



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH KOMPOSISI BIOMASSA TERHADAP  
WAKTU IGNISI DAN EMISI CO BIOBRIKET**

**SKRIPSI**

**DHINDA PRINITA SARI  
0706269703**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH KOMPOSISI BIOMASSA TERHADAP  
WAKTU IGNISI DAN EMISI CO BIOBRIKET**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
gelar Sarjana Teknik Kimia**

**DHINDA PRINITA SARI  
0706269703**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2011**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Dhinda Prinita Sari**

**NPM : 0706269911**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 28 Juni 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Dhinda Prinita Sari  
NPM : 0706269703  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Pengaruh Komposisi Biomassa terhadap Waktu Ignisi dan Emisi CO Biobriket

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Dijan Supramono, M. Sc. ( )  
Penguji : Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA ( )  
Penguji : Elsa Krisanti, Ph.D ( )  
Penguji : Dr. rer. nat. Ir. Yuswan Muharam, M.T ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 28 Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Sujud syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT berkat limpahan rahmat-Nya, skripsi dengan judul “Pengaruh Komposisi Biomassa terhadap Waktu Ignisi dan Emisi CO Biobriket” ini dapat selesai dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan disetujui untuk diajukan dalam sidang Skripsi S1 Reguler Teknik Kimia Universitas Indonesia.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, Zat Yang Maha Kuasa yang memiliki segalanya.
2. Bapak Ir. Dijan Supramono, M.Sc selaku dosen pembimbing dalam penelitian ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
4. Keluarga tercinta (Ibu, Bapak, dan Kakakku) atas dukungan dan doanya. Terima kasih yang tiada tara untuk doa Ibu yang tak putus dalam perjuangan pembuatan skripsi ini. Serta, semangat dan doa yang tercurah dari Bapak dan Mas Senda.
5. Teman terbaik, Agrian Peby yang selalu memberikan bantuan baik kapanpun dan dimanapun.
6. Teman seperjuangan Laboratorium Energi Berkelanjutan, Mbak Nani (yang super sabar membantu saya), Alin, Muthia, Andre, Sukma. Teman seperjuangan dan jajan bareng, Ikha, Ayuko, Winda, Suci, Dedek, Denov, Valent, dan semua ibu-ibu tekim07 yang sama-sama menyusun skripsi di semester 8 ini.  
Teman yang selalu menggila bersama sejak maba, Indri, Eli, Alin, Karin, Dita, terima kasih telah memberi banyak tawa dalam penyusunan skripsi ini.
7. Adik-adik seperguruan yang cantik, Ayu, Glifanny, Farah, Desy C, yang senantiasa menemani dalam pengambilan data.

8. Semua karyawan DTK, Mang Ijal, Kang Jajat, Mas Her, Kang Rinan, Mas Sri, Mas Mug, atas semua bantuannya mengurus hal-hal yang tidak sanggup saya lakukan sebagai mahasiswi.
9. Teman seperjuangan, Ers yang sering membantu mengunduh jurnal-jurnal.
10. Teman-teman Teknik Kimia UI 2007 atas semangat dan bantuannya.
11. Teman sedari kecil yang tak terlupakan, Yovie, Lizta, dan Lala. Terima kasih atas semangat dan doanya.
12. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah ikhlas membantu penulis selama penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Untuk itu, saran dan kritik sangat penulis harapkan untuk memperbaiki penulisan di masa yang akan datang menjadi lebih baik.

Depok, Juni 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dhinda Prinita Sari  
NPM : 0706269703  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Pengaruh Komposisi Biomassa terhadap Waktu Ignisi dan Emisi CO  
Biobriket**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2011

Yang menyatakan

(Dhinda Prinita Sari)

## ABSTRAK

Nama : Dhinda Prinita Sari  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Pengaruh Komposisi Biomassa terhadap Waktu Ignisi dan Emisi CO Biobriket

Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi waktu penyalaan dan emisi CO dari biobriket (biomassa – batubara) dengan melibatkan variasi komposisi biomassa. Hal ini dikarenakan biomassa memiliki kandungan *volatile matter* yang lebih tinggi dan kadar karbon yang rendah. Pada penelitian ini dilakukan variasi komposisi biomassa sekam padi dan jerami padi dengan kadar 0%, 25%, 50%, dan 100% pada biobriket sehingga dapat dibandingkan secara relatif terhadap briket batubara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi biomassa berpengaruh signifikan terhadap waktu nyala dan reduksi emisi CO. Untuk waktu ignisi, paduan terbaik didapat oleh 50% sekam padi : 50% batubara dengan waktu ignisi 3.67 menit dan 50% jerami padi : 50% batubara dengan waktu ignisi 8 menit sedangkan briket 100% batubara membutuhkan 10.16 menit untuk menyala. Untuk emisi CO, paduan terbaik didapat oleh 50% sekam padi : 50% batubara dengan emisi CO rata-rata 687.38 ppm dan 25% jerami padi : 75% batubara dengan emisi CO rata-rata 792.92 ppm sedangkan emisi CO rata-rata briket batubara adalah 1239.

**Kata kunci** : waktu ignisi, emisi CO, biobriket, biomassa, batubara

## ABSTRACT

Name : Dhinda Prinita Sari  
Study Program : Chemical Engineering  
Title : The Effect of Biomass Composition on Ignition Time and CO Emission in Biobriquette

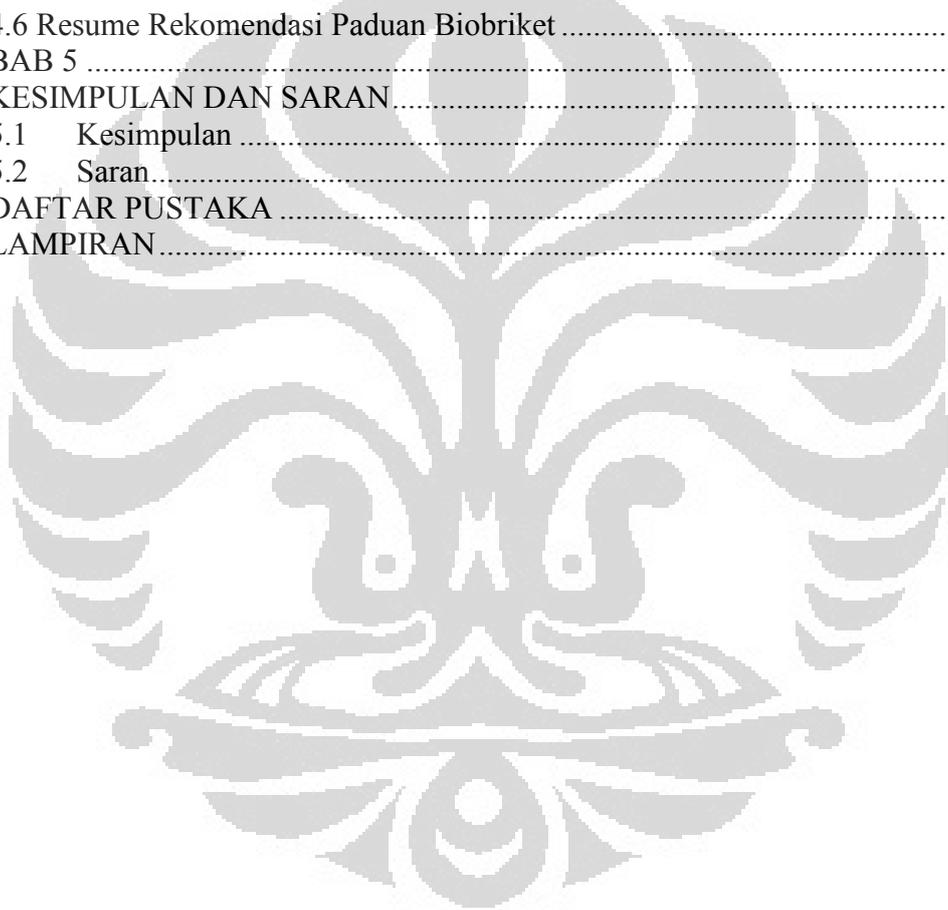
This research aims to reduce the time of ignition and CO emissions from biobriquette (biomass - coal) involves variation of biomass composition. This is because biomass has higher volatile matter content and lower carbon content. In this research, biobriquettes with biomass composition of rice husks and rice straw of 0%, 25%, 50%, and 100% have been compared relative to coal briquettes in terms of ignition time and CO emission. The results showed that the variation of biomass composition significantly influence the ignition time and CO emissions. For ignition time, the best composition was obtained by 50% rice husk: 50% coal with ignition time 3.67 minutes, and 50% rice straw: 50% coal with ignition time 8 minutes while the 100% coal briquettes takes 10.16 minutes to burn. For CO emissions, the best composition was obtained by 50% rice husk: 50% coal with CO emissions average 687.38 ppm and 25% rice straw: 75% coal with CO emissions average 792.92 ppm while the average CO emissions of coal briquettes was 1239.

**Keywords:** ignition time, CO emission, biobriquette, biomass, coal

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Batasan Penelitian .....	5
1.5 Sistematika Penulisan .....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Biomassa .....	7
2.1.1 Material Biomassa di Indonesia.....	10
2.1.2 Karakterisasi Biomassa.....	11
2.2 Batubara .....	11
2.2.1 Batubara di Indonesia .....	11
2.2.2 Batubara Sub Bituminuos .....	12
2.3 Analisis Kandungan Biomassa dan Batubara .....	13
2.3.1 Analisis Kelembapan .....	13
2.3.2 Analisis Abu .....	14
2.3.3 Analisis Kandungan Volatil.....	14
2.3.4 Analisis Karbon Tetap ( <i>Fixed carbon</i> ).....	15
2.3.5 Komparasi Analisis Kandungan Batubara dan Biomassa.....	15
2.4 Mekanisme Pembakaran Bahan Bakar Padat.....	16
2.5 Biobriket.....	19
2.5.1 Pertimbangan Pembuatan Biobriket .....	20
2.5.2 Perekat ( <i>Binder</i> ) Biomassa dengan Batubara .....	32
2.6 <i>State of The Arts</i> Biobriket.....	33
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	35
3.1 Alur Pikir Penelitian.....	35
3.2 Diagram Alir Penelitian .....	38
3.3 Variabel dalam Penelitian .....	38
3.4 Alat dan Bahan.....	39
3.5 Tahapan Penelitian .....	42
3.5.1 Perancangan Biobriket.....	42
3.5.2 Persiapan Awal Bahan Biomassa dan Batubara Sub Bituminuos .....	42
3.5.3 Preparasi Biobriket .....	43
3.5.4 Pengujian Biobriket .....	43

