

## Perilaku Reduksi Briket Bijih Besi dan Batubara Peringkat Rendah Aceh

### Reduction Behavior of Briquette of Iron Ore and Low-Grade Coal from Aceh

Nurdin Ali<sup>1\*</sup>, Khairil<sup>1</sup>, Mahendra Saputra<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin, Universitas Syiah Kuala, Jl. Tgk. Syech Abdurrauf 7, Banda Aceh

<sup>2</sup> Program Studi MTM, Universitas Syiah Kuala, Jl. Tgk. Syech Abdurrauf 7, Banda Aceh

\*E-mail: [nurdin.ali@unsyiah.ac.id](mailto:nurdin.ali@unsyiah.ac.id)

Terima draft: 14 Maret 2018; Terima draft revisi: 1 Mei 2018; Disetujui: 17 Mei 2018

#### Abstrak

Penelitian ini adalah bertujuan untuk mengkaji tentang pengolahan bijih besi menggunakan metode reduksi langsung berbasis pada batubara peringkat rendah dari Nagan Raya, Aceh. Proses reduksi langsung menggunakan reaktor pemanas listrik untuk mensimulasikan temperatur reduksi. Temperatur reduksi yang digunakan adalah 550, 650, dan 750°C, kemudian diinjeksikan gas  $CO_2$  dan  $N_2$  sebanyak 10 dan 1 liter/menit sebagai media pereduksi. Rasio persen berat komposisi batubara, bijih besi dan ter yang digunakan adalah 80:10:10, 70:20:10, dan 60:30:10. Model *shrinking core* diaplikasikan untuk mempelajari perilaku reduksi briket bijih besi dan batubara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju reduksi meningkat dengan meningkatnya komposisi batubara briket, temperatur dan interval waktu reduksi. Laju penurunan massa dan reduksi briket maksimum terjadi pada temperatur 750°C dengan variasi campuran 60:30:10 adalah 0,237 dan 23,66%. Energi aktivasi untuk variasi batubara 10, 20, dan 30% berturut-turut adalah 10,14; 3,73; dan 2,82 kJ/mol.

Kata kunci: batubara muda, bijih besi, energi aktivasi, reduksi langsung, *shrinking core*

#### Abstract

The aim of this study is to examine the processing of iron ore using direct reduction method based on low rank coal from Nagan Raya, Aceh. The direct reduction process uses an electric heating reactor to simulate a reduction temperature. The reduction temperature used was 550, 650, and 750°C, then injected 10 liters/second of  $CO_2$  gas and 1 liter/minute of  $N_2$  gas as reducing medium. The percentage weight ratio of coal, iron ore and tar used was 80:10:10, 70:20:10, and 60:30:10. The shrinking core model was applied to study the reduction behavior of iron ore and coal briquettes. The results showed that the reduction rate increased with the increase of coal content in briquette, temperature and time interval of reduction. Mass reduction rate and maximum briquette reduction occur at 750°C with mixed variations 60:30:10 are 0.237 and 23.66%. The activation energy for coal variations of 10, 20, and 30% were 10.14, 3.73, and 2.82 kJ / mol, respectively.

Keywords: activation energy, direct reduction, iron ore, low-grade coal, shrinking core

### 1. Pendahuluan

Saat ini, pembangunan infrastruktur di Indonesia bejalan sangat pesat. Hal ini memerlukan banyak material pendukung terlaksananya infrastruktur seperti konstruksi baja. Diantara material pendukung tersebut adalah baja konstruksi yakni baja tulangan beton, baja profil dan lain-lain.

Seperti diketahui bahwa, baja tulangan beton dan baja konstruksi umum diproduksi oleh pabrik baja melalui proses peleburan menggunakan bahan baku besi, seperti yang dilakukan oleh Krakatau steel dan prabrik baja lainnya.

Pabrik baja memperoleh sebagian besar bahan baku baja dari luar negeri seperti dari Tiongkok dan Brasil (Anonim, 2017). Tentu saja, hal ini dapat memberi dampak pada harga produk akhir setelah menjadi baja konstruksi umum adalah tinggi.

Apabila sebagian bahan baku bisa diperoleh dari dalam negeri, maka harga material konstruksi umum bisa ditekan lebih rendah. Salah satu usaha adalah memanfaatkan potensi lokal dengan menggunakan material yang tersedia di daerah seperti batubara peringkat rendah (Talla dkk., 2017; Khairil dkk., 2015) dan bijih besi local Aceh. Bijih besi dan batubara peringkat rendah tersebut

digunakan untuk memproses besi *sponge* dengan metode reduksi langsung besi dari briket sebagai bahan baku produksi baja.

Proses reduksi langsung besi adalah menggunakan briket atau pellet campuran bijih besi, batubara dan perekat pada temperatur rendah. Biaya modal dan biaya produksi merupakan salah satu faktor utama dipilihnya proses ini dibandingkan dengan proses reduksi dapur tinggi (Mashhadi dkk., 2008). Selain itu juga ingin memanfaatkan bahan baku batubara peringkat rendah (Mahidin, 2011) dan bijih besi potensi lokal yang melimpah.

