

## BAB IV DATA HASIL PENELITIAN

### 4.1. DATA KARAKTERISASI BAHAN BAKU

Proses penelitian ini diawali dengan karakterisasi sampel batu besi yang berbentuk serbuk. Sampel ini berasal dari Kalimantan Selatan. Karakterisasi dilakukan dengan metode X-RAY Diffraction (XRD) untuk mengetahui unsur/senyawa apa saja yang terdapat dalam sampel batu besi tersebut.

Berikut ini tabel data unsur/senyawa yang terdapat pada sampel :

**Tabel 4.1** Unsur/Senyawa pada Sampel Batu Besi

Unsur / Senyawa	Ada	Tidak
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	√	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	√	
FeO		√
Fe		√
SiO <sub>2</sub>	√	

### 4.2. DATA HASIL REDUKSI LANGSUNG

#### 4.2.1. Hasil Penelitian pada Temperatur 600 °C

Pengujian pada temperatur 600 °C dilakukan terhadap sampel yang memiliki perbandingan batu besi dengan batu bara 1:1, 1:3, dan 1:5 dengan variasi waktu proses 5 menit, 10 menit, dan 20 menit. Setelah direduksi, sampel dikarakterisasi dengan XRD. Berikut ini adalah data yang didapat dari pengujian XRD :

**Tabel 4.2** Data Hasil Reduksi Langsung Batu Besi pada Temperatur 600 °C

Temperatur 600 °C												
Waktu (Menit)	Perbandingan Serbuk Batu Besi dan Batu Bara											
	Perbandingan 1 : 1				Perbandingan 1 : 3				Perbandingan 1 : 5			
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	FeO	Fe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	FeO	Fe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	FeO	Fe
5	√	√			√	√			√	√		
10	√	√			√	√			√	√		√
20	√	√			√	√		√	√	√		

#### 4.2.2. Hasil Penelitian Penelitian pada Temperatur 800 °C

Pengujian pada temperatur 800 °C dilakukan terhadap sampel yang memiliki perbandingan batu besi dengan batu bara 1:1, 1:3, dan 1:5 dengan variasi waktu proses 5 menit, 10 menit, dan 20 menit. Setelah direduksi, sampel dikarakterisasi dengan XRD. Data yang diperoleh terdapat pada tabel 4.3 dibawah ini :

**Tabel 4.3** Data Hasil Reduksi Langsung Batu besi pada Temperatur 800 °C

Temperatur 800 °C												
Waktu (Menit)	Perbandingan Serbuk Batu Besi dan Batu Bara											
	Perbandingan 1 : 1				Perbandingan 1 : 3				Perbandingan 1 : 5			
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	FeO	Fe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	FeO	Fe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	FeO	Fe
5	√	√		√	√	√		√	√	√		√
10	√			√	√	√		√	√	√		√
20	√	√		√	√	√		√	√	√		√

#### 4.2.3. Hasil Penelitian pada Temperatur 1000 °C

Pengujian pada temperatur 1000 °C dilakukan terhadap sampel yang memiliki perbandingan batu besi dengan batu bara 1:1, 1:3, dan 1:5 dengan variasi waktu proses 5 menit, 10 menit, dan 20 menit. Setelah direduksi, sampel dikarakterisasi dengan XRD. Hasil yang diperoleh terdapat pada tabel 4.4 dibawah ini :