3.5.5 Analisis dan Evaluasi Hasil Penelitian .....	45
BAB 4 .....	46
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1 Pembuatan Biobriket (Campuran Biomassa dan Batubara).....	46
4.2 Pembakaran Biobriket.....	48
4.3 Hasil Uji Proksimat dan Kalori Batubara dan Biomassa .....	49
4.4 Hasil Uji Temperatur Pembakaran Biobriket.....	51
4.4.1 Temperatur Pembakaran Briket Batubara.....	52
4.4.2 Pengaruh Komposisi Biomassa terhadap Waktu Ignisi.....	54
4.5 Hasil Uji Emisi Pembakaran Biobriket.....	61
4.5.1 Emisi Pembakaran Briket Batubara.....	61
4.5.2 Emisi Pembakaran Biobriket Sekam Padi – Batubara.....	62
4.5.3 Emisi Pembakaran Biobriket Jerami Padi – Batubara.....	65
4.6 Resume Rekomendasi Paduan Biobriket .....	69
BAB 5 .....	70
KESIMPULAN DAN SARAN.....	70
5.1 Kesimpulan .....	70
5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA .....	72
LAMPIRAN.....	76



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Selulosa .....	7
Gambar 2. 2 Struktur Hemiselulosa .....	8
Gambar 2. 3 Struktur lignin .....	10
Gambar 2. 4 Proyeksi penggunaan batubara di Indonesia .....	12
Gambar 2. 5 Hubungan Kandungan <i>Fixed carbon</i> dengan Nilai Kalor Batubara	15
Gambar 2. 6 Perbandingan Hasil Analisis Proksimat Batubara dan Biomassa ....	16
Gambar 2. 7 Analisis termogravimetri untuk menentukan tahap-tahap dalam pembakaran.....	18
Gambar 2. 8 Contoh hasil analisis FTIR untuk mendeteksi senyawa yang terkandung dalam <i>volatile matters</i> .....	18
Gambar 2. 9 Mekanisme Pembakaran pada Batubara .....	19
Gambar 2. 10 Efek kandungan biomassa terhadap penurunan waktu ignisi.....	21
Gambar 2. 11 Temperatur ignisi biobriket dibandingkan briket batubara murni .	22
Gambar 2. 12 Hubungan antara Kandungan Volatile Matter Bahan Bakar Suhu Ignisi untuk Batubaradan Biomassa .....	25
Gambar 2. 13 Fluks massa gas dan tar dari permukaan partikel (kurva putus-putus) dan fraksi energi yang dikeluarkan dari gas tar pada flame .....	26
Gambar 2. 14 Mekanisme untuk ignition pada briket setelah inisiasi. Flux volatile yang terlalu tinggi dapat menyebabkan <i>diffusion flame</i> terbentuk di boundary layer yang jauh dari permukaan padatnya .....	26
Gambar 2. 15 SEM dari Bagasse Mentah yang Menunjukkan Banyak Pori Besar pada Permukaan.....	27
Gambar 2. 16 Deskripsi penyalan <i>volatile matter</i> permukaan material briket....	29
Gambar 2. 17 Pengaruh komposisi binder terhadap ketahanan mekanis briket ...	33
Gambar 3. 1 <i>Furnace</i> untuk pengujian biobriket .....	35
Gambar 3. 2 Sketsa grafik untuk data waktu ignisi biobriket .....	36
Gambar 3. 3 Sketsa grafik untuk data <i>heating value</i> biobriket .....	37
Gambar 3. 4 Sketsa grafik untuk data emisi biobriket .....	37
Gambar 3. 5 Diagram alir penelitian .....	38
Gambar 3. 6 (a) ADAM Logger 4018M; (b) Mould Briket; (c) Gas Analyzer TPI 708 .....	39
Gambar 3. 7 (a) Oven Pengering; (b) Alat Pengepres; (c) <i>Blower</i> ; (d) <i>Hot Wire Anemometer</i> .....	40
Gambar 3. 8 <i>Furnace</i> (medium pembakaran briket).....	40
Gambar 3. 9 Sekam Padi .....	41
Gambar 3. 10 Jerami Padi .....	41
Gambar 3. 11 Batubara Subbituminuos .....	41
Gambar 3. 12 Lem Kanji.....	41
Gambar 4. 1 Kurva Pengeringan Jerami Padi .....	47
Gambar 4. 2 Kurva Pengeringan Sekam Padi .....	47
Gambar 4. 3 Dari kiri ke kanan : jerami 100%; jerami 50% : batubara 50%; jerami 25% : batubara 75%; sekam 100%, sekam 50% : batubara 50%, sekam 25% : batubara 75%; batubara 100% .....	48

Gambar 4. 4 Abu hasil pembakaran biobriket sekam padi dan jerami padi .....	50
Gambar 4. 5 Pengaruh komposisi biomassa terhadap <i>heating value</i> biobriket.....	51
Gambar 4. 6 Profil temperatur pembakaran briket batubara.....	52
Gambar 4. 7 Profil temperatur pembakaran biobriket sekam padi – batubara.....	54
Gambar 4. 8 Pengaruh komposisi sekam padi terhadap suhu ignisi biobriket sekam padi - batubara.....	55
Gambar 4. 9 Pengaruh komposisi sekam padi terhadap waktu ignisi biobriket sekam padi - batubara.....	55
Gambar 4. 10 Pengaruh kandungan <i>volatile matters</i> terhadap waktu ignisi biobriket sekam padi-batubara.....	56
Gambar 4. 11 Profil temperatur pembakaran biobriket jerami padi - batubara ....	57
Gambar 4. 12 Pengaruh komposisi jerami padi terhadap suhu ignisi biobriket jerami padi - batubara.....	58
Gambar 4. 13 Pengaruh komposisi jerami padi terhadap waktu ignisi biobriket jerami padi – batubara .....	59
Gambar 4. 14 Pengaruh kandungan <i>volatile matters</i> terhadap waktu ignisi biobriket jerami padi - batubara.....	59
Gambar 4. 15 Profil emisi briket 100% batubara.....	61
Gambar 4. 16 Profil individu emisi CO biobriket sekam padi – batubara; (a) 100% sekam; (b) 75%sekam : 25% batubara; (c) 50% sekam : 50% batubara; (d) 25% sekam : 75% batubara.....	62
Gambar 4. 17 Profil Emisi Biobriket Sekam Padi – Batubara.....	64
Gambar 4. 18 Pengaruh komposisi sekam padi terhadap emisi CO maksimum dan rata-rata.....	65
Gambar 4. 19 Profil individu emisi CO biobriket jerami padi – batubara; (a) 100% jerami; (b) 75% jerami : 25% batubara; (c) 50% jerami : 50% batubara; (d) 25% jerami : 75% batubara.....	66
Gambar 4. 20 Profil Emisi Biobriket Jerami Padi – Batubara .....	67
Gambar 4. 21 Pengaruh komposisi jerami padi terhadap emisi CO maksimum dan rata-rata.....	68

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sumber biomasa yang berpotensi sebagai sumber energi.....	10
Tabel 2. 2 Analisis Proksimat Biomassa.....	11
Tabel 2. 3 Analisis Proximate Batubara Sub Bituminuos (Supramono, 2008).....	12
Tabel 2. 4 Perbandingan penggunaan tekanan tinggi dan rendah pada briket.....	20
Tabel 2. 5 Karakteristik pembakaran biobriket.....	22
Tabel 2. 6 Pengaruh kandungan dalam bahan bakar terhadap <i>heating value</i> dan waktu ignisi .....	28
Tabel 2. 7 Perbandingan perekat pada kondisi tekanan tinggi dan rendah .....	32
Tabel 2. 8 <i>State of The Arts</i> Biobriket.....	34
Tabel 3. 1 Alat dalam penelitian biobriket.....	39
Tabel 4. 1 Hasil uji proksimat dan kalori biomassa dan batubara .....	49
Tabel 4. 2 Hubungan antara uji proksimat dan uji kalori.....	51
Tabel 4. 3 Suhu ignisi setiap paduan biomassa - batubara dalam biobriket .....	52
Tabel 4. 4 Ringkasan waktu ignisi biobriket sekam padi - batubara .....	54
Tabel 4. 5 Pengaruh abu ( <i>ash</i> ) dalam pembakaran fasa ignisi sekam padi – batubara .....	56
Tabel 4. 6 Ringkasan waktu ignisi biobriket jerami padi - batubara .....	58
Tabel 4. 7 Pengaruh abu ( <i>ash</i> ) dalam pembakaran fasa ignisi jerami padi – batubara .....	60
Tabel 4. 8 Pengaruh abu pada fasa <i>char burning</i> sekam padi -batubara.....	65
Tabel 4. 9 Ringkasan puncak emisi CO biobriket sekam padi - batubara .....	65
Tabel 4. 10 Pengaruh abu pada fasa <i>char burning</i> jerami padi -batubara.....	67
Tabel 4. 11 Ringkasan emisi CO biobriket jerami padi – batubara .....	68
Tabel 4. 12 Rekomendasi paduan biobriket untuk waktu ignisi yang relatif cepat dan emisi CO yang relatif rendah.....	69

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A ANALISIS PROKSIMAT DAN KALORI.....	77
LAMPIRAN B PENGERINGAN BIOMASSA .....	80
LAMPIRAN C PROFIL UJI PEMBAKARAN.....	81
LAMPIRAN E DATA WAKTU & TEMPERATUR PEMBAKARAN.....	88
LAMPIRAN F PERHITUNGAN AIR FUEL RATIO .....	113



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang mengonsumsi energi dalam jumlah besar di dunia. Hal ini tergambar jelas pada Tabel 1.1 dimana kebutuhan akan energi di Indonesia kian meningkat hingga 9% per tahun. Adapun pemenuhan energi ini terutama didapatkan dari sektor energi tak terbarukan, terutama minyak bumi. Sedangkan suplai minyak bumi di dunia ini sudah semakin menipis. Hal ini menjadi polemik yang hangat dibicarakan hingga muncullah berbagai pengembangan sumber energi terbarukan. Salah satu jenis energi terbarukan yang sedang dikembangkan adalah biomassa. Sumber energi biomassa berasal dari siklus biologis yang ada di permukaan bumi, seperti kayu, kotoran hewan, arang, jerami, limbah pertanian (Kirk-Othmer, 1990). Berbagai implementasi produk biomassa sebagai bahan bakar sudah banyak dijadikan sebagai riset, seperti biofuel, gasifikasi biomassa, pelet biomassa, serta briket biomassa.