Penelitian yang mengkaji proses reduksi langsung menggunakan bijih besi peringkat rendah dan cangkang biji sawit dilaporkan oleh (Rashid dkk., 2014). Selanjutnya (Sarkar dkk., 2016) mempelajari reduksi kinetik bijih besi dengan batubara mutu rendah. Pengaruh temperatur dan ukuran rata-rata partikel bijih besi terhadap laju reduksi telah dipelajari oleh (Mashhadi dkk., 2008). Pemanfaatan pasir besi Asemdayong Pematang untuk mempelajari karakteristik besi *sponge* telah diteliti oleh (Pranoto dkk., 2015) dan menyimpulkan bahwa terjadi peningkatan komposisi Fe yang signifikan sebesar 10,34 %.

Batubara peringkat rendah Aceh telah dimanfaatkan untuk membuat bio-briket, namun kajian membuat briket bijih besi batubara peringkat rendah Aceh untuk proses reduksi langsung pada pembuatan besi *sponge* belum ada penelitiannya. Oleh karena itu, suatu penelitian reduksi langsung menggunakan briket bijih besi dan batubara peringkat rendah adalah sangat potensial untuk dilakukan.

Berdasarkan latarbelakang yang dipaparkan diatas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari perilaku reduksi pada proses pembuatan besi *sponge* (*iron Sponge*) memanfaatkan bijih besi dan batubara lokal Aceh, sehingga dapat meningkatkan nilai ekonomi batubara Aceh.

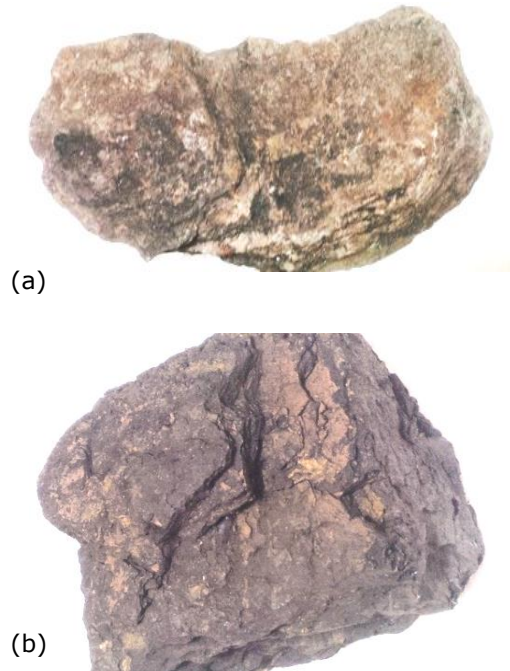
## 2. Metodologi

### 2.1. Bahan dan Alat

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah bijih besi berasal dari Lhoong, Aceh Besar, batubara peringkat rendah berasal dari Kabupaten Nagan Raya dan perekat (ter) dibentuk menjadi briket. Material bijih besi dan batubara muda diperlihatkan pada Gambar 1. Gambar 1.a adalah bijih besi

Lhoong dan Gambar 1.b adalah batubara peringkat rendah Nagan Raya, Aceh.

Kandungan utama mineral biji besi Lhoong adalah *Hematite* 93,88% (Dinamika, 2014). Sementara, analisis komposisi kimia dari batubara Aceh menghasilkan 15% moisture melekat (Adb), 39% materi *volatile* (Adb), 8-10% ash (Adb) dan *fixed carbon* (Adb) *by difference*. Nilai kalor *brutto* dan *HGI* masing-masing adalah 34.000-32.000 kcal/kg (Arb) dan 45 (Mifa, 2016).



**Gambar 1.** Bahan penelitian a) bijih besi Lhoong, b) batubara Nagan Raya, Aceh

### 2.2. Proses Pembuatan Briket

Bijih besi dan batubara peringkat rendah terlebih dahulu dihaluskan dengan proses penumbukan secara manual dan kemudian diayak menggunakan ayakan dengan ukuran mesh 8 menghasilkan bahan penelitian dengan mesh 8-10. Tahap berikutnya adalah pencampuran bijih besi dan batubara peringkat rendah yang telah dihaluskan dengan perekat ter. Rasio campuran bijih besi, batubara dan perekat (ter) divariasikan yaitu 80:10:10, 70:20:10 dan 60:30:10 dalam persen berat (% wt.).

Komposisi tersebut kemudian dipres dengan beban 8-10 ton untuk pembuatan briket bijih besi, batubara peringkat rendah dan ter. Serbuk halus bijih besi dan batubara berukuran mesh 8-10 sebelum dicampur diperlihatkan pada Gambar 2.



