaan buah kelapa yang selama ini kurang pemanfaatannya. Industri kopra merupakan salah satu industri penghasil tempurung kelapa dalam skala yang cukup besar.

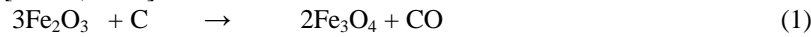
Tempurung kelapa berfungsi untuk melindungi inti buah kelapa (air dan daging) dan berupa suatu lapisan yang keras dengan ketebalan sekitar 3-5 mm. Tempurung kelapa bisa dikategorikan sebagai kayu keras yang memiliki komposisi kimiawi yang mirip dengan kayu terdiri atas lignin sekitar 35-40 %, selulosa sekitar 30-35 % dan hemiselulosa sekitar 15-25% (Bambang, 2009). Dengan kandungan tersebut maka tempurung kelapa memiliki potensi sebagai material karbon untuk proses reduksi bijih besi khususnya bijih lokal laterit pada skala kecil.

Bijih besi merupakan bahan baku utama dalam industri baja untuk menghasilkan produk-produk logam baja. Bijih besi adalah batuan yang mengandung mineral besi dan sejumlah mineral gauge seperti silika, alumina dan magnesia. Kandungan-kandungan dari bijih besi di alam dalam bentuk besi oksida seperti hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), limonit ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) dan wustite ( $\text{FeO}$ ). Bijih besi oksida harus direduksi sebelum dipergunakan dalam pembuatan besi baja untuk menghilangkan kandungan oksigen yang ada didalamnya. Proses reduksi ada 2 macam yaitu proses reduksi langsung dan proses reduksi tidak langsung. Proses reduksi secara tidak langsung dilakukan dalam *blast furnace* dengan reduktor berupa batubara, kokas atau char dengan temperatur diatas titik lebur besi, sehingga produk reduksi tidak langsung merupakan lelehan logam Fe yang akan dicetak menjadi *pig iron*. Proses

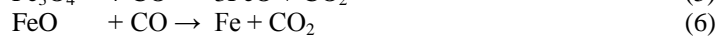
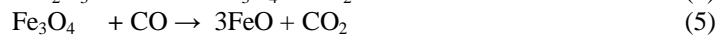
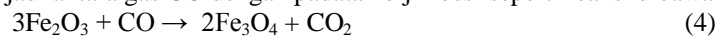
<sup>\*)</sup> . E-mail: [anton@ft-untirta.ac.id](mailto:anton@ft-untirta.ac.id)

reduksi langsung merupakan proses pemisahan Fe dari oksigen dengan reduktor berupa padatan seperti batubara atau gas alam seperti gas methane. Proses reduksi langsung dilakukan dibawah titik lebur besi sehingga produk yang dihasilkan dalam bentuk padatan.

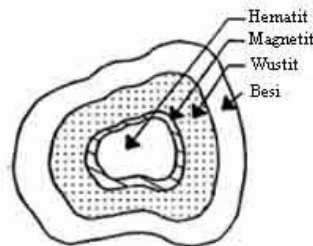
Proses reduksi bijih besi menggunakan reduktor padatan berupa karbon yaitu batubara, coke, dan greencoke. Padatan karbon dapat mereduksi wustit pada temperatur diatas 700°C. Pada temperatur dibawah 950°C reaksi pada permukaan karbon akan berjalan dengan lambat, sehingga temperatur yang digunakan untuk mereduksi bijih besi dengan reduktor padatan adalah 1000°C sampai 1200°C. Keseluruhan reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut : [Pelton, 2000]



Reaksi ini akan berjalan secara endotermik atau memerlukan panas untuk meningkatkan produknya pada temperatur 1000°C. Proses reduksi langsung dengan reduktor padatan karbon seperti pada reaksi (1), (2) dan (3) sulit terjadi. Hal ini disebabkan reaksi antara partikel padatan karbon dengan partikel padatan bijih besi yang sangat lambat dikarenakan kurangnya kontak langsung antar partikel-partikel tersebut. Oleh karena itu, proses reduksi sesungguhnya terjadi antara gas CO dengan padatan bijih besi seperti reaksi dibawah ini



Reaksi antara dua fasa padat secara visual hanya dapat terjadi pada tahapan awal proses reduksi yaitu ketika pertama kali terjadi tumbukan secara langsung antara bijih besi dengan karbon. Reduksi langsung bijih besi oleh karbon padat sepertinya hanya dapat digambarkan ketika gas CO hasil gasifikasi karbon secara langsung berdifusi secepat gas CO terbentuk [Ross.,1980]. Tumbukan secara langsung antara bijih besi dengan karbon akan terganggu ketika terbentuk besi-metal pada permukaan bijih besi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1