Tabel 1. 2 Prediksi kebutuhan energi di Indonesia  
(RIPEBAT, 1997)

Sektor	1990		2000		2010	
	GJ	%	GJ	%	GJ	%
<b>Industri</b>	117683,33	68	282740	69	611296,66	70
<b>Rumah Tangga</b>	32883,33	19	741306,66	18	135963,33	16
<b>Fasilitas Publik</b>	12113,33	7	22436,66	6	42343,33	5,5
<b>Komersial</b>	10383,33	6	29370	7	72896,33	8,5
<b>Total</b>	173063,33	100	408676,66	100	862490	100

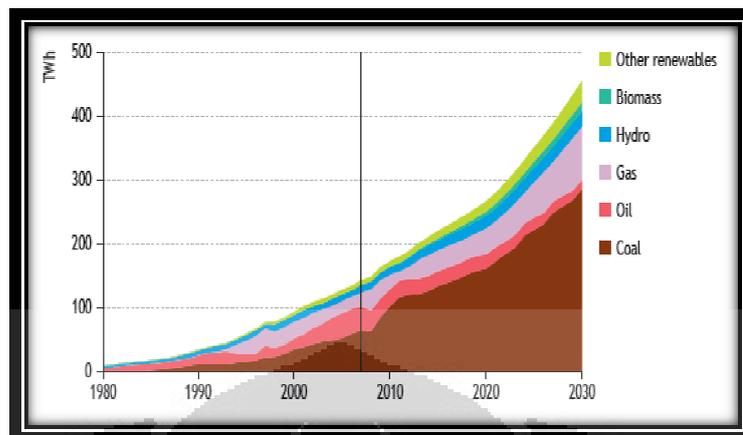
Indonesia memiliki potensi biomassa hingga hampir 50.000 MW sedangkan yang baru diberdayakan hanya sekitar 445 MW di daerah terpencil (Indarti, 2001). Hal ini tentu menjadi pemicu yang luar biasa untuk mengembangkan potensi biomassa sebagai energi terbarukan di Indonesia. Potensi biomassa ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dengan teknologi pembakaran langsung yang difasilitasi dengan pengompakkan biomassa tersebut

menjadi briket ataupun pelet. Pembuatan briket adalah proses yang bertujuan mengkonsentrasikan sejumlah energi yang berasal dari material alam (batubara, sampah kayu, sampah padi, dll) menjadi sebuah benda yang terkompakkan dan tinggi densitasnya (Miguel, 2000). Adapun, salah satu material biomassa yang potensial digunakan sebagai bahan baku briket sendiri dapat ditentukan dengan merujuk pada Tabel 1.2, di mana terlihat jelas bahwa potensi energi biomassa terbesar di Indonesia adalah limbah pertanian berupa padi-padian serta limbah kayu.

**Tabel 1. 3** Jenis-jenis biomassa serta potensinya (Indonesia Country Paper, 2001)

<b>Biomassa</b>	<b>Produksi (juta ton/tahun)</b>	<b>Potensial Energi (juta GJ/ tahun)</b>
<b>Kayu karet (<i>rubber wood</i>)</b>	41	120
<b>Residu penebangan pohon</b>	4,5	19
<b>Residu Serbuk Kayu</b>	1,3	13
<b>Residu Kayu</b>	1,5	16
<b>Residu Tebu</b>	ampas tebu : 10; batang tebu : 4; daun tebu : 9,6	78
<b>Residu Padi</b>	Sekam padi : 12; Jerami padi : 49	150
<b>Residu Kelapa</b>	batok : 0,4; selongsong kelapa : 0,7	7
<b>Residu Kelapa Sawit</b>	tandan kosong : 3,4; serat : 3,6	67

Selain biomassa, Indonesia memiliki potensi sumber daya alam yang sangat melimpah yakni batubara. Produksi batubara di Indonesia mencapai 734 MBOE pada tahun 2009 ((IEA), 2009). Selain itu, seperti terlihat pada Gambar 1.1 bahwa kecenderungan penggunaan energi hingga tahun 2030 merujuk pada penggunaan batubara. Dengan kapasitas produksi batubara yang masih sangat melimpah serta proyeksi penggunaan batubara yang meningkat ini maka batubara layak diberdayakan sebagai komponen campuran dengan biomassa untuk menghasilkan biobriket. Potensi panas pembakaran batubara yang jauh lebih tinggi menjadikan biobriket bahan bakar yang perlu untuk diproduksi.



Gambar 1. 1 Proyeksi penggunaan energi di Indonesia (World Energy Outlook, 2009)

Dengan melimpahnya sumberdaya biomassa dan batubara di Indonesia maka diperlukan suatu inovasi energi yang menyatukan kedua bahan tersebut, yakni pembuatan briket. Pemilihan bentuk bahan bakar menjadi briket ini dikarenakan pembuatan briket yang praktis dan memiliki volume panas yang cukup besar (Zhou, 2007). Pembuatan briket dapat dilakukan pada kondisi tekanan rendah (sekitar 5 MPa) yang artinya sangat memadai untuk diaplikasikan pada kehidupan rumah tangga. Penggunaan tekanan briketisasi ini (5MPa) jauh lebih rendah dibandingkan dengan tekanan yang dibutuhkan untuk pembuatan pelet bertekanan rendah yakni hingga 17,2 – 41,4 MPa (Finney, 2009). Artinya, dari segi kemudahan pembuatan, briket lebih unggul dibandingkan dengan pembuatan pelet. Selain itu, teknologi dalam pembuatan pelet membutuhkan *extruder* ataupun *piston press* bertekanan tinggi yang cenderung menguras biaya lebih mahal. Oleh karena itu, pemilihan bentuk briket dalam proses pembakaran langsung bahan alam (biomassa dan batubara) menjadi solusi yang dibutuhkan oleh masyarakat sebagai bentuk pemenuhan energi.

Ketika dibuat dalam bentuk briket secara mandiri, biomassa sangat bermasalah dalam hal tingginya *moisture content* serta rendahnya panas pembakaran (Wilaipon, 2008). Oleh karena itu, campuran antara biomassa dan batubara dapat menjadi suatu jawaban dari masalah rendahnya panas pembakaran biomassa (Singh, 2009). Selain itu, dengan memadukan biomassa dan batubara menjadi bahan bakar briket diharapkan terjadi percepatan waktu ignisi karena

kandungan *volatile matters* biomassa yang tinggi sehingga waktu ignisinya tidak terlalu lama seperti briket batubara (Lu G. , 2000). Yang terakhir, dengan perpaduan biomassa dan batubara ini diharapkan dapat mengurangi emisi CO. Hal ini dikarenakan polusi CO sangat dipengaruhi oleh kandungan C (karbon) dalam bahan dasar penyusun briket, semakin besar presentasi biomassa pada biobriket maka kandungan emisi polutan CO akan semakin berkurang (Subroto, 2006).

Oleh karena itu, pembuatan briket biomassa-batubara, yang disebut dengan biobriket, memiliki tujuan mengimbangi satu sama lain dalam hal panas pembakaran, emisi CO, dan waktu ignisi. Artinya, batubara akan membantu biomassa menjadi lebih tinggi panas pembakarannya, sedangkan biomassa akan mempercepat waktu ignisinya dan mengurangi emisi CO.

Beberapa penelitian mengenai biobriket telah banyak dikembangkan seperti pengujian pembakaran dan kontrol polutan (Lu G. , 2000), pengaruh binder terhadap ketahanan mekanis briket (Kim, 2002), serta pengujian temperatur ignisi dan *heating value* biobriket (Singh, 2009) yang semuanya menggunakan tekanan tinggi dalam pembuatan briket tersebut, dimana dengan tekanan tinggi mengakibatkan biaya yang lebih tinggi dan kurang cocok diaplikasikan dalam kehidupan masyarakat sehari-hari. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk melihat pengaruh komposisi biomassa terhadap waktu ignisi dan emisi CO biobriket untuk diaplikasikan sebagai bahan bakar masyarakat yang praktis.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam memproduksi bahan bakar biobriket terdapat beberapa masalah utama.

1. Bagaimana pengaruh jenis bahan biomassa (jerami padi dan sekam padi) yang dipadukan dengan batubara sub bituminuos terhadap waktu ignisi (*ignition time*) dari biobriket relatif terhadap briket batubara (analisis temperatur vs waktu).
2. Bagaimana pengaruh jenis bahan biomassa biomassa (jerami padi dan sekam padi) yang dipadukan dengan batubara sub bituminuos terhadap emisi gas CO biobriket.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Bahan bakar biobriket dalam penelitian ini diproduksi agar memiliki sifat baik batubara sub bituminous yaitu sifat baik biomassa yaitu waktu penyalaan yang cepat, serta mempunyai emisi CO yang relatif rendah. Oleh karena itu, tujuan detail dari penelitian ini antara lain :

- Untuk mengetahui pengaruh komposisi biomassa terhadap waktu ignisi biobriket.
- Untuk mengetahui pengaruh komposisi biomassa terhadap kadar emisi CO yang dihasilkan biobriket.

### 1.4 Batasan Penelitian

Batasan ruang lingkup yang akan dibahas adalah:

- Penggunaan bahan baku biomassa berupa jerami padi, sekam padi, dan batubara subbituminuos
- Penggunaan kanji sebagai perekat (*binder*)
- Biobriket berbentuk bola
- Komposisi massa biomassa terhadap batubara dibuat bervariasi : 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam makalah ini adalah sebagai berikut :

#### **Bab I : Pendahuluan**

- Menjelaskan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

#### **Bab II : Tinjauan Pustaka**

- Menjelaskan tentang berbagai aspek yang berkaitan dengan biomassa, batubara, ketersediaan batubara dan biomassa di Indonesia, analisis kandungan biomassa dan batubara, mekanisme pembakaran bahan bakar padat, pertimbangan bahan biobriket (segi teknologi pembuatan, kecepatan

pembakaran, waktu ignisi, *heating value*, dan emisi), perekat biobriket, *state of the arts* biobriket.

### **Bab III : Metode Penelitian**

- Menjelaskan diagram alir penelitian, prosedur tiap tahap penelitian, alat dan bahan yang diperlukan, serta jadwal pelaksanaan penelitian.
- Pengujian terhadap temperatur vs waktu dan waktu ignisi, pengujian emisi dari *furnace* dan pengujian *heating value*.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Biomassa

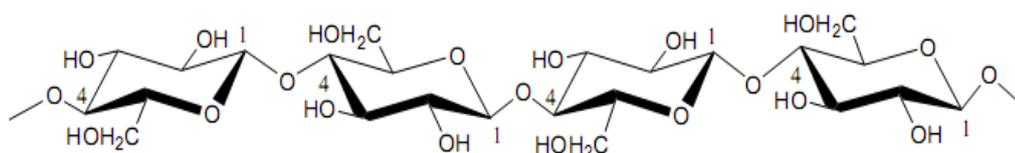
Biomassa merupakan produk reaksi fotosintetik dari karbon dioksida dengan air, yang terdiri atas karbon, oksigen, dan hidrogen, yang terdapat dalam bentuk polimerik makroskopik kompleks. Bentuk-bentuknya adalah :

Selulosa	$(C_6H_{10}O_5)_x$
Hemiselulosa	$(C_5H_8O_4)_y$
Lignin	$(C_9H_{10}O_3(CH_3O)_{0.9-1.7})_z$

Biomassa dapat digunakan secara langsung (misalnya, membakar kayu untuk pemanas/memanaskan dan memasak) atau secara tidak langsung mengkonversikannya menjadi bahan bakar gas/cair. Energi bersih yang didapat dari biomassa ketika dibakar berkisar antara 8 MJ/kg untuk *green wood*, 20 MJ/kg untuk bahan tumbuhan kering, hingga 55 MJ/kg untuk metana; sebagai bahan perbandingan yaitu 23-30 MJ/kg untuk batubara.