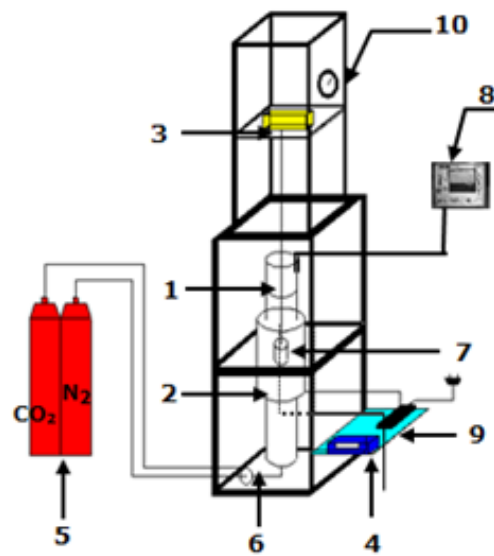
**Gambar 2.** Serbuk halus bahan baku briket  
(a) bijih besi, (b) batubara

Briket selanjutnya direduksi dalam dapur pemanas listrik pada tiga variasi temperatur yaitu 550°, 650°, dan 750°C sambil diinjeksikan media pereaksi terdiri dari campuran CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> yang berbeda yaitu 10 liter/menit dan 1 liter/menit.

### 2.3. Prosedur Penelitian

Pengambilan data penurunan dilakukan dengan menempatkan briket di dalam keranjang dan dimasukkan ke dalam reaktor dengan kawat yang terhubung dengan timbangan digital. Gas CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> disuplai oleh masing-masing tabung. Kebutuhan alirannya diukur melalui perangkat *gas analyzer*. Temperatur *display* dihubungkan dengan *thyristor power regulator* dan *thermocouple* untuk pengaturan temperatur di dalam reaktor. Untuk mengukur waktu penurunan massa briket digunakan *Stopwatch* dilakukan setiap 1 menit sampai tidak terjadi lagi penurunan massa yang terukur. Secara skematik rangkaian instrumen pengujian perilaku reduksi langsung pada penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 3.

Laju penurunan massa dan reduksi dari setiap perbandingan bijih besi, batubara dan ter merupakan besaran yang diukur dan dianalisis. Pengukuran parameter tersebut dilakukan pada variasi temperatur yaitu 550°, 650°, dan 750°C dan kemudian dianalisis energi aktivasi berdasarkan penurunan massa dan reduksi yang terjadi. Rancangan penelitian ini secara detail diperlihatkan pada Tabel 1. Tabel 1, rancangan penelitian menginformasikan %wt. campuran bahan baku untuk pembuatan briket. Kombinasi campuran dinyatakan sebagai perbandingan campuran bijih besi, batubara dan ter yaitu 80:10:10, 70:20:10, dan 60:30:10. Perilaku reduksi langsung briket dikaji dan dianalisis menyangkut pengaruh variabel temperatur dan variasi % berat campuran batubara.



Keterangan gambar:

1. Reactor
2. Heater
3. Electronic Balance
4. Thyristor power regulator
5. CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> gas cylinders
6. Flow meter
7. Basket sample
8. Gas analyzer
9. Temperature display
10. Stop watch

**Gambar 3.** Skematik rangkaian instrumen pengujian perilaku reduksi langsung

**Tabel 1.** Rancangan variasi campuran bahan baku

No	Bijih besi (%wt)	Batubara (%wt)	Ter (%wt)	Diameter Briket (mm)
1	80	10	10	25
2	70	20	10	25
3	60	30	10	25

### 2.4. Pengolahan dan Analisis Data

Sebagaimana disebutkan pada subseksi sebelumnya bahwa, pengujian dilakukan pada temperatur 550°, 650°, dan 750°C untuk berbagai variasi campuran biji besi, batubara dan ter sampai waktu penurunan massa berhenti atau stabil. Laju reduksi dari briket adalah dihitung dengan menggunakan Persamaan 1.

$$F (\%) = \left( \frac{m_0 - m_t}{m_0} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Sementara, kajian kenetika reduksi untuk memperkirakan energi aktivasi dilakukan untuk briket biji besi Lhoong pada temperatur 550°, 650°, dan 750°C interval waktu dari 1-16 menit. Formula Arrhesius digunakan untuk menghitung energi aktivasi

adalah seperti ditunjukkan pada Persamaan 2 (Kuo dkk. 2005).

$$K = Ae^{-\left(\frac{E}{RT}\right)} \quad (2)$$

atau  $\ln K = \ln A - E/RT$ , dimana,  $K$  = konstanta laju reaksi,  $A$  = faktor frekuensi,  $E$  = Energi aktivasi,  $T$  = Temperatur ( $^{\circ}K$ ) dan  $R$  = konstanta gas universal. Apabila  $\ln K$  diplot terhadap  $1/T$  menghasilkan suatu garis lurus. Slope garis plot adalah  $-E/R$ . Jadi energy aktivasi dapat diperoleh dengan perkalian slope dan  $R$ .

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil studi eksperimental reduksi langsung briket biji besi dan batubara peringkat rendah dari Lhoong, Aceh dibahas meliputi faktor pengaruh temperatur terhadap laju penurunan massa dan perilaku reduksi serta dianalisis nilai energi aktivasi yang diperlukan untuk variasi campuran batubara 10, 20 dan 30% berat pada temperatur 550 $^{\circ}$ , 650 $^{\circ}$ , dan 750 $^{\circ}C$ .