**Gambar. 1.** Ilustrasi skematik besi oksida yang tereduksi secara parsial [Ross., 1980]

Salah satu jenis bijih besi yang dapat direduksi adalah bijih besi laterit yang terdapat di Indonesia dengan perkiraan potensi sebanyak 126, 8 juta ton (Utoyo, 2008). Dengan potensi yang besar tersebut maka pemanfaatan bijih besi lokal sebagai bahan baku utama industri baja nasional semakin ditingkatkan oleh pemerintah. Penelitian-penelitian pemanfaatan bijih besi lokal dengan menggunakan sumber karbon dari minyak bumi dan batubara telah dilakukan dalam rangka untuk mengkaji kelayakan bijih besi laterit sebagai sumber bahan baku utama Industri Baja Nasional

Hasil penelitian sebelumnya untuk proses reduksi biji besi laterit serta sumber karbon untuk reduktor adalah 75% dari batubara dan 25 % green coke minyak bumi didapatkan komposisi optimal reduktor 25 % (Milandia, 2005). Pada penelitian lain menggunakan 100 % batubara didapatkan persen metalisasi 95,8 % pada temperatur 1150°C dengan ukuran partikel batubara -4+10 mesh serta waktu tahan reduksi 75 menit (Budi Syafari, 2009).

Penelitian-penelitian tersebut lebih mengarah untuk pemanfaatan bijih besi laterit sebagai sumber bahan baku industri baja tetapi penelitian untuk pemanfaatan sumber material pereduksi (reduktor) yang selama ini menggunakan minyak bumi, batubara dan gas alam belum banyak dilakukan. Maka penelitian ini untuk mengetahui potensi tempurung kelapa sebagai sumber material karbon untuk proses reduksi bijih besi lokal laterit. Tempurung kelapa akan mengalami proses pirolisis untuk menghilangkan kandungan air dan zat terbang untuk meningkatkan kandungan karbon dari tempurung kelapa. Hasil pirolisis berupa material karbon tempurung kelapa dengan kandungan karbon yang tinggi akan dipergunakan sebagai material reduksi pada proses reduksi bijih besi laterit.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

Material tempurung kelapa yang digunakan berasal dari salah satu industri kopra yang berada di wilayah Banten. Tabel 1 menunjukkan komposisi kandungan bahan baku tempurung kelapa dari analisa proksimate

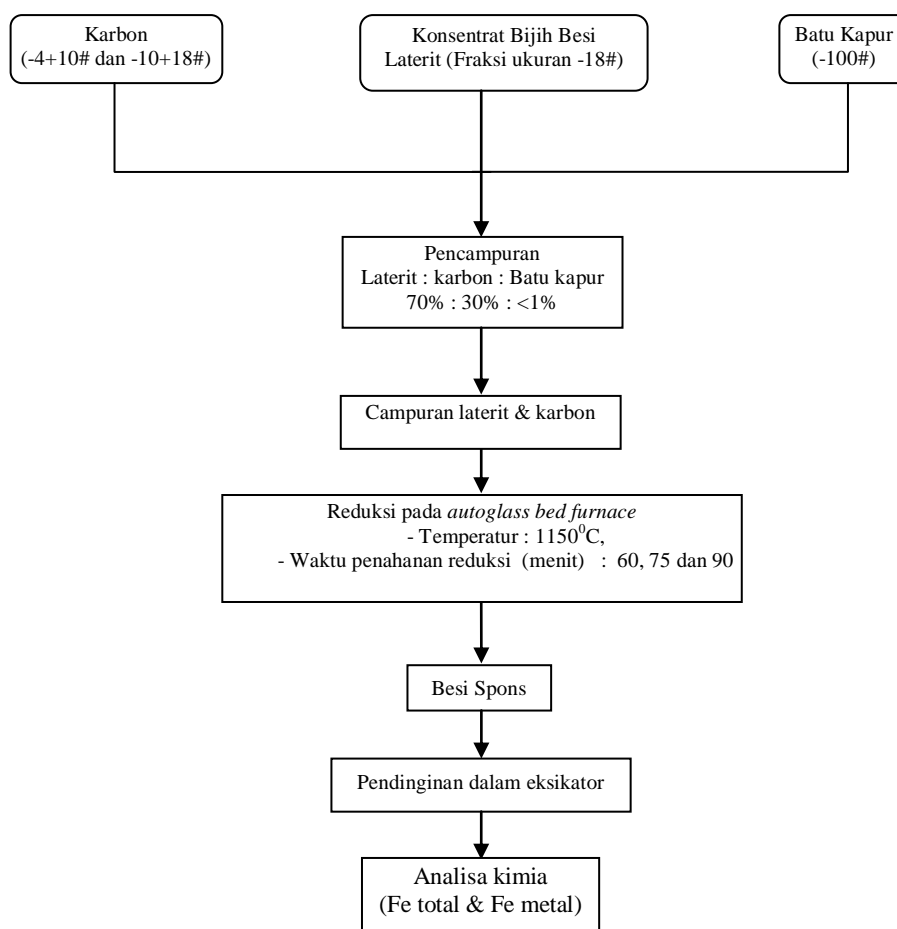
Tabel 1 Hasil Analisa Proksimate Tempurung Kelapa