##### A. Selulosa

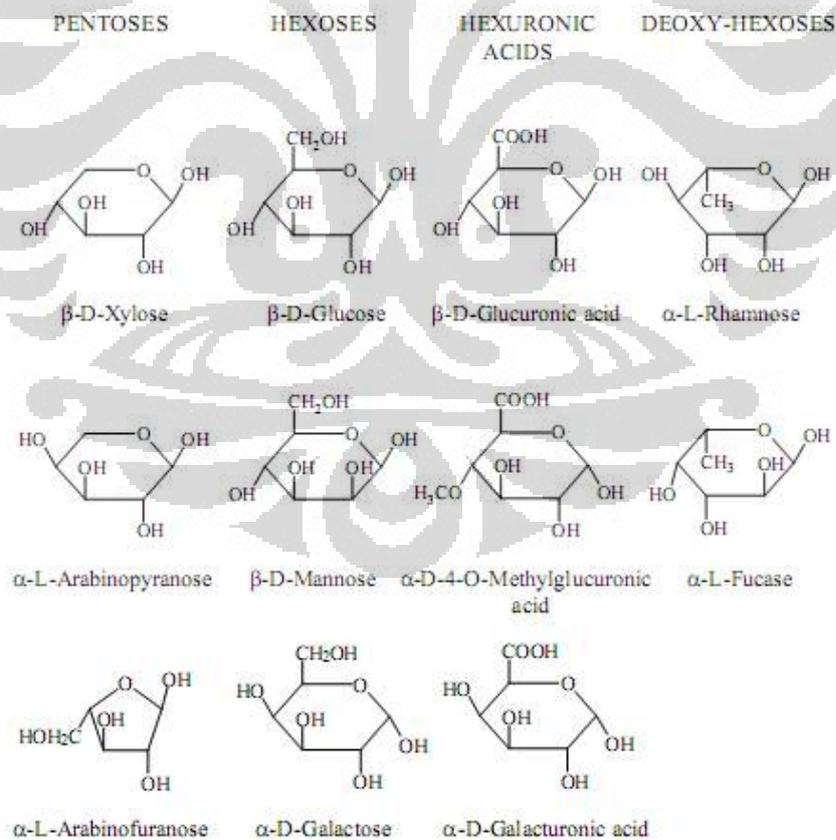
Selulosa adalah polimer glukosa (hanya glukosa) yang tidak bercabang. Bentuk polimer ini memungkinkan selulosa saling menumpuk/terikat menjadi bentuk serat yang sangat kuat. Panjang molekul selulosa ditentukan oleh jumlah unit *glucan* di dalam polimer yang disebut dengan derajat polimerisasi. Derajat polimerase selulosa tergantung pada jenis tanaman dan umumnya dalam kisaran 2000 – 27000 unit *glucan*. Selulosa dapat dihidrolisis menjadi glukosa dengan menggunakan asam atau enzim.



Gambar 2. 1 Struktur Selulosa

## B. Hemiselulosa

Hemiselulosa mirip dengan selulosa yang merupakan polimer gula. Namun, berbeda dengan selulosa yang hanya tersusun dari glukosa, hemiselulosa tersusun dari bermacam-macam jenis gula. Monomer gula penyusun hemiselulosa terdiri dari monomer gula berkarbon 5 (C-5) dan 6 (C-6), misalnya: xyloza, mannose, glukosa, galaktosa, arabinosa, dan sejumlah kecil rhamnosa, asam glukorat, asam metal glukoronat, dan asam galaturonat. Xyloza adalah salah satu gula C-5 dan merupakan gula terbanyak kedua di biosfer setelah glukosa. Kandungan hemiselulosa di dalam biomasa lignoselulosa berkisar antara 11% hingga 37% (berat kering biomasa). Hemiselulosa lebih mudah dihidrolisis daripada selulosa, tetapi gula C-5 lebih sulit difermentasi menjadi etanol daripada gula C-6. Bentuk struktur dari hemiselulosa dapat dilihat pada Gambar 2. 2.



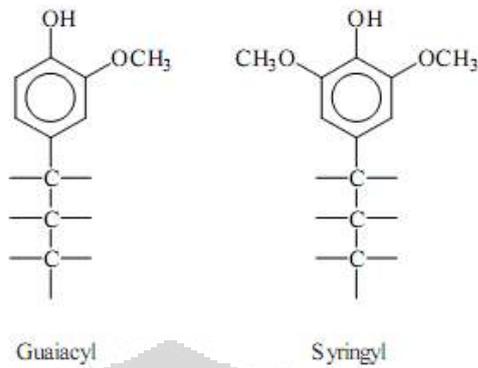
Gambar 2. 2 Struktur Hemiselulosa

### C. Lignin

Lignin adalah molekul kompleks yang tersusun dari unit *phenylpropane* yang terikat di dalam struktur tiga dimensi. Lignin adalah material yang paling kuat di dalam biomasa. Lignin memiliki titik leleh yang cukup rendah yaitu 140°C. Zat ini sangat resisten terhadap degradasi, baik secara biologi, enzimatik, maupun kimia. Lignin memiliki rasio dari C:O dan H:O lebih besar dibandingkan dengan fraksi karbohidrat lainnya di dalam biomasa. Hal inilah yang membuat lignin lebih potensial untuk proses oksidasi.

Kegunaan dari lignin cukup banyak, antara lain:

- **Dispersants:** ketika ter-adsorb pada partikel yang halus, muatan zat kimia dari lignin membuat gaya tolak elektrostatis yang menghalangi proses koagulasi.
- **Binders:** Lignin dapat membentuk jaringan kimia dan fisika terhadap molekul disekitarnya
- **Sequesterants:** Hidroksil, sulfonik, dan karboksil merupakan kelompok zat kimia ion logam kompleks yang terkandung dalam lignin
- **Passivators:** memberikan lapisan yang memiliki sifat resisten terhadap korosi
- **Emulsifikasi:** gaya tolak elektrostatis dan aksi pelapisan pada tetesan kecil dapat menstabilkan emulsi
- **Humectants:** lignin dapat mengikat air dan membuat formulasi tetap lembab
- **Cement additives:** lignin dapat mencegah aglomerasi selama proses penggilingan
- **Drilling muds:** meningkatkan ketebalan dan daya dispersi



Gambar 2. 3 Struktur lignin

### 2.1.1 Material Biomassa di Indonesia

Material biomassa di Indonesia sangat melimpah sehingga diperkirakan Indonesia menghasilkan 146.7 juta ton biomassa per tahun, setara dengan 470 GJ/ tahun. Adapun berbagai jenis material serta kapasitas hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Sumber biomassa yang berpotensi diaplikasikan sebagai sumber energi  
(ZREU, CGI 2000)

Sumber Biomasa	Limbah	Rasio Limbah (%)	Jumlah Limbah (Juta ton/Tahun)	LHV (MJ/kg)	Potensi Energi (Juta GJ/ Tahun)	Crude Oil Equivalent ( $10^6$ toe/ Tahun)
Tebu	Bagas	32	8,5	18,1	78,00	1,87
	Daun dan Pucuk Tebu	30	1,3	15,81	20,55	0,49
Kelapa Sawit	TKKS	27	12,9	8,16	105,26	2,53
	Serat	15	6,7	11,34	75,98	1,82
	Tempurung	9	3,5	18,83	65,91	1,58
Pohon Karet	Limbah Kayu Karet	-	2,8	-	46,45	1,11
Kelapa	Serabut	-	6,7	18,62	124,75	2,99
	Tempurung	16	3	16,78	50,34	1,21
Padi	Sekam Padi	23	13,5	12,69	171,32	4,11
	Jerami	40	49	10,9	534,10	12,82
Ubi Kayu	Limbah Cair Pabrik Tapioka	-	7,3	-	133,13	3,20
Industri Kayu	Limbah Kayu	-	8,3	-	70,11	1,68
<b>TOTAL</b>					<b>1475,90</b>	<b>35,42</b>

### 2.1.2 Karakterisasi Biomassa

Setiap biomassa memiliki perbedaan sifat dan karakteristik yang dapat mempengaruhi performa sebagai bahan bakar di dalam proses pembakaran. Sifat dan karakteristik yang paling penting terkait dengan konversi dari biomassa meliputi kandungan air, kandungan abu, kandungan zat volatil, komposisi elemen, nilai bakar, dan densitas bulk. Dalam mendefinisikan sifat dari biomassa, merupakan hal yang sangatlah penting untuk mengetahui bahwa biomassa terdiri dari air, abu, dan zat bebas abu. Contoh sifat dan karakteristik berbagai macam biomassa kering dapat dilihat dari Tabel 2. 2 berikut.

**Tabel 2. 2** Analisis Proksimat Biomassa  
(Fisafarani, 2010)

Jenis Biomasa	Kandungan air	Abu	Zat Volatil	<i>Fixed carbon</i>
	%, adb	%, adb	%, adb	%, adb
<b>Jerami</b>	11,98	17,42	56,48	14,12
<b>Sekam</b>	7,78	21,84	57,05	13,33
<b>Kayu Kamper</b>	15,52	1,21	68,22	15,05
<b>Kayu Karet</b>	10,85	4,29	69,76	15,1
<b>Serabut Kelapa</b>	10,27	3,27	62,64	23,82
<b>TKKS</b>	10,45	3,43	68,67	17,45
<b>Bagas</b>	8,76	1,34	75,94	13,96

## 2.2 Batubara

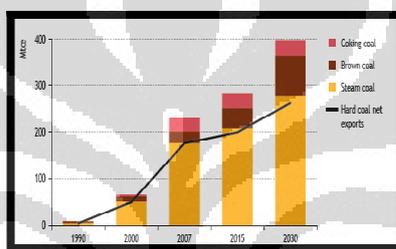
Batubara adalah salah satu bahan bakar fosil yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik yang tertimbun selama ratusan tahun. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara merupakan batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk.

### 2.2.1 Batubara di Indonesia

Indonesia memiliki cadangan batubara yang cukup besar, yaitu sebesar 6,759 juta ton (Purwanto, Nugroho, & Supramono, 2006). Cadangan tersebut sebagian besar terdapat di Sumatera Selatan (39,64%), Kalimantan Timur (30,65%) dan Kalimantan Selatan (27,64%). Sebagian besar cadangan batubara mengandung batubara yang berkalori rendah atau batubara jenis lignit (bernilai kalori kurang dari 5100 kal/gram) sebanyak 43,88% dari total cadangan dan bernilai kalori medium atau berjenis sub-bituminus (5100 – 6100 kal/gram) sebanyak 36,10%

(Purwanto, Nugroho, & Supramono, 2006). Di tahun 2005, dari 149,67 juta ton batubara yang diproduksi, sebanyak 36,80 juta ton digunakan di dalam negeri dan hampir 1 juta ton diantaranya digunakan untuk briket batubara yang banyak digunakan sebagai bahan bakar padat di industri kecil dan rumah tangga.

Adapun proyeksi penggunaan batubara di Indonesia dapat terlihat pada Gambar 2.4 di bawah ini dimana terlihat peningkatan yang sangat signifikan dari tahun ke tahun. Oleh karena itu, batubara masih merupakan sumber daya energi yang sangat potensial untuk diolah sedemikian sehingga berguna bagi masyarakat Indonesia.



**Gambar 2. 4** Proyeksi penggunaan batubara di Indonesia ((IEA), 2009)

### 2.2.2 Batubara Sub Bituminuos

Batubara sub bituminuos adalah salah satu jenis batubara berperingkat sedang dengan kisaran nilai kalor 5100 – 6100 kal/gram. Batubara sub bituminuos memiliki ciri berwarna hitam, mengkilat, agak rapuh, nilai kalor cukup tinggi, kandungan zat terbang cukup tinggi, serta kandungan sulfur yang juga cukup tinggi.