#### 3.1. Pengaruh Variasi Campuran Batubara

Laju penurunan massa briket bijih besi dan batubara adalah dipengaruhi oleh faktor waktu reduksi, temperatur dan ukuran partikel batubara (Pati, 2008). Laju penurunan massa dikonversikan ke dalam bentuk derajat reduksi (*degree of reduction*). Penelitian ini mengkaji pengaruh temperatur dan waktu reduksi terhadap derajat reduksi briket bijih besi dan batubara pada berbagai variasi campuran diperlihatkan pada Tabel 2.

Selain pengaruh waktu dan temperatur, penelitian ini membahas juga pengaruh kombinasi campuran bijih besi dan batubara ketika membuat briket. Hal ini ditujukan untuk melihat kombinasi campuran yang baik untuk digunakan pada reduksi langsung besi mendapatkan besi *sponge*. Tiga kombinasi telah dikaji dan hasilnya dianalisis.

Pada data Tabel 2 dapat dilihat bahwa, reduksi fraksional kombinasi campuran 10% wt. batubara muda adalah paling rendah yaitu 7,66: 10,58, dan 16,54%, sementara untuk 30% wt. batubara adalah paling tinggi yaitu 16,31; 20 dan 23,66%. Hasil lain yang dapat dijelaskan adalah penurunan massa yang relatif tinggi untuk kombinasi 20% batubara pada temperature reduksi 750 $^{\circ}C$ . Hal ini dapat dinyatakan bahwa pengaruh kombinasi campuran tidak mempunyai korelasi langsung terhadap persen

penurunan massa briket. Campuran briket dengan frasional batubara 30% wt. terjadi reduksi yang lebih tinggi, diikuti fraksional 20% dan 10% wt. berturut-turut.

**Tabel 2.** Pengaruh waktu, temperatur pada berbagai campuran bijih besi dan batubara terhadap reduksi

Temp. ( $^{\circ}C$ )	Waktu (menit)	Derajat Reduksi, F (%)		
		80:10:10	70:20:10	60:30:10
550	0	0	0	0
	1	1,06	0,69	0,86
	2	1,50	2,07	1,72
	3	1,70	5,30	2,36
	4	1,70	6,00	3,22
	5	2,34	8,29	3,22
	6	2,55	8,30	3,15
	7	4,68	8,30	6,22
	8	7,02	8,30	7,94
	9	7,02	8,30	9,44
	10	7,66	8,30	10,30
	11	-	10,60	10,73
	12	-	11,52	12,02
	13	-	12,90	13,09
	14	-	-	14,59
	15	-	-	15,88
	16	-	-	16,31
650	0	0	0	0
	1	1,04	1,52	0,88
	2	1,66	2,85	2,86
	3	2,70	2,85	4,40
	4	3,77	2,85	6,59
	5	4,77	4,37	7,69
	6	5,60	5,51	8,79
	7	6,85	6,84	9,89
	8	7,88	6,84	11,65
	9	8,51	8,75	12,97
	10	9,13	10,65	14,95
	11	9,75	10,84	15,60
	12	10,17	11,79	16,92
	13	10,37	11,80	17,80
	14	10,58	12,55	18,46
	15	-	-	18,90
	16	-	-	20,00
750	0	0	0	0
	1	0,98	2,39	1,85
	2	2,17	2,82	3,09
	3	3,94	3,04	4,94
	4	4,53	7,38	7,82
	5	5,12	8,46	9,47
	6	7,48	9,98	10,91
	7	9,06	11,50	13,79
	8	10,24	13,23	15,64
	9	11,61	15,18	17,28
	10	12,60	15,20	18,93
	11	13,53	16,49	20,58
	12	14,96	16,92	21,81
	13	15,94	18,00	22,63
	14	16,54	18,22	22,84
	15	-	18,44	23,66
	16	-	19,31	-

Rasio campuran material mempengaruhi hasil dari laju penurunan fraksi massa, semakin meningkatnya kandungan batubara, maka laju penurunan fraksi massa meningkat pula. Peningkatan tersebut adalah

disebabkan oleh fungsi batubara sebagai reduktor dan sumber energi (Suharto, 2012).

Kecendrungan peningkatan perubahan fraksional briket bijih besi dan batubara untuk berbagai temperatur diperlihatkan dalam Gambar 4, sementara Gambar 5 menunjukkan perilaku reduksi pada variasi rasio campuran briket. Gambar 4.a memperlihatkan penurunan fraksional briket pada temperatur pemanasan 550°C, Gambar 4.b adalah penurunan fraksional briket pada temperatur 650°C, sementara Gambar 4.c merupakan penurunan massa fraksional briket pada temperatur 750°C. Penurunan massa terjadi sangat rendah, terutama pada campuran 10% batubara. Laju penurunan maksimum fraksional massa terjadi pada variasi rasio campuran 60:30:10 adalah 23,66%.

Fenomena lain yang dapat dijelaskan disini adalah adanya kecenderungan peningkatan derajat reduksi yang lebih baik untuk briket yang mengandung 30% batubara.