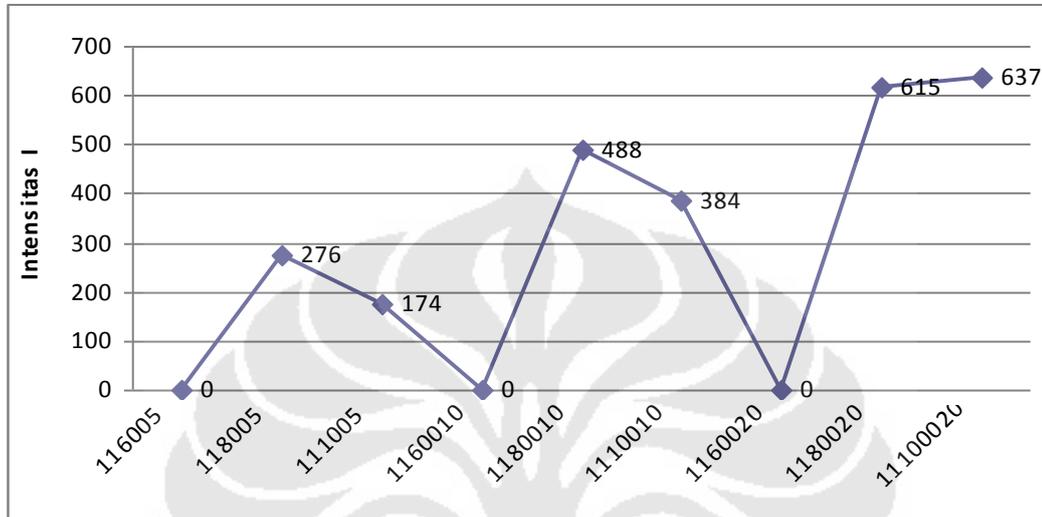
**Tabel 4.4** Data Hasil Reduksi Langsung Batu Besi pada Temperatur 1000°C

Temperatur 1000 °C												
Waktu (Menit)	Perbandingan Serbuk Batu Besi dan Batu Bara											
	Perbandingan 1 : 1				Perbandingan 1 : 3				Perbandingan 1 : 5			
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	FeO	Fe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	FeO	Fe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	FeO	Fe
5	√			√	√	√		√	√	√		√
10	√	√		√	√	√		√	√	√		√
20	√	√		√	√	√		√	√	√		√



## BAB V PEMBAHASAN

### 5.1 PERBANDINGAN BATU BESI DAN KARBON 1:1



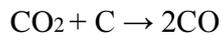
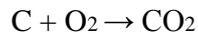
**Gambar 5.1** Grafik hasil reduksi langsung pada perbandingan karbon 1:1

Secara umum pada perbandingan kadar karbon 1:1 semua hasil XRD menunjukkan hasil yang mirip pada semua waktu pemanasan yaitu semakin tinggi temperatur intensity count dari Fe semakin tinggi dan pada temperatur 600°C Fe belum terbentuk sehingga batu besi masih dalam bentuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

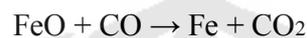
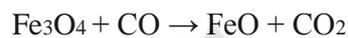
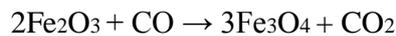
Pada temperatur 20 menit, Fe belum terbentuk pada temperatur 600 °C. Dan pada temperatur 800 intensitas Fe naik menjadi 615. Ini mengindikasikan bahwa Fe telah terbentuk. Sedangkan pada temperatur 1000 °C intensitasnya kembali naik menjadi 637 yang mengindikasikan bahwa Fe yang terbentuk semakin banyak.

Hal ini berindikasi baik, yakni proses berjalan dengan baik seiring bertambahnya temperatur, maka bertambah pula intensitas Fe. Hal ini sesuai dengan literatur Boudouard, yaitu semakin tinggi temperatur maka reaksi pembentukan Fe akan semakin mudah, karena pada temperatur tinggi karbon dioksida bereaksi dengan karbon membentuk karbon monoksida karena reaksi ini endotermik oleh karena itu persentasi CO semakin tinggi.

Reaksi reduksi pembentukan Fe dapat berjalan dengan baik jika besarnya persentasi CO minimal 60% sehingga pada temperatur yang makin tinggi maka makin tinggi pula intensitas Fe yang didapatkan. Reaksi karbon selama terjadi pemanasan dapat diilustrasikan sebagai berikut :



Gas CO yang terbentuk bertindak sebagai gas reduktor dengan reaksi:



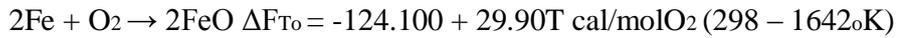
Semakin tinggi temperature maka intensitas Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> akan semakin kecil karena telah tereduksi menjadi Fe. Begitupun sebaliknya, semakin tinggi temperatur maka intensitas Fe akan semakin bertambah. Semakin tinggi temperatur maka derajat reduksi (%) semakin tinggi[10]. Jadi semakin tinggi temperatur akan semakin mudah terbentuk Fe.