Adapun karakteristik tipikal batubara subbituminuos tertera pada Tabel 2. 3 di bawah ini.

**Tabel 2. 3** Analisis Proximate Batubara Sub Bituminuos (Supramono, 2008)

Parameter	% berat
Kadar air	5,23
Kadar <i>volatile matter</i>	26,03
Kadar abu	12,88
Kadar karbon	55,86

Berkaca pada tingginya kadar karbon pada batubara yang mengindikasikan tingginya nilai *heating value* batubara sub bituminuos maka

perpaduan biomassa dan batubara menjadi hal yang sangat baik untuk meningkatkan nilai kalor biobriket.

### 2.3 Analisis Kandungan Biomassa dan Batubara

Secara umum, metode analisis untuk kandungan pada batubara dan biomassa relatif sama. Terdapat dua metode untuk menganalisis kandungan batubara/biomassa: analisis *ultimate* dan analisis *proximate*. Analisis *ultimate* menganalisis seluruh elemen komponen pada batubara/biomassa, baik itu padat atau gas. Sedangkan analisis *proximate* hanya menganalisis *fixed carbon*, bahan yang mudah menguap, kadar air dan persen abu. Analisis *ultimate* harus dilakukan di laboratorium dengan peralatan yang lengkap oleh ahli kimia yang terampil, sedangkan analisis *proximate* dapat dilakukan dengan peralatan yang sederhana.

Analisis *proximate* menunjukkan persen berat dari *fixed carbon*, bahan mudah menguap, abu, dan kadar air dalam batubara. Jumlah *fixed carbon* dan bahan yang mudah menguap secara langsung turut andil terhadap nilai panas biomassa. *Fixed carbon* bertindak sebagai pembangkit utama panas selama pembakaran. Kandungan bahan yang mudah menguap yang tinggi menunjukkan mudahnya penyalaan bahan bakar. Kadar abu merupakan hal penting dalam perancangan *grate* tungku, volum pembakaran, peralatan kendali polusi dan sistem *handling* abu pada tungku.

Analisis *ultimate* menentukan berbagai macam kandungan kimia unsur-unsur seperti karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, dll. Analisis ini berguna dalam penentuan jumlah udara yang diperlukan untuk pembakaran dan volum serta komposisi gas pembakaran. Informasi ini diperlukan untuk perhitungan suhu nyala dan perancangan saluran gas buang.

Beberapa analisis yang penting dilakukan untuk mengetahui performa suatu bahan bakar padat pada saat pembakaran adalah sebagai berikut.

#### 2.3.1 Analisis Kelembapan

Kelembapan dalam batubara/biomassa cenderung mengurangi panas pembakaran. Hal ini karena bila kandungan air pada batubara dimasukkan ke

tungku pembakaran, panas laten akan dibutuhkan untuk penguapan dan panas *sensible* ketika suhunya ditingkatkan. Karena itu, semakin besar kelembapan suatu batubara/biomassa, semakin merugikan kondisi tersebut dalam suatu pembakaran. Secara umum, kandungan kelembapan akan berkurang dengan naiknya *grade*, mencapai nilai minimum pada batubara bituminous dan meningkat pada anthracite. Kelembapan dari sampel udara yang dikeringkan (air – dried sample ) dapat ditentukan dengan memanaskan 1 – 2 gr 72 sampel analisis pada suhu 105°C dalam atmosfer inert ( bebas N<sub>2</sub> – O<sub>2</sub> ), pada berat tetap M''% (Williams & Pourkashanian, 2000). Berat yang hilang diketahui sebagai kandungan kelembapan. Analisis kelembapan dapat diketahui dengan menentukan *free moisture* dan *bound moisture* yang terdapat dalam batubara/biomassa.

### 2.3.2 Analisis Abu

Abu ditentukan dengan memanaskan sejumlah sampel pada 825±25°C di dalam tungku hingga seluruh materi organik terbakar (ASTM D3174, BS1016 Part 104). Tungku yang digunakan harus bebas tapi sedikit mengalirkan udara untuk memastikan terjadi kondisi oksidasi. Residu dari materi anorganik yang ditimbang sebagai abu.

Kadar abu merupakan hal penting dalam perancangan *grate* tungku, volum pembakaran, peralatan kendali polusi, sistem *handling* abu pada tungku, dan penentuan waktu penyalaan. Bila kadar abu pada suatu bahan bakar terlalu banyak, hal ini tidak menguntungkan karena abu bersifat inert, sehingga abu hanya akan mengurangi efisiensi kalor yang dihasilkan dari bahan bakar (Chigier, 1981).

### 2.3.3 Analisis Kandungan Volatil

Kandungan volatil dalam batubara/biomassa adalah campuran dari uap dan gas yang keluar saat proses pirolisis dari batubara. Kandungan volatil mengandung CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, dan spesi hidrokarbon lainnya, termasuk tar yang terbentuk saat proses dekomposisi batubara pada struktur makromolekul. Kandungan volatil akan berkurang seiring dengan naiknya *grade* batubara, walaupun terkadang jumlah kandungan volatil bergantung pada kondisi

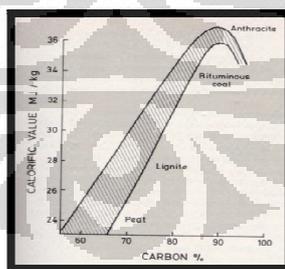
eksperimen. Kandungan volatil ini dapat menguntungkan dalam hal penyalan (*ignition*) batubara karena dapat melepaskan panas secara konveksi maupun radiasi dan membentuk pori pada permukaan di saat kandungan volatil tersebut lepas dari permukaan batubara/biomassa.

Kandungan volatil ditentukan dengan memanaskan batubara/biomassa pada tungku selama 7 menit pada suhu  $950^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$  bebas  $\text{O}_2$  (ASTM D3175, BS1016 Part 104). Berat yang hilang akan sama dengan kandungan volatil yang terbentuk saat proses dekomposisi batubara dan kelembapan yang ada saat tes kelembapan.

#### 2.3.4 Analisis Karbon Tetap (*Fixed carbon*)

Pada analisis tahap ini, jumlah yang terlihat menunjukkan persentase dari berat kelembapan, kandungan volatil, dan abu, yang akan ditambahkan dengan residu karbon padatan, yang disebut sebagai karbon tetap ( ASTM D3172 ).

Kecenderungan yang ada adalah semakin tinggi karbon tetapnya, semakin tinggi nilai kalornya, maka semakin tinggi juga *grade*-nya, maka hal ini akan semakin menguntungkan. Semakin besar kandungan *fixed carbon*-nya, semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan, seperti terlihat pada Gambar 2. 5 (Chigier, 1981).

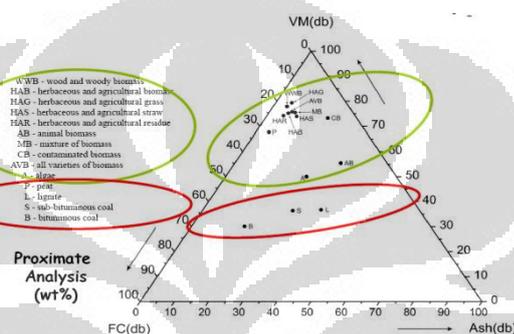


**Gambar 2. 5** Hubungan Kandungan *Fixed carbon* dengan Nilai Kalor Batubara (Chigier, 1981)

#### 2.3.5 Komparasi Analisis Kandungan Batubara dan Biomassa

Gambar 2. 6 menunjukkan perbandingan umum kandungan yang didapat dari analisis proksimat pada beberapa jenis biomassa dan batubara (Vassilev, 2010). Perbedaan yang cukup mencolok terlihat pada kandungan *fixed carbon* (FC) dan *volatile matters* (VM). Dari sini dapat dilihat bahwa masing-masing

memiliki keunggulan tersendiri dalam segi penyalaan dan pembakaran. Batubara, khususnya subbituminous dalam penelitian ini, memiliki banyak kandungan karbon, maka akan memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibanding biomassa. Namun, batubara memiliki kandungan zat volatile yang lebih sedikit, sehingga dapat menghambat penyalaan. Sebaliknya, nilai karbon tetap yang dimiliki biomassa lebih kecil namun memiliki kandungan zat *volatile* yang lebih banyak, sehingga dapat mempercepat waktu nyala.



**Gambar 2. 6** Perbandingan Hasil Analisis Proksimat pada Batubara dan Biomassa (Vassilev, 2010)

## 2.4 Mekanisme Pembakaran Bahan Bakar Padat

Pembakaran material karbon pada bahan bakar padat, seperti batubara dan biomassa, mengalami beberapa proses yang berbeda yang berlangsung secara berurutan seiring dengan kenaikan temperatur material karbon (Smoot, 1991):

### 1. Pengeringan

Pada tahap ini dilakukan pengeringan pada biomasa sehingga air yang terkandung dalam biomasa akan keluar dan membentuk uap air. Lamanya tahap ini tergantung pada tingkat kandungan air dalam batubara atau biomasa. Semakin tinggi kandungan air yang terdapat di dalam biomasa, maka akan semakin lama pula waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeringan ini.

### 2. Devolatilisasi

Proses ini terjadi pada batubara yang dipanaskan pada lingkungan inert. Devolatilisasi dapat diawali dengan induksi atau *ignition delay time*. Devolatilisasi hampir bersamaan dengan lepasnya gas dan *volatile matters* (material yang mudah menguap) termasuk tar dari permukaan dan pori-pori

partikel material karbon sehingga terbentuk *char* (arang). Partikel yang ada menjadi lebih lunak dan bersifat plastik.

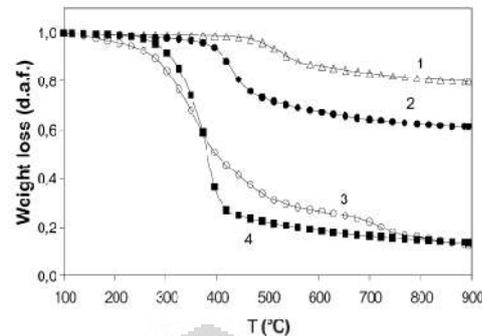
*Volatile matters* diyakini berasal dari spesi turunan dari putusnya ikatan  $-H_2$ ,  $-CH$ ,  $-CH_2$ ,  $-CH_3$ , dan  $-OH$  yang terdapat pada sekeliling batubara. Spesi-spesi ini memiliki berat molekul yang ringan. Proses devolatilisasi ini diikuti dengan difusi cepat spesi-spesi tersebut dari permukaan partikel dan juga oksidasi fasa-gas yang terjadi berikutnya.

Mekanisme devolatilisasi pada partikel yang kecil (kurang dari 100  $\mu m$ ) berbeda dengan yang terdapat pada partikel yang besar. Untuk partikel kecil, reaksi permukaan heterogen akan lebih dominan dibandingkan dengan difusi yang terjadi. Sedangkan sebaliknya pada partikel yang lebih besar dari 100  $\mu m$ , difusi menjadi lebih berpengaruh pada devolatilisasi yang terjadi.