Gambar 4 dan Gambar 5 memperlihatkan bahwa, temperatur, waktu, persentase campuran material mempengaruhi tingkat reduksi briket. Semakin tingginya komposisi campuran batubara muda dalam briket maka meningkatkan pula reduksinya. Hal ini dapat dinyatakan bahwa briket batubara muda Aceh dapat digunakan untuk pereduksi briket bijih besi.

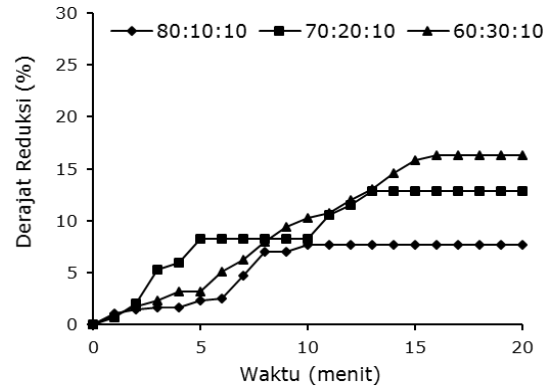
### 3.2. Pengaruh Temperatur Reduksi

Gambar 5 menjelaskan pengaruh temperatur terhadap reduksi briket untuk berbagai persen berat batubara. Reduksi minimum terjadi pada temperatur 550°C dan rasio campuran 80:10:10, yaitu 7,66% dengan interval waktu 10 menit. Sedangkan reduksi maksimum yaitu 23,66% yang terjadi pada temperatur 750°C dan rasio campuran 60:30:10 dengan interval waktu 15 menit.

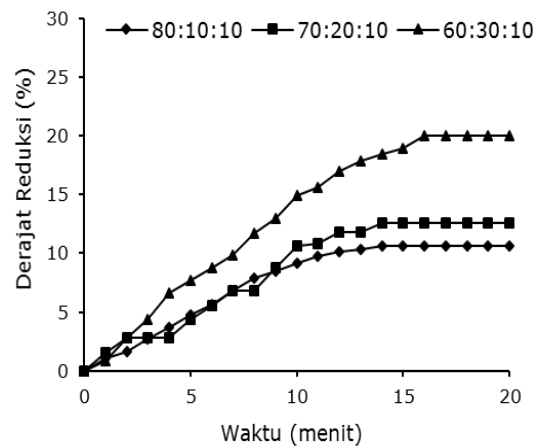
Hasil Analisis temperatur yang dipelajari menunjukkan bahwa temperatur berkorelasi sangat erat terhadap penurunan massa briket selama reduksi berlangsung. Hal ini dapat diamati pada data penurunan massa pada temperature 750°C menghasilkan harga tertinggi untuk semua kombinasi campuran battubara muda. Semakin meningkatnya temperatur, waktu serta persentase batubara muda, maka meningkat pula reduksinya.

Temuan ini sejalan dengan hasil yang

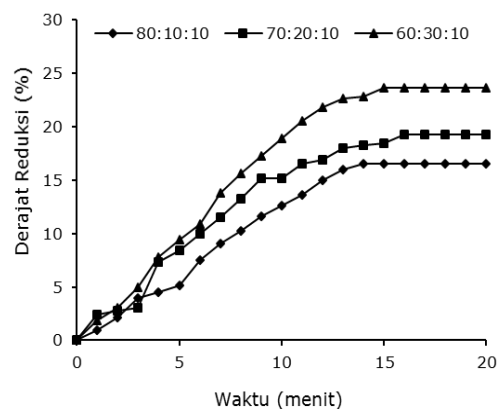
dilaporkan (Hashem dkk., 2015); (Sinha dkk., 2014) yang menyatakan bahwa besarnya reduksi meningkat dengan meningkatnya temperature, % Wt batubara dan waktu reduksi.



(a)

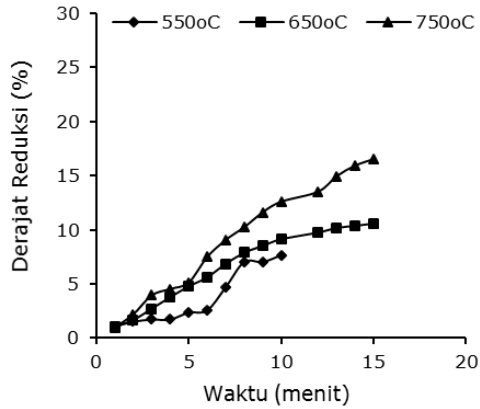


(b)

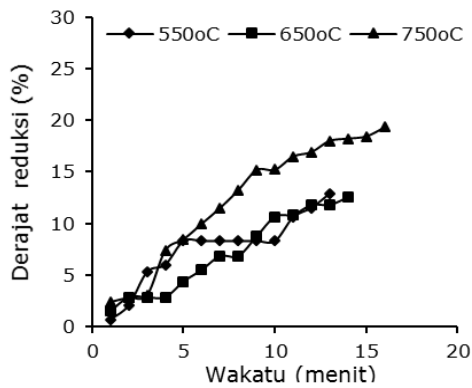


(c)