Komponen	Kadar (%-berat)
Fixed Carbon	16.69
Moisture	9.9
Volatile matte	72.55
Ash	0.86

Bijih besi laterit merupakan bijih besi laterit dari Kalimantan. Komposisi bijih besi laterit yang dipergunakan dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2 Komposisi kimia Bijih Besi Laterit

Komponen	Kadar (%-berat)
Fe total	59,45
Ni	0,19
SiO <sub>2</sub>	1,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,91
LOI & Moisture	7,09
Fe <sup>2+</sup>	0,4



Gambar. 2. Diagram alir penelitian reduksi bijih besi

Tahapan penelitian dimulai analisa proksimat dari kandungan tempurung kelapa yang digunakan yang hasilnya terlihat pada Tabel 1. Selanjutnya proses produksi karbon material dari tempurung kelapa melalui proses pirolisis pada temperatur antara 400-900°C dengan membagi tempurung kelapa menjadi 1/8. Pengecilan ukuran tempurung kelapa bertujuan untuk memperlancar proses perpindahan panas selama proses pirolisa. Proses pirolisa dilakukan didalam *muffel furnace* yang memiliki kontrol temperatur hingga temperatur 1000°C. Hasil dari pirolisa dianalisa secara proksimate untuk mengetahui kandungan fixed carbon dan volatile matter. Pada proses pirolisa diharapkan tidak seluruhnya volatile matter terhilangkan karena volatile matter masih dimanfaatkan untuk memberikan panas pada saat awal proses reduksi berlangsung dari kemudahan terbakarnya volatile matter. Material karbon yang dihasilkan merupakan material karbon yang memenuhi persyaratan sebagai reduktor yaitu

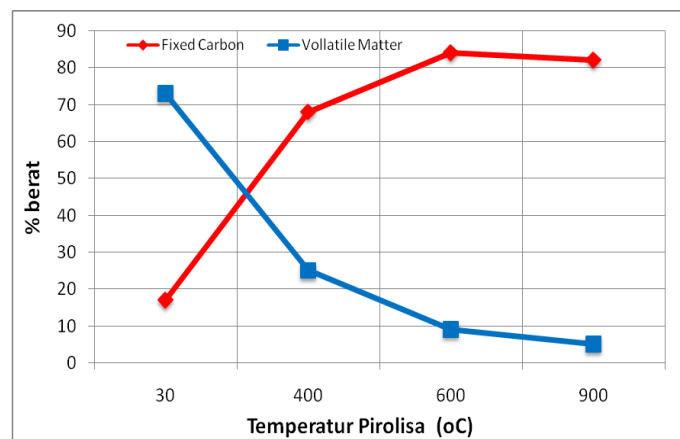
- Fixed carbon : 35 - 65 %
- Volatile matter : 20 - 35 %
- Ash : max 15 %
- Air : max 15 %

Material karbon hasil pirolisa tempurung kelapa kemudian discrenning untuk mendapatkan ukuran yang sesuai dan dicampur dengan bijih besi laterit serta kapur seperti prosedur pada Gambar 2. Perbandingan antara bijih besi dan material karbon hasil pirolisa adalah 70 % bijih besi dan 30 % material karbon. Penambahan kapur berfungsi untuk mengikat oksida asam yang terdapat pada bijih besi laterit. Kapur yang diberikan sekitar 1 % dari berat total campuran. Variasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah ukuran dari material karbon (-4+10 mesh dan -10+18 mesh) dan waktu penahanan reduksi (menit): 65, 75 dan 90 menit dengan temperatur reduksi 1150°C. Hasil dari proses reduksi kemudian dianalisa secara kimia (titrasi) untuk mendapatkan Fe metal dan Fe total. Fe metal adalah semua Fe yang tidak dalam bentuk oksida sedangkan Fe total merupakan semua Fe baik berupa oksida dan non oksida. Dari Fe metal dan Fe total dapat dihitung % metalisasi proses reduksi seperti pada persamaan (7)