### **3. Pembakaran Zat Volatil**

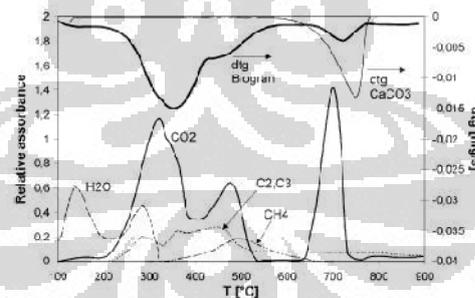
Bahan bakar padat mengandung komponen penyusun yang sangat kompleks dimana zat-zat volatil yang ada di dalamnya berbeda untuk tiap jenis batubara atau biomasnya. Berikut ini merupakan reaksi pembakaran sederhana dari zat volatil yang seringkali terjadi pada proses pembakaran bahan bakar padat. Panas yang dihasilkan oleh reaksi eksotermis sangat penting dalam pelepasan zat volatil dan penyalaan api pada arang (karbon).

Proses devolatilisasi pada pembakaran bahan bakar padat seperti briket dapat dianalisis dengan seksama menggunakan analisis termogravimetri (TGA Analysis) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 7. Pada gambar tersebut terlihat pengurangan massa di setiap fasa pembakaran bahan bakar. Tahap devolatilisasi ditandai dengan pengurangan massa (penurunan slop grafik) pada suhu tertentu. Pengurangan massa ini mengindikasikan hilangnya komponen *volatile matters* pada bahan bakar padat yang terjadi secara gradual diikuti dengan pembakaran komponen lain (zat karbon padat) pada komponen bahan bakar (Biagini & Lippi, 2002).



**Gambar 2. 7** Analisis termogravimetri untuk menentukan tahap-tahap dalam pembakaran (1) batubara JW; (2) batubara US; (3) biogran; (4) kayu gergaji (Biagini, 2010)

Apabila telah diketahui proses devolatilisasi terjadi pada suhu berapa, kemudian kita dapat melanjutkan proses analisis kandungan zat *volatile matters* apa saja yang dilepaskan bahan bakar padat selama pembakaran dengan menggunakan analisis FTIR (*Fourier Transform Infra Red*). Sebagai contoh, Gambar 2. 8 memaparkan secara jelas komponen apa saja yang terlibat dalam proses devolatilisasi seperti  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2$ , dan  $C_3$ . Dengan analisis ini maka akan lebih mudah mengetahui peranan zat *volatile matters* dalam proses pembakaran bahan bakar padat.



**Gambar 2. 8** Contoh hasil analisis FTIR untuk mendeteksi senyawa yang terkandung dalam *volatile matters* (Biagini, 2010)

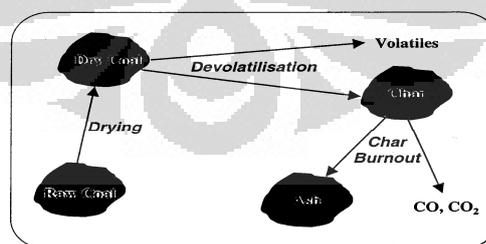
#### 4. Pembakaran *Char*

*Char* merupakan bahan residu yang kaya akan karbon namun miskin akan oksigen dan hidrogen. *Char* masih mengandung N dan S dan beberapa kandungan mineral lainnya. Partikelnya terkadang memiliki patahan dan lubang yang disebabkan oleh hilangnya gas dan *volatile matter* serta terdapat kemungkinan ukurannya membesar dari sebelumnya. *Char*

memiliki porositas yang tinggi ( $\sim 0.7$ ) dan luas permukaan spesifik yang tinggi juga ( $\sim 100 \text{ m}^2/\text{g}$ ). Sifat yang dimiliki char dipengaruhi oleh proses pirolisis yang terjadi sebelumnya.

Dalam pembakaran *char*, terjadi reaksi heterogen antara *char* dan oksigen yang terjadi pada *gas-solid interface*. Produk utama dari reaksi permukaan ini berupa CO. CO nantinya bereaksi dalam fasa gas untuk membentuk  $\text{CO}_2$  (sangat eksotermis). Tahap ini relatif lebih lama dibanding devolatilisasi. Proses reaksi yang terjadi diawali dengan difusi spesi pengoksidasi ke permukaan partikel dan selanjutnya ke dalam struktur pori internal. Ini diikuti dengan *chemisorption* reaktan gas ke permukaan internal dan eksternal. Setelah reaksi terjadi pada permukaan partikel, gas produksi reaksi yang terbentuk harus didesorpsi dan didifusikan keluar dari permukaan.

Laju pembakaran char awalnya tergantung dari suhu yang ditransfer oleh radiasi, konveksi, dan konduksi dari lingkungan sekitar. Setelah itu, laju reaksi akan lebih tergantung pada kondisi suhu setempat yang ditentukan dari reaksi karbon-oksigen pada permukaan dan juga laju difusi  $\text{O}_2$ . Reaktivitas char juga bergantung pada jenis batubaranya, suhu, tekanan, dan karakteristik char (ukuran, luas permukaan, dan lain-lain), dan konsentrasi  $\text{O}_2$ . Gambar 2. 9 mengilustrasikan mekanisme pembakaran batubara.



**Gambar 2. 9** Mekanisme Pembakaran pada Batubara (Smoot, 1991)

## 2.5 Biobriket

Biobriket merupakan merupakan bahan bakar berbentuk briket dengan campuran biomassa (jerami, sekam padi, limbah pertanian) dan batubara.

Komposisi biobriket ini dikembangkan dengan persen campuran biomassa 0 – 100%. Selain itu, pengembangan biobriket ini bisa juga dilakukan dengan menambahkan material perekat (*binder*) untuk menjaga ketahanan bentuk briket.

### 2.5.1 Pertimbangan Pembuatan Biobriket

Dalam penelitian ini, pertimbangan pembuatan biobriket merupakan hal fundamental yang harus dibahas. Hal ini berkaitan dengan manfaat yang didapatkan serta perbandingan penelitian ini dengan penelitian terdahulu.

#### 2.5.1.1 Pembuatan Biobriket Bertekanan Rendah

Dalam hal pembakaran langsung material biomassa terdapat dua jenis bahan bakar yang populer yakni briket dan pelet. Bentuk briket lebih dipilih dalam penelitian ini karena kebutuhan tekanan briket pada standar operasi briket bertekanan rendah hanya sebesar 5 MPa (Chin, 2000). Sedangkan untuk pembuatan pelet, tekanan terendah yang dibutuhkan adalah sekitar 17,2 – 41,4 MPa (Finney, 2009). Hal ini tentu saja berdampak pada kebutuhan daya pada saat pembuatan pelet yang lebih tinggi dibandingkan dalam pembuatan briket. Dengan memilih bentuk briket, penelitian diharapkan dapat diterapkan dalam kehidupan masyarakat dimana proses produksi dengan tekanan rendah akan lebih praktis dan terjangkau. Sementara itu, jika dibandingkan dengan biobriket komersial bertekanan tinggi tentu saja biobriket dalam penelitian ini akan memiliki kelebihan dan kekurangan. Berikut Tabel 2. 4 memaparkan perbandingan biobriket bertekanan tinggi dan biobriket bertekanan rendah.

Tabel 2. 4 Perbandingan penggunaan tekanan tinggi dan rendah pada briket

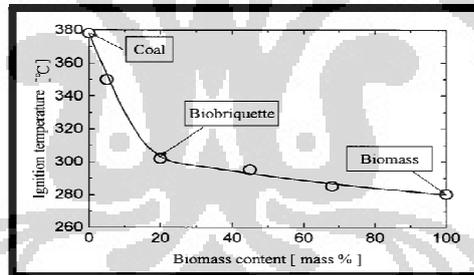
Tekanan Biobriket	Rendah, hingga 5 MPa	Tinggi, lebih dari 100 MPa
<b>Kelebihan</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Daya yang dibutuhkan lebih kecil.</li> <li>✓ Cocok diterapkan untuk <i>home usage/ small scale industry</i> (Chin, 2000).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Menimbulkan efek perekat alami (<i>natural binder</i>) sehingga perekatan tidak memerlukan <i>binder</i> tambahan (Kaliyan, 2010)</li> </ul>
<b>Kekurangan</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Membutuhkan perekat tambahan (Kaliyan, 2010).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Biaya produksi yang tinggi (Suprpto, 2005)</li> </ul>

Ketika menggunakan proses briketisasi bertekanan rendah maka kemungkinan biobriket yang dihasilkan akan berdensitas kurang tinggi. Akan

tetapi, densitas yang kurang tinggi ini memiliki dampak positif dari segi pembakaran yakni cepatnya nilai *burning rate* dari biobriket yang berarti dapat mempercepat proses pembakaran (Chaney, 2006)

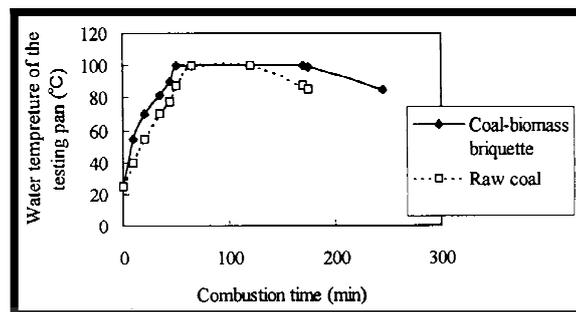
### 2.5.1.2 Waktu Ignisi Biobriket

Pada saat pembakaran, biomassa dan batubara akan terbakar secara simultan pada suhu penyalaan yang rendah, artinya waktu penyalaan yang relatif cepat. Dengan pencampuran material biomassa dan batubara, maka material biomassa akan membuat waktu ignisi briket batubara biasa menjadi lebih singkat. Hal ini dikarenakan bagian material biomasnya memerlukan suhu ignisi yang lebih rendah dibanding bagian batubara pada briket sehingga dapat dipastikan kualitas pembakaran zat-zat volatil dari briket dapat ditingkatkan (Lu dkk, 2000). Oleh karena itu, dapat dinyatakan bahwa teknik briket biobriket dapat menurunkan waktu penyalaan dan nilai bakarnya sekaligus dibanding briket batubara murni (Wilaipon, 2008).



**Gambar 2. 10** Efek kandungan biomassa terhadap penurunan waktu ignisi briket (Lu G. , 2000)

Berdasarkan Gambar 2. 10 di atas terlihat bahwa biomassa memiliki peran yang signifikan dalam temperatur ignisi biobriket. Temperatur ignisi biobriket menurun dengan cepatnya dengan penambahan biomassa di bawah 20% massa. Kemudian, temperatur ignisi biobriket semakin mendekati temperatur ignisi biomassa ketika penambahan biomassa melebihi 20% massa. Fenomena ini terjadi karena biomassa memiliki kandungan *volatile matters* yang lebih banyak sehingga mempercepat proses penyalaan biobriket yang otomatis menurunkan temperatur ignisinya yang tentunya lebih rendah dari briket batubara.