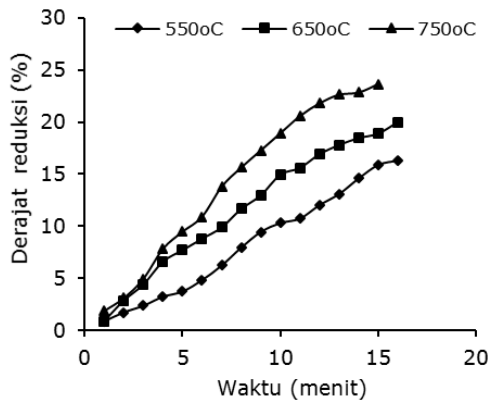
**Gambar 4.** Derajat Reduksi (%) Vs waktu untuk variasi campuran bijih besi, batubara pada: (a) Temperatur 550°C, (b) Temperatur 650°C dan (c) Temperature 750°C



(a)



(b)



(c)

**Gambar 5** Derajat Reduksi (%) Vs waktu untuk berbagai temperatur reduksi pada:  
(a) 80:10:10,  
(b) 70:20:10  
(c) 60:30:10

**3.3. Perilaku Reduksi Briket**

Reduksi fraksional berbasis mol dihitung menggunakan Persamaan 3 (Taheri dkk. 2010)

$$K = 1 - (1 - F)^{1/3} \tag{3}$$

Data dari Tabel 2 derajat reduksi, kemudian dihitung  $Kt$  atau  $1-(1-F)^{1/3}$  seperti ditampilkan dalam Tabel 3, 4 dan 5, reduksi fraksional pada 30, 20 dan 10% berat batubara muda.

**Tabel 3.** Reduksi fraksional pada 30 % batubara (60:30:10)

Waktu (menit)	$1-(1-F)^{1/3}$		
	550°C	650°C	750°C
1	0,4807	0,5067	1,9473
2	1,8963	2,2298	2,2785
3	2,1079	2,5037	2,5794
4	2,3045	2,7747	2,8964
5	2,3045	2,8843	3,0384
6	2,2907	2,9823	3,1479
7	2,7347	3,0716	3,3386
8	2,9074	3,2001	3,4463
9	3,0360	3,2875	3,5344
10	3,1029	3,4073	3,6173
11	3,1345	3,4440	3,6953
12	3,2253	3,5156	3,7506
13	3,2951	3,5611	3,7862
14	3,3864	3,5943	3,7952
15	3,4596	3,6159	3,8299
16	3,4831	3,6684	

**Tabel 4.** Reduksi fraksional pada 20 % batubara (70:20:10)

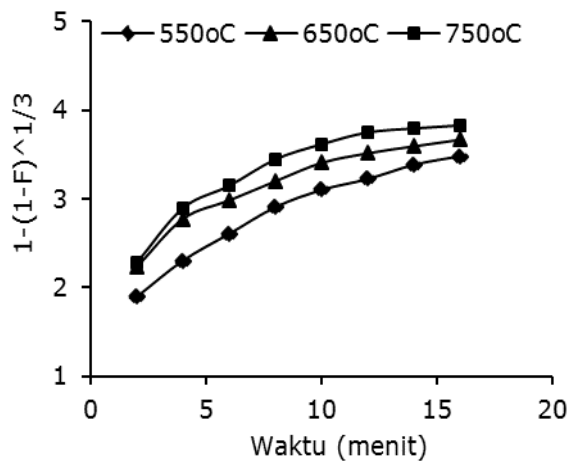
Waktu (menit)	$1-(1-F)^{1/3}$		
	550°C	650°C	750°C
1	0,8967	1,1733	1,4633
2	1,3567	1,6167	1,6067
3	2,4333	1,6167	1,6800
4	2,6667	1,6167	3,1267
5	3,4300	2,12337	3,4867
6	3,4333	2,50337	3,9933
7	3,4333	2,94667	4,5000
8	3,4333	2,9467	5,0767
9	3,4333	3,5833	5,7267
10	3,4333	4,2167	5,7333
11	4,2000	4,2800	6,1633
12	4,5067	4,5967	6,3067
13	4,9667	4,6000	6,6667
14		4,8500	6,7400
15			6,8133
16			7,1033

**Tabel 5.** Reduksi fraksional pada 10 % batubara (80:10:10)

Waktu (menit)	$1-(1-F)^{1/3}$		
	550°C	650°C	750°C
1	0,0583	0,0392	-0,0202
2	0,4055	0,5068	0,7747
3	0,5306	0,9932	1,3711
4	0,5596	1,3270	1,5107
5	0,8501	1,5623	1,6331
6	0,9361	1,7228	2,0122
7	1,5432	1,9242	2,2039
8	1,9488	2,0643	2,3263
9	1,9488	2,1412	2,4519
10	2,0360	2,2116	2,5337
11		2,2772	2,6049
12		2,3194	2,7053
13		2,3389	2,7688
14		2,3590	2,8058

Dari data tabel 3, 4 dan 5 digambarkan  $1-(1-F)^{1/3}$  terhadap waktu untuk memperoleh nilai konstanta laju reduksi ( $K$ ). Hasil analisis reduksi fraksional untuk setiap temperatur uji diplotkan kedalam Gambar 6. Gambar 6 menampilkan salah satu plot  $1-(1-F)^{1/3}$  Vs waktu untuk variasi campuran 60:30:10 (30% wt batubara).