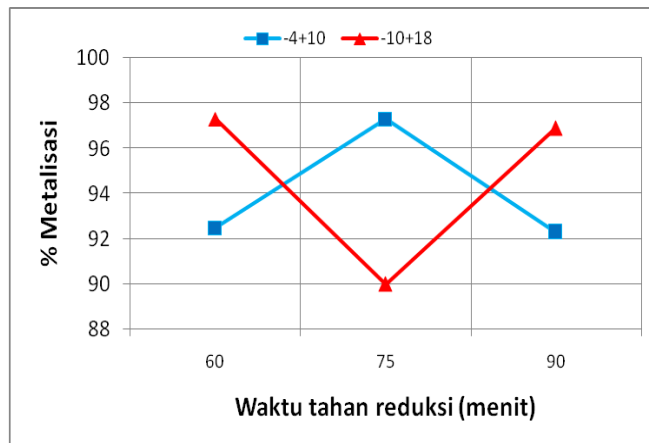
$$\% \text{metalisasi} = \frac{Fe_{\text{metal}}}{Fe_{\text{total}}} \times 100\% \quad (7)$$

### 3. Hasil dan Pembahasan

Temperatur dari proses pirolisa mempengaruhi kandungan fixed carbon dan volatile matter dari karbon material yang dihasilkan. Gambar 3 memperlihatkan pengaruh temperatur proses pirolisa dalam *muffel furnace* terhadap kandungan fixed carbon (FC) dan volatile matter (VM). Kandungan fixed carbon meningkat akibat hilangnya kandungan air serta sebagian dari volatile matter. Makin tinggi temperatur dari proses pirolisa makin meningkatkan kandungan fixed carbon dan menurunkan kandungan volatile matter. Kandungan VM disesuaikan dengan syarat sebagai material reduktor karena VM berperan dalam proses reduksi untuk memberikan panas awal dengan adanya kandungan combustible gas pada volatile matter. Syarat material karbon sebagai reduktor memiliki kandungan VM minimal 20 % maka material karbon yang akan digunakan pada proses reduksi dihasilkan dari pirolisa pada temperatur 400°C (Gambar 3).



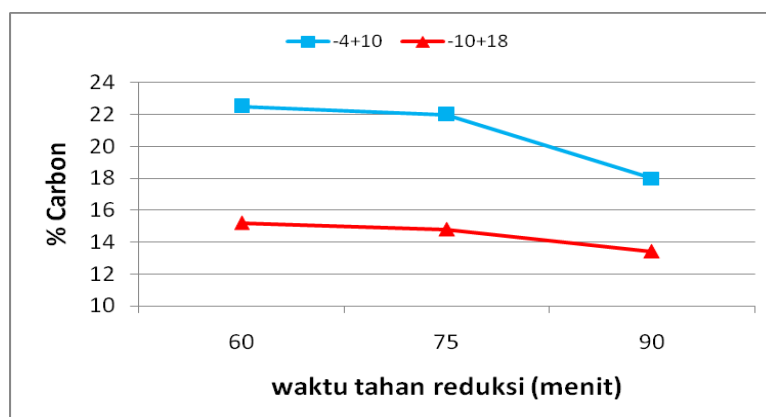
Gambar. 3. Pengaruh temperatur proses pirolisa tempurung kelapa terhadap kandungan fixed carbon dan volatile matter



**Gambar. 4. Pengaruh waktu tahan reduksi terhadap derajat metalisasi untuk beberapa ukuran carbon material dari tempurung kelapa**

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan pola kenaikan kurva persen metalisasi terhadap waktu tahan untuk fraksi ukuran  $-4 +10\#$  dan  $-10 +18\#$ . Kurva persen metalisasi pada fraksi ukuran  $-4+10\#$  terhadap waktu tahan 90 menit cenderung terjadi penurunan yaitu 92.3% setelah terjadi kenaikan persen metalisasi pada waktu tahan 75 menit yang memiliki persen metalisasi tertinggi yaitu 97.3%. Terjadinya penurunan persen metalisasi pada waktu tahan 90 menit salah satunya disebabkan oleh terbentuknya lapisan padat besi-metal pada permukaan besi oksida. Padatan besi metal ini dapat terbentuk karena pada waktu tahan yang lebih lama ion  $Fe^{2+}$  mengalami difusi pada reaksi perubahan wustit menjadi besi metal yang pada akhirnya mengendap sebagai Fe (metal) pada permukaan besi oksida. Pembentukan lapisan padat besi-metal pada permukaan besi oksida akan menghambat difusi gas CO sehingga proses reduksi akan menjadi semakin sulit. Kondisi tersebut akan mengakibatkan kecepatan difusi gas CO yang semakin lambat, kecepatan difusi gas CO yang semakin lambat akan menurunkan konsentrasi gas CO pada kesetimbangan gas CO-CO<sub>2</sub> sehingga konsentrasi reaksi produk CO<sub>2</sub> akan semakin banyak pada permukaan [Ross., 1980]. Adapun jika lapisan padat besi-metal telah terbentuk maka proses reduksi hanya dapat dilanjutkan oleh difusi atom C.