**Gambar 2. 11** Temperatur ignisi biobriket dibandingkan briket batubara murni (Watanabe, 1996)

Gambar 2. 11 juga memperlihatkan fenomena yang sama dimana biobriket memberikan hasil waktu ignisi yang lebih cepat dibandingkan dengan batubara murni. Seperti pada penjelasan sebelumnya, waktu ignisi menjadi lebih cepat karena penambahan biomassa ke dalam briket, dimana biomassa memiliki kandungan *volatile matters* yang tinggi. Adapun hasil eksperimental pembakaran briket batubara dibandingkan dengan biobriket terlihat jelas pada Tabel 2. 5. Hasil eksperimental tersebut memperlihatkan keunggulan biobriket dari segi waktu ignisi dan efisiensi panas, dimana waktu ignisi biobriket lebih cepat serta efisiensi panas lebih tinggi.

**Tabel 2. 5** Karakteristik pembakaran biobriket (Watanabe, 1996)

Parameter	Unit	Biobriquette (coal-biomass)	Raw Coal
Time till ignition	Min	13	20
Time till burning	Min	36	45
Flame holding duration	Min	120	51
Total combustion duration	Min	248	178
Heat efficiency	%	25,5	20,5
Average heating power	g/min	22,2	21,9

Selain faktor *volatile matters* pada biomassa yang banyak sehingga mempercepat waktu ignisi biobriket terdapat faktor lain yakni faktor fisik dari biomassa yang memiliki diameter pori yang lebih besar dibandingkan batubara. Setelah proses devolatilisasi *volatile matter* biobriket dalam jumlah banyak kemudian peristiwa ini akan memperbesar porositas *char* yang terbentuk, sehingga akan memudahkan oksigen untuk berdifusi lebih lanjut ke permukaan (Lu G. , 2000) dan mengakibatkan pembakaran menjadi lebih sempurna dan

efisien (Singh, 2009). Membesarnya porositas *char* ini akan berperan saat di mana kandungan *volatile matter* sudah terbakar habis dan mulai terjadi pembakaran pada permukaan *char*. Artinya, dengan besarnya porositas ini akan memudahkan terjadinya ignisi lanjutan yang ditandai dengan *burning rate* yang cepat.

### **Mekanisme Penyalaan**

Temperatur penyalaan didefinisikan sebagai temperatur terendah yang harus dicapai bahan bakar padat untuk pembakaran. Sedangkan waktu penyalaan adalah waktu mulai batubara masuk sampai nyala api pada saat tercapainya temperatur penyalaan. Terjadinya penyalaan dapat dilihat sebagai tercapainya beberapa kondisi: (1) jumlah energi dari sumber ignisi cukup tinggi untuk mengatasi hambatan aktivasi; (2) laju panas yang terbentuk melebihi laju panas yang hilang; (3) durasi nyala atau sumber ignisi lainnya cukup lama untuk mengawali perambatan nyala (*flame propagation*) (Chigier, 1981).

Dibandingkan dengan bahan bakar cair atau LPG, bahan bakar padat berukuran besar seperti briket mempunyai temperatur permukaan material yang rendah. Dengan ukuran briket yang besar (30 hingga 50mm), *volatile matter* yang terlepas dari permukaan material briket per satuan luas permukaan briket kecil. Nyala api yang terjadi oleh reaksi oksidasi *volatile matter* pada permukaan briket tidak cukup memberi panas kepada material briket untuk memulai penyalaan dalam pengertian memulai reaksi oksidasi material karbon briket.

Di samping itu pelepasan *volatile matter* menghalangi penetrasi udara ke permukaan briket (Lau & Niksa, 1992). Karena itu penyalaan karbon material briket terjadi setelah *volatile matter* habis terlepas dari permukaan briket di mana halangan terhadap difusi oksigen ke permukaan briket sudah tidak ada lagi padahal terbakarnya *volatile matter* mempunyai potensi memberikan panas radiasi kepada material briket.

Setelah semua zat volatil terbakar, oksigen mulai dapat berdifusi secara eksternal, yang nantinya akan teradsorpsi untuk kemudian bereaksi pada permukaan partikel batubara. Selanjutnya akan terjadi proses transfer panas secara konduksi ke bagian dalam briket. Reaksi pembakaran yang terjadi antara oksigen

dengan karbon ini adalah awal proses penyalan batubara yang didefinisikan sebagai terbakarnya karbon 1%.

### **Faktor Pengontrol Waktu Penyalan**

Faktor-faktor penting yang mempengaruhi pembakaran di antaranya adalah:

#### **a. Kadar Air**

Semakin tinggi kadar air dalam batubara atau biomasa menyebabkan temperatur pembakaran menurun dan kadar H<sub>2</sub>O meningkat. Dengan semakin tingginya kadar air juga mengakibatkan bahan bakar padat lebih sulit dibakar sehingga terjadi pembakaran tidak sempurna dan terbentuk CO yang tinggi di awal proses pembakaran.

#### **b. Ukuran dan Bentuk Bahan Bakar**

Dalam suatu penelitian diketahui bahwa pelet bentuk bola mempunyai luas permukaan yang paling kecil sehingga perpindahan panas terjadi dengan laju yang lebih lambat dibandingkan pelet berbentuk silindris dengan besar volume dan massa yang sama. Ukuran pelet biomasa yang dibakar mempengaruhi besar temperatur yang dihasilkan. Semakin kecil ukuran pelet maka temperature pembakaran akan semakin besar dan waktu pembakaran semakin cepat. Hal ini berkaitan dengan laju perpindahan panas dari udara sekitar ke dalam biomasa yang semakin besar.

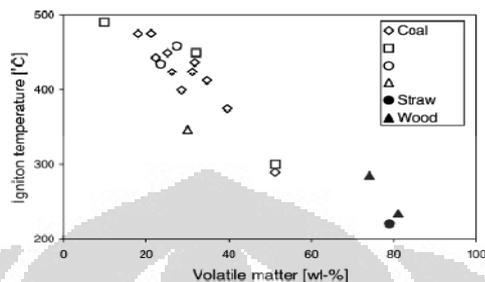
#### **c. Ketersediaan Udara**

Udara yang masuk dari bagian bawah *furnace* disebut udara primer, sedangkan udara yang masuk ke bagian atas bahan bakar dan bereaksi dengan zat volatil disebut udara sekunder. Dengan adanya udara, panas dapat ditransfer ke sekitar sehingga dapat mempercepat ignisi pada bahan bakar padat.

#### **d. Kandungan *Volatile Matters* pada Permukaan Bahan Bakar**

Berdasarkan penelitian oleh Grotkjær, dibuktikan bahwa semakin banyak kandungan *volatile matter*, maka akan semakin rendah suhu *ignition* yang dibutuhkan (Grotkjaer & Johansen, 2003), seperti terlihat pada Gambar 2. 12. Hal ini

antara lain diakibatkan oleh adanya energi panas yang dilepaskan seiring dengan lepasnya *volatile matter* dari permukaan. Energi panas ini dapat memicu ignisi lainnya pada permukaan secara radiasi (Chigier, 1981).

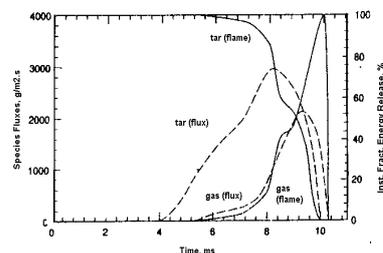


Gambar 2. 12 Hubungan antara Kandungan Volatile Matter Bahan Bakar Suhu Ignisi untuk Batubara dan Biomassa (Grotkjaer & Johansen, 2003)

Selain itu, dengan devolatilisasi *volatile matter* dalam jumlah banyak akan memperbesar porositas *char* yang terbentuk, sehingga akan memudahkan oksigen untuk berdifusi lebih lanjut ke permukaan (Lu G. , 2000) dan mengakibatkan pembakaran menjadi lebih sempurna dan efisien (Singh, 2009). Hal ini diakibatkan oleh struktur awal biomassa itu sendiri yang memiliki struktur *fibrous* (berserat) (Senneca, 2007).

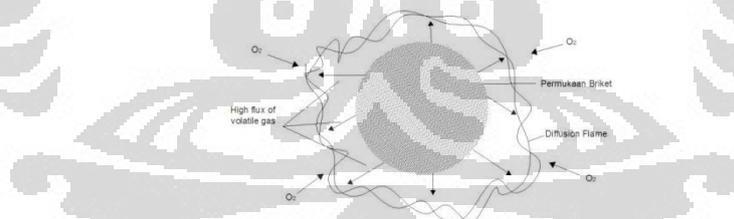
#### e. Besar Pori-Pori pada Permukaan

Pada saat devolatilisasi, *volatile matters* akan membentuk suatu flux *volatile* (gas pirolisis). Gambar 2. 13 menunjukkan dua macam fluks *volatile matter*, yaitu tar dan gas (Lau & Niksa, 1992). Pada awalnya, tar terlepas dari permukaan partikel. Hal ini mempertahankan adanya *flame* di sekitar partikel. *Flame* ini berperan dalam memberikan panas ke sekitarnya. Setelah beberapa waktu, baru kemudian gas yang terdevolatilisasi dan menggantikan tar yang lama kelamaan habis untuk mempertahankan adanya *flame*. Dari Gambar 2.10, fluks maksimum tar dan gas berturut-turut adalah sebesar 3000 gr/(m<sup>2</sup>.s) dan 2200 gr/(m<sup>2</sup>.s). Tar, yang densitasnya lebih besar dari gas, dapat menghalangi terjadinya devolatilisasi gas.



**Gambar 2. 13** Fluks massa gas dan tar dari permukaan partikel (kurva putus-putus) dan fraksi energi yang dikeluarkan dari gas tar pada flame (Lau & Niksa, 1992)

Flux *volatile* bila terlalu besar akan mendorong *flame sheet* menjauhi permukaan dan *diffusion flame* akan terbentuk jauh dari permukaan. Bila ini terjadi, oksigen menjadi tidak dapat terdifusi melalui *boundary layer* tersebut ke permukaan (Grotkjaer & Johansen, 2003). Selain itu, hal ini dapat mengakibatkan juga pengurangan panas yang dapat diterima oleh permukaan partikel. Karena flux merupakan laju alir massa yang melewati suatu luas penampang (dalam hal ini besar pori), kondisi di atas dapat diminimalisir dengan menggunakan bahan yang diameter pori-proinya besar sehingga dihasilkan flux *volatile matters* yang tidak terlalu besar. Sifat ini berperan pada saat terjadinya devolatilisasi pada permukaan briket. Fenomena ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2. 14.

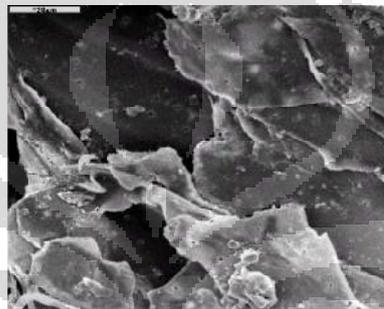


**Gambar 2. 14** Mekanisme untuk ignition pada briket setelah inisiasi. Flux volatile yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *diffusion flame* terbentuk di boundary layer yang jauh dari permukaan padatnya (Grotkjær dkk., 2003)

Sebenarnya, dalam kenyataannya, devolatilisasi sangat rumit dan hingga saat ini masih sulit untuk memodelkan semua aspek pada proses yang terjadi, di antaranya (1) reaksi sekunder *volatile* di dalam pori *char* dan (2) estimasi kalor dari pirolisis (Scott, 2007).