Nilai  $K$  yang dihasilkan adalah bervariasi terutama tergantung pada variasi persen berat batubara muda dan temperatur reduksi briket. Nilai  $K$  tertinggi diperoleh pada campuran batubara 20% untuk temperatur 750°C. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan campuran 20% berat batubara muda menghasilkan laju reduksi yang tinggi.



**Gambar 6.** Grafik  $1-(1-F)^{1/3}$  Vs waktu untuk komposisi campuran 60:30:10.

Tabel 6 menampilkan secara lengkap hasil perilaku reduksi berbasis mol untuk ketiga variasi campuran bijih besi, batubara dan ter sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 7.

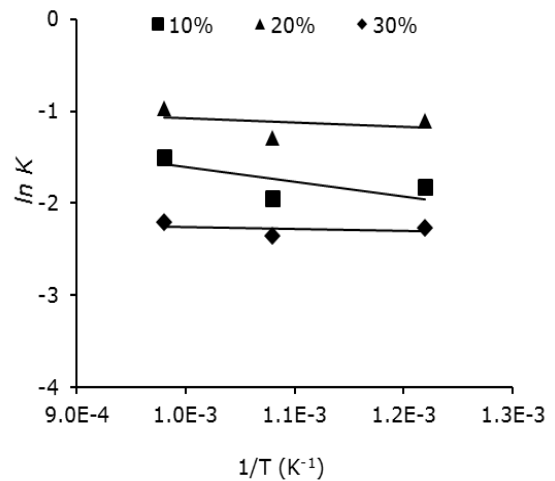
**Tabel 6.** Konstanta laju pada setiap temperatur uji untuk masing-masing persen batubara

Batu bara (%)	Temperatur (T)	K	ln K (-)	1/T (10 <sup>-5</sup> )
10	823	0,1608	1,8276	122
	923	0,1434	1,9421	108
	1023	0,2228	1,5015	98
20	823	0,3325	1,1011	122
	923	0,2766	1,2852	108
	1023	0,3818	0,9628	98
30	823	0,1032	2,2710	122
	923	0,0951	2,3528	108
	1023	0,1105	2,2027	98

Hasil analisis untuk ketiga variasi campuran tersebut digambarkan menjadi plot Arrhenius (lihat Gambar 7).

### 3.4. Kinetika Reduksi Briket Bijih Besi

Kajian kinetika reduksi briket dimaksudkan adalah untuk memperkirakan energi aktivasi yang ditimbulkan saat reduksi berlangsung terhadap briket bijih besi Lhoong dan batubara Nagan Raya. Kajian ini dilakukan terhadap 3 temperatur reduksi berbeda yaitu 550, 650, dan 750°C untuk interval waktu 1 sampai 16 menit. Perilaku reduksi dihitung berdasarkan variasi campuran batubara yaitu 10, 20, dan 30% dan diplot grafik  $\ln K$  Vs  $1/T$  seperti ditunjukkan pada Gambar 7 dan persamaan Arrhenius (Persamaan 2), digunakan untuk menghitung energi aktivasi.



**Gambar 7.**  $\ln K$  Vs.  $1/T$  plot Arrhenius

Persamaan matematika yang dapat dibangun adalah persamaan linear yaitu:  $y = mx + c$ , dimana  $m$  adalah nilai slop untuk campuran batubara 10, 20, dan 30%. Nilai energi aktivasi dihitung:

$$\ln K = -E/R (1/T) + \ln A \quad (4)$$

dimana:

$$m = -E/R \quad (5)$$

$$E = - (m \times R) \quad (6)$$

Nilai slop ( $-E/R; m$ ) untuk masing-masing variasi campuran batubara adalah -1.219, -448,5 dan -339,5. Sementara itu nilai konstan  $\ln A$  adalah berturut-turut -1,8972; -0,4243 dan -0,6265 sesuai dengan garis linier (Gambar 7). Dengan demikian, dapat dibangun suatu persamaan linier untuk masing-masing variasi campuran batubara adalah:

$$\ln K = -\ln 1,8972 - 1,219(1/T), \text{ untuk } 10\%$$

$$\ln K = -\ln 0,4243 - 448,5(1/T) \text{ untuk } 20\% \text{ dan}$$

$\ln K = -\ln 0,6265 - 339,5(1/T)$  untuk 30%.

Dari ketiga persamaan diatas dapat dihitung konstanta laju reaksi briket bijih besi ( $\ln K$ ), dengan memasukan nilai temperatur (K). Hal ini dapat dinyatakan bahwa, temperatur dan kisaran temperatur mempengaruhi konstanta laju reduksi batubara.

Hasil perhitungan energi aktivasi untuk masing-masing campuran batubara adalah seperti diperlihatkan pada Tabel 7, mengacu pada nilai  $1/T$ . Energi aktivasi adalah energi minimum yang dibutuhkan supaya terjadi reaksi reduksi.