Gambar 4 untuk fraksi ukuran  $-10+18$  untuk waktu tahan 60 menit dengan temperatur proses sebesar 1150 °C, persen metalisasi telah mencapai 93,7%. Namun demikian pada waktu tahan 75 menit persen metalisasi menurun menjadi 90 %. Penurunan persen metalisasi salah satunya disebabkan belum stabilnya gas CO di dalam sistem. Penggunaan karbon sebagai reduktor memerlukan suatu tahapan tertentu sebelum terjadinya proses reduksi yaitu proses gasifikasi karbon tempurung kelapa untuk menghasilkan gas CO. Pada saat gas CO belum stabil dan kesetimbangan antara gas CO-CO<sub>2</sub> berada pada daerah wustit, maka untuk mendapatkan Fe metal akan menjadi sulit. Pada saat waktu tahan 90 menit persen metalisasi meningkat yaitu mencapai 97%. Hal ini mengindikasikan bahwa gas CO mulai stabil sehingga proses reduksi akan berlangsung lebih baik.



**Gambar 5 Pengaruh waktu tahan reduksi terhadap % sisa karbon untuk beberapa ukuran carbon material dari tempurung kelapa**

Penggunaan reduktor karbon arang tempurung kelapa pada bijih besi akan menghasilkan karbon sisa pada besi spons yang dihasilkan dari proses reduksi bijih besi. Pada Gambar 5 dapat diketahui bahwa semakin lama waktu tahan reduksi, maka persen karbon sisa akan berkurang. Hal ini dikarenakan konsumsi gas CO yang semakin meningkat oleh reduksi biji besi akan meningkatkan gasifikasi karbon. Pada ukuran -10+18# dengan waktu tahan 90 menit terjadi penurunan karbon hingga 13,35 % tetapi karbon yang tersisa masih sangat tinggi. Besi spons yang dihasilkan dari proses reduksi biji besi diharapkan memiliki kadar karbon sisa 2% agar mudah digunakan dalam pembuatan baja. Kondisi ini terjadi karena konduktifitas panas pada proses masih terlalu rendah untuk meningkatkan laju reaksi gasifikasi karbon.

#### 4. Kesimpulan

Persen metalisasi besi spons akan meningkat dengan penambahan waktu tahan reduksi sampai dicapai suatu harga maksimum, kemudian persen metalisasi akan menurun walaupun proses reduksi berjalan lebih lama. Persen metalisasi yang paling tinggi adalah 97.3% pada waktu tahan reduksi 75 menit dan fraksi ukuran -4+10#. Pada proses reduksi dengan karbon tempurung kelapa, semakin lama waktu tahan reduksi, maka persen karbon yang tersisa semakin menurun. Kadar karbon sisa tertinggi terjadi pada waktu tahan reduksi 60 menit yaitu 22,76% (-4+10#). Karbon sisa yang tinggi menunjukkan bahwa reduktor carbon material dari tempurung kelapa yang diberikan terlalu berlebih.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Krakatau Steel yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- A.K Ray and K.K Prasad, (1992) ,”A model for the isothermal reduction of iron ore with coal char”, *Solid State Ionics Journal*, 50, 217-226
- Milandia, A. (2005). “Studi Pendahuluan Pembuatan Besi Spons Menggunakan Bijih Besi Lokal Dengan Reduktor Campuran Batubara” – *Greencoke*. Skripsi. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten. Indonesia.
- Pelton D. A dan Christopher. W. B. (2000). ”Thermodynamics”. *Direct Reduced Iron Technology and Economics of Production and Use*, Warrendale : The Iron and Steel Society, hal 28-39.
- 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 19-34.
- Syafari, Budi. (2009). “Pengaruh Temperatur, Waktu dan Fraksi Ukuran Terhadap Persen Metalisasi Besi Spons Konsentrat Bijih Besi Laterit Kota Waringi Timur”. Skripsi. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten. Indonesia.
- Utoyo, Hari. (2008).” Penelitian Geologi Cebakan Bijih Besi Daerah Pemalian, Kalimantan Tengah”. Pusat Survei Geologi, Badan Geologi. Bandung