Pada pemanasan 5 menit dengan temperatur 600°C Fe belum terbentuk, pada temperatur 800°C Fe telah terbentuk intensitasnya 276 dan pada temperatur 1000°C intensitasnya menurun menjadi 174. Hal serupa juga terjadi pada pemanasan 10 menit dengan temperatur 600°C Fe juga belum terbentuk sedangkan pada temperatur 800 °C sudah terbentuk Fe dengan intensitas 488. sedangkan pada temperatur 20 menit, terdapat Fe tetapi intensitasnya menurun menjadi 384.

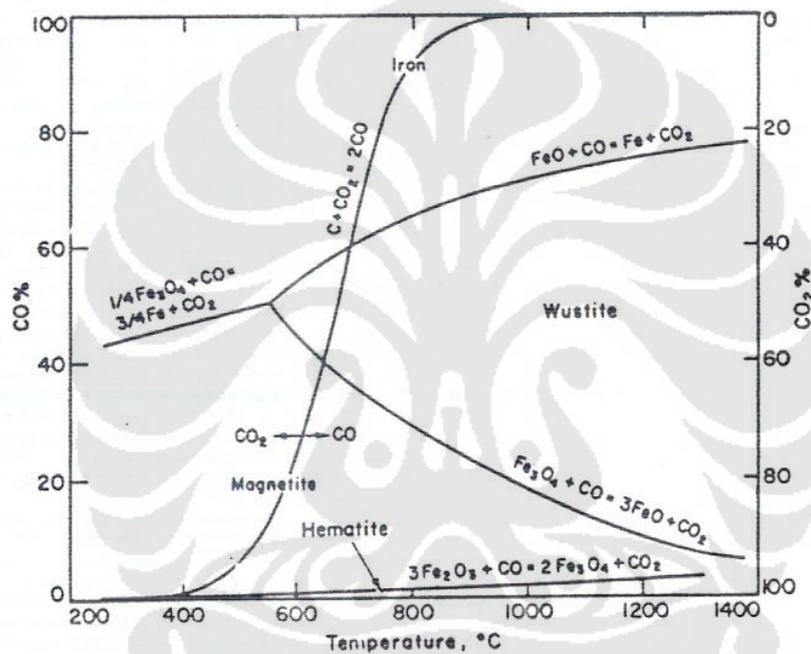
Kecenderungan yang terjadi pada temperatur 5 dan 10 menit hampir sama, yaitu intensitas Fe naik pada temperatur 800 °C dan kemudian intensitas menurun pada temperatur 1000 °C. Hal ini diprediksi karena terjadi oksidasi dari Fe menjadi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Untuk mendapatkan Fe, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> memerlukan karbon yang memiliki afinitas yang lebih tinggi terhadap oksigen dibandingkan dengan Fe. Setelah terjadi reaksi reduksi Fe, maka karbon untuk mereduksi Fe akan habis. Hal ini mengakibatkan terjadinya reaksi oksidasi yaitu Fe kembali teroksidasi menjadi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

Penurunan intensitas Fe pada temperautr 1000 °C juga diprediksi karena proses gasifikasi berjalan dengan cepat karena tingginya temperatur

mempercepat proses gasifikasi[7] ,sehingga karbon pada temperatur 1000 °C cepat habis, maka Fe yang sudah terbentuk kembali teroksidasi dengan reaksi:



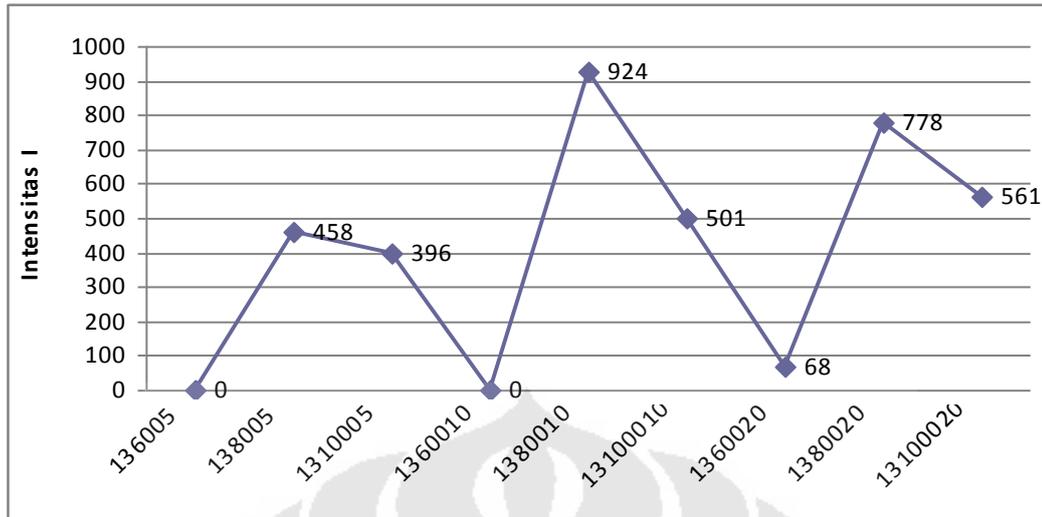
Reaksi oksidasi dari Fe menghasilkan wustit, kemudian wustit akan mengalami reaksi oksidasi dengan persamaan :



**Gambar 5.2** Diagram Boudouard

Pada temperatur 600 °C belum terbentuk Fe ini sesuai dengan diagram boudouard diatas. Pada diagram diatas, dapat dilihat bahwa pada temperatur 600 °C memang tidak akan terbentuk Fe. Perpotongan garis FeO + CO = Fe + CO2 dengan garis kesetimbangan C + CO2 = CO terdapat pada temperatur 700 °C. Oleh karena itu, sebelum temperature 700 °C tidak akan terbentuk Fe.

## 5.2 PERBANDINGAN BATU BESI DAN KARBON 1:3



**Gambar 5.3** Grafik hasil reduksi langsung pada perbandingan karbon 1:3

Secara umum reduksi komposisi 1:3 pada temperatur 600 °C tidak terbentuk, hal ini telah sesuai dengan literatur diagram bourdourd kecuali pada pemanasan 20 menit. Hal ini terjadi diprediksi karena selama proses reduksi juga tidak ditemukan adanya fasa FeO. Hal ini dapat terjadi karena FeO merupakan fasa yang tidak stabil. Dibawah temperatur 570 °C maka FeO akan terdekomposisi menjadi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan Fe.

Selain itu, furnace yang digunakan untuk mereduksi, pada saat percobaan digunakan secara terus menerus, sehingga pada saat mereduksi 600 °C masih ada suasana karbon yang tertinggal di furnace. Dari hal ini, bisa diprediksi bahwa karena presentase karbon bertambah maka reaksi reduksi semakin mudah untuk terjadi.

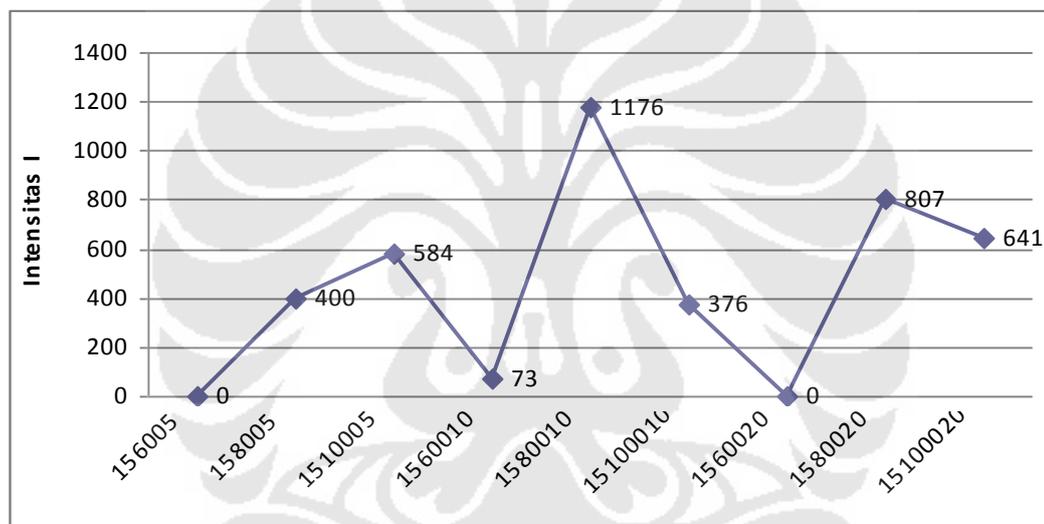
Intensitas Fe pada reduksi dengan temperatur 800 °C selama 5 menit sebesar 456 sedangkan pada temperatur 1000 °C intensitas kembali turun dengan nilai 396.