**Tabel 7.** Energi aktivasi dari reaksi reduksi briket untuk berbagai variasi batubara

Batubara (%)	Slop (E/R,m)	Energi Aktivasi (KJ/mole)
10	-1219	10,14
20	-448,5	3,73
30	-339,5	2,82

Nilai energi aktivasi reduksi bijih besi dengan menggunakan batubara muda 10, 20, dan 30% pada temperatur antara 550°C, 650°, dan 750°C berturut-turut adalah 10,14; 3,73 dan 2,82 kJ/mol. Hasil ini dapat dinyatakan bahwa, semakin tinggi kandungan batubara dalam briket, maka semakin rendah energi aktivasi yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi reduksi.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis hasil serta pembahasan yang telah dilakukan, maka beberapa kesimpulan dapat ditarik sebagai berikut:

1. Laju penurunan frasional massa maksimum terjadi pada variasi capuran 60:30:10 dengan temperatur reduksi 750°C yaitu 23,66%.
2. Nilai laju reduksi frasional  $\ln K = 1 - (1-F)^{1/3}$  tertinggi adalah terjadi pada varasi campuran 70:20:10 dengan temperatur reduksi 750°C yaitu 7,1033 dan interval waktu 16 menit.
3. Energi aktivasi pada temperatur 550°, 650° dan 750°C untuk campuran batubara 10, 20 dan 30% adalah 10,14; 3,73 dan 2,82 kJ/mol.

#### Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Syiah Kuala atas penyediaan fasilitas dan sarana penelitian sehingga selesainya kajian ini.

#### Daftar Pustaka

- Anonim (2017) Dailly Investor, Berita Industri, Industri Baja Diimbau Gunakan bahan Baku Lokal. dari: <http://www.kemenperin.go.id/artikel/10888/Industri-Baja-Diimbau-Gunakan-bahan-Baku-Lokal>, diakses tanggal 6 Februari 2017
- Dinamika, Y. (2014) Bijih Besi di Aceh Bermineral Tinggi, Serambi Indonesia, dari <http://aceh.tribunnews.com/2014/01/16/bijih-besi-di-aceh-bermineral-tinggi>, diakses 6 Februari 2017
- Hashem, N. M., Salah, B. A., El-hussiny, N. A., Sayed, S. A., Khalifa, M. G., Shalabi, M. H. (2015) Reduction Kinetics Of Egyptian Iron Ore By Non Coking Coal, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(3).
- Khairil, Iskandar, Mahiddin (2015) Kaji eksperimental perilaku degradasi kokas dari batubara muda, *Paper presented at the Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*, Banjarmasin, 7 - 8.
- Mahidin (2011) pengaruh penambahan biji jarak dalam campuran batubara peringkat rendah dan cangkang sawit (bio-briket) terhadap laju pembakarannya, *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, 9(1), 81 - 87.
- Mashhadi, H. A., Rastgoo, A. R., & Khaki, J. V. (2008). An Investigation on The Reduction of Iron Ore Pellets in Fixed Bed of Domestic Non-Cocking Coals. *Int. J. of ISSI*, 5(1), 8-14.
- Pati, R. R. (2008) Reduction Behaviour of Iron Ore Pellets, Unpublished Bachelor, *National Institute of Technology*, Rourkela, India.
- Pranoto, Y., Atmadja, S. T., Umardani, Y. (2015) Uji karakteristi sponge iron hasil reduksi menggunakan burner las asitelein dari pasir besi pantai asemdayong Pemasang PEMALANG, *Jurnal Teknik Mesin*, S-1 3(2), 149 - 156.
- Mifa, B. PT. (2017) Spesifikasi dari: <http://www.mifacoal.co.id/id-id/PR>, diakses 6 Februari 2017



- Rashid, R. Z. A., Salleh, H. M., Ani, M. H., Yunus, N. A., Akiyama, T., Purwanto, H. (2014) Reduction of low grade iron ore pellet using palm kernel shell, *Renewable Energy*, 63, 617 - 623.
- Sarkar, B. K., Samanta, S., Dey, R., Das, G. C. (2016) A study on reduction kinetics titaniferous magnetite ore lean grade coal, *Int. J. of Mineral Processing*, 152, 36 - 45.
- Sinha, K. M. K., Sharma, T., Haldar, D. D. (2014) Reduction of iron ore with non coking coal, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 3(3), 30 - 33.
- Suharto (2012) *Proses Reduksi Bijih Besi Lampung Menjadi Sponge Iron Menggunakan Rotary Kiln*, Paper presented at the InSINas 2012
- Taheri, A. M., Saidi, A., Nourbakhsh, A. A. (2010) The effective parameters on thermal recovery and reduction of iron oxides in EAF slag, *International Journal of ISSI*, 7(1), 25 - 29.
- Talla, H., Taba, H. T. (2017) Pencairan Batubara Peringkat Rendah Papua Menggunakan Katalis Bijih Besi, *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 12(2), 94 - 102.