Hal ini juga terjadi pada reduksi dengan temperatur 800 °C selama 5 menit sebesar 924 sedangkan pada temperatur 1000 °C intensitas kembali turun menjadi 501. dan sama halnya pada reduksi dengan temperatur 800 °C selama 5 menit sebesar 456 sedangkan pada temperatur 1000 °C intensitas kembali turun dengan nilai 396.

Hal ini diprediksi karena terjadi oksidasi dari Fe menjadi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Untuk mendapatkan Fe, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> memerlukan karbon yang memiliki afinitas yang lebih tinggi terhadap oksigen dibandingkan dengan Fe. Setelah terjadi reaksi reduksi Fe, maka karbon untuk mereduksi Fe akan habis. Hal ini mengakibatkan terjadinya reaksi oksidasi yaitu Fe kembali teroksidasi menjadi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

Penurunan intensitas Fe pada temperatur 1000 °C juga diprediksi karena proses gasifikasi berjalan dengan cepat karena tingginya temperatur mempercepat proses gasifikasi[6] ,sehingga karbon pada temperatur 1000 °C cepat habis. Seperti halnya pada komposisi 1:1

### 5.3 PERBANDINGAN BATU BESI DAN KARBON 1:5



**Gambar 5.4** Grafik hasil reduksi langsung pada perbandingan karbon 1:5

Pada komposisi 1:5 selama 5 menit, pada temperatur 600 °C tidak terbentuk Fe. Selanjutnya pada temperatur 800 °C terjadi kenaikan intensitas Fe menjadi 400. kemudian pada temperatur 1000 °C kembali terjadi kenaikan intensitas Fe menjadi 584.

Secara umum pada temperatur 600 °C tidak terbentuk, hal ini telah sesuai dengan literatur diagram bourdourd kecuali pada reduksi selama 10 menit. Hal ini terjadi diprediksi karena selama proses reduksi juga tidak ditemukan adanya fasa FeO. Berdasarkan buku *Direct Reduced Iron (Technology and Economics of Production and Use)* menuliskan bahwa hal ini dapat dijelaskan karena FeO merupakan fasa yang tidak stabil. Dibawah

temperatur 570 °C maka FeO akan terdekomposisi menjadi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan Fe seperti pada perbandingan 1:3.

Selain itu, furnace yang digunakan untuk mereduksi, pada saat percobaan digunakan secara terus menerus, sehingga pada saat mereduksi 600 °C masih ada suasana karbon yang tertinggal di furnace. Dari hal ini, bisa diprediksi bahwa karena presentase karbon bertambah maka reduksi semakin mudah untuk terjadi.

Reduksi pada temperatur 800 °C selama 10 menit intensitas Fe adalah 1176. Sedangkan reduksi pada temperatur 800 °C selama 20 menit intensitas Fe 807. Hal ini mengindikasikan penurunan intensitas Fe dengan penambahan waktu. Hal ini terjadi diprediksi karena furnace yang digunakan tidak vakum, yaitu ada udara yang dapat masuk ke dalam furnace selama proses reduksi berlangsung. Dengan adanya udara yang dapat masuk maka akan mengganggu reaksi reduksi. Dari udara yang masuk bisa terdapat O<sub>2</sub> yang dapat menyebabkan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang telah tereduksi menjadi Fe kembali teroksidasi oleh udara yang mengandung O<sub>2</sub> sehingga Fe menjadi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> lagi.