Selain karena struktur, besar pori juga erat kaitannya dengan kandungan karbon. Semakin tinggi karbon suatu bahan bakar, seperti batubara, maka porositas dan besar pori akan berkurang.

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa biomassa memenuhi semua aspek di atas yang membuktikan bahwa pori-pori pada permukaan biomassa lebih besar diameternya daripada pori-pori pada batubara. Gambar 2. 15 menunjukkan *scanning electron micrograph* dari salah satu biomassa yang digunakan dalam penelitian ini, *bagasse*, yang memiliki banyak sekali pori-pori pada permukaannya yang memiliki diameter besar karena struktur serat selulosanya. Hal ini dapat menghambat fluks *volatile* yang berlebih.



**Gambar 2. 15** Scanning Electron Micrograph dari Bagasse Mentah yang Menunjukkan Banyak Pori Besar pada Permukaan (Devnarain, 2002)

### 2.5.1.3 Heating Value Biobriket

Salah satu tujuan fundamental dari pencampuran biomassa dan batubara dalam pembuatan briket ini adalah peningkatan nilai *heating value* dari biomassa. Adapun nilai *heating value* ini dipengaruhi oleh empat faktor yakni :

✓ *Fixed carbon*

*Fixed carbon* memberikan perkiraan kasar terhadap nilai panas suatu material. Semakin banyak kandungan *fixed carbon* dalam suatu bahan bakar maka nilai kalornya akan semakin tinggi.

✓ *Volatile Matters*

Kandungan *volatile matters* dalam suatu bahan bakar sangat berpengaruh pada tahap awal pembakaran dimana dengan *volatile matters* yang tinggi maka bahan bakar akan lebih mudah menyala.

✓ *Moisture Content*

Kandungan air yang tinggi berpengaruh terhadap menurunnya *heating value* yang disebabkan oleh penguapan dan pemanasan berlebih dari uap.

✓ *Ash*

Abu (*ash*) merupakan kotoran atau sisa pembakaran yang tidak akan terbakar, sehingga dapat mengurangi kapasitas *handling* dan pembakaran, mempengaruhi efisiensi pembakaran, dan menyebabkan penggumpalan dan penyumbatan.

Berdasarkan keempat faktor yang telah dijelaskan sebelumnya maka dapat diidentifikasi penyebab tinggi rendahnya *heating value* biomassa dan batubara dalam Tabel 2. 6.

Tabel 2. 6 Pengaruh kandungan dalam bahan bakar terhadap *heating value* dan waktu ignisi

Faktor/Bahan Bakar	Kandungan dalam Biomassa	Kandungan dalam Batubara	Efek yang Terjadi
<i>Volatile Matters</i>	Tinggi	Rendah	Waktu ignisi biomassa cepat
<i>Fixed carbon</i>	Rendah	Tinggi	<i>Heating value</i> batubara tinggi
<i>Moisture Content</i>	Tinggi	Rendah	<i>Heating value</i> batubara tinggi
<i>Ash</i>	Tinggi	Rendah	<i>Heating value</i> batubara tinggi

#### 2.5.1.4 Emisi Biobriket

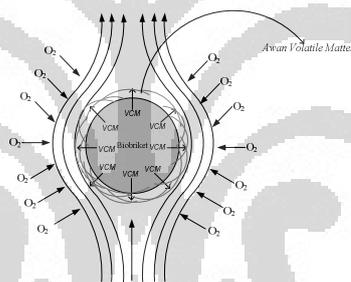
Emisi yang dapat dihasilkan dari pembakaran biobriket yang dapat menyebabkan polusi udara, salah satunya emisi CO.

Dengan adanya komposisi tersebut, pembakaran material karbon mengalami beberapa proses yang berbeda yang berlangsung secara berurutan seiring dengan kenaikan temperatur material karbon:

1. Proses pemanasan yang bertujuan menguapkan kandungan air pada batubara. Proses ini terjadi pada temperatur 50°C -130°C.
2. Proses pirolisa (*devolatilization*), yang terjadi ketika briket karbon mengalami pemanasan. *Volatile matters* (material yang mudah menguap) termasuk tar terlepas dari permukaan dan pori-pori partikel material karbon sehingga terbentuk *char* (arang). Pada material batubara, proses ini mulai terjadi pada temperatur sekitar 150°C dan mencapai kecepatan pelepasan *volatile matters* maksimum pada temperatur antara 300°C hingga 400°C dan berlanjut hingga temperatur sekitar 800°C (Chigier, 1981). *Volatile matters* bereaksi dengan oksigen sehingga terbentuk nyala api pada permukaan briket. Pada proses ini udara terhalang untuk kontak dengan permukaan briket karena terjadinya awan *volatile matter*. Terbentuknya nyala api oleh

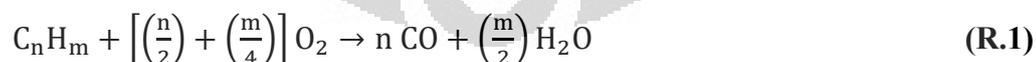
*volatile matter* menghalangi penetrasi udara ke permukaan briket (Lau & Niksa, 1992) yang secara deskriptif terlihat di Gambar 2. 16. Proses selanjutnya adalah proses pencampuran gas-gas yang terbentuk dari hasil pemanasan dan devolatilisasi dengan oksigen internal bertemperatur tinggi yang terjadi di permukaan batubara untuk melakukan proses pembakaran *volatile matters* yang menghasilkan panas untuk menaikkan temperatur batubara. Difusi oksigen eksternal yang berpenetrasi setelah zat *volatile* terbakar mengawali proses penyalaan, kemudian oksigen teradsorpsi dan bereaksi pada permukaan briket. Selanjutnya terjadi proses transfer panas secara konduksi dari permukaan ke bagian dalam briket.

3. *Char* yang terbentuk bereaksi dengan udara setelah material *volatile* terlepas dari permukaan briket sehingga terbentuk gas CO dan CO<sub>2</sub>.

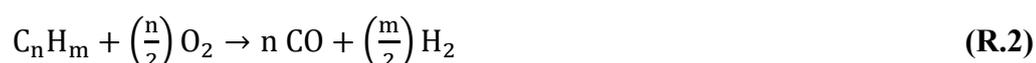


**Gambar 2. 16** Deskripsi penyalaan volatile matter pada permukaan material briket

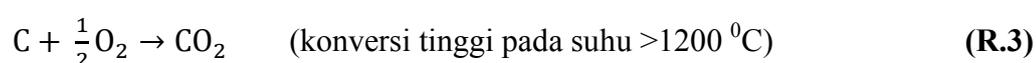
Proses pembakaran dari briket pada prinsipnya melibatkan reaksi simultan dari oksigen (udara) dan hidrokarbon yang terkandung dalam zat *volatile* dan reaksi oksigen dengan karbon batubara. Dalam reaksi yang melibatkan zat *volatile*, gas CO dihasilkan menurut reaksi berikut (Thurgood & Smoot, 1979):



Atau

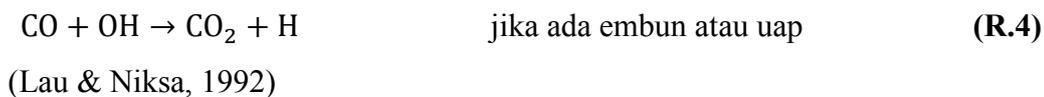


Reaksi kelanjutan ialah reaksi oksidasi CO, menurut reaksi :



(Makino, 1992)

Atau



Reaksi (R.3) dan (R.4) adalah reaksi pengendali karena laju reaksi reaksi tersebut lebih lambat daripada reaksi (R.1) dan (R.2) kecuali reaksi (R.3) terjadi pada temperatur yang sangat tinggi. Penghilangan CO tergantung dari laju reaksi dari reaksi (R.3) dan (R.4) dan kondisi yang menunjang terjadinya reaksi tersebut. Reaksi ini memerlukan kondisi yang kaya oksigen untuk meningkatkan konversi menjadi CO<sub>2</sub> (Beck & Hayhurst, 1990).

Untuk reaksi yang melibatkan karbon dan oksigen mengajukan reaksi – reaksi dipermukaan karbon sebagai berikut (Makino, 1992):



dan reaksi dalam fasa gas:



CO merupakan produk utama dari reaksi oksidasi karbon, dan CO kemudian teroksidasi dalam fasa gas saat meninggalkan permukaan briket batubara (Ayling & Smith, 1972). Laju reaksi untuk reaksi C – O<sub>2</sub> memiliki orde yang lebih tinggi daripada reaksi C – CO<sub>2</sub> atau CO – O<sub>2</sub> (Walker, Rusinko, & Austin, 1959). Untuk terciptanya reaksi lanjutan yaitu R.3, maka diperlukan waktu tinggal yang cukup lama dalam medium pembakaran, sehingga CO yang dihasilkan dari R.1 dapat teroksidasi lagi oleh O<sub>2</sub> yang berlebih. Reaksi lanjutan tersebut bisa mengkonversi CO menjadi CO<sub>2</sub>.

Emisi CO berasal dari reaksi oksidasi tak sempurna hidrokarbon dan karbon yang terkandung dalam briket. Untuk memperoleh reaksi yang sempurna menuju pembentukan CO<sub>2</sub>, tiga syarat harus dipenuhi, yaitu kecukupan waktu tinggal reaksi untuk reaksi CO ke CO<sub>2</sub>, kecukupan oksigen untuk menyempurnakan reaksi oksidasi, dan temperatur reaksi yang cukup tinggi untuk memperbesar kinetika reaksi oksidasi (Makino, 1992). Temperatur yang rendah tidak menguntungkan untuk konversi CO ke CO<sub>2</sub> yang membutuhkan temperatur yang tinggi.

Untuk mengimbangi kondisi yang tidak menguntungkan ini, briket batubara harus memenuhi persyaratan pertama yaitu tersedianya waktu tinggal yang lebih lama untuk meningkatkan konversi dari CO ke CO<sub>2</sub> karena konversi dari CO menjadi CO<sub>2</sub> terjadi dengan lambat. Hal lain yang mungkin dilakukan adalah memenuhi persyaratan kedua yaitu kecukupan oksigen yang kontak dengan hidrokarbon yang tak teroksidasi sempurna dan CO untuk bereaksi membentuk CO<sub>2</sub>. Sebaliknya, udara yang berlebihan akan menyerap panas pembakaran (efek *quenching*) dan menyulitkan terbentuknya temperatur yang tinggi untuk konversi dari CO ke CO<sub>2</sub> sehingga reaksi oksidasi terjadi secara parsial. Produk dari reaksi oksidasi parsial adalah senyawa-senyawa beroksigen seperti -CH<sub>2</sub>O, -CHO and CO gas (Walker, Rusinko, & Austin, 1959). Dengan demikian, agar emisi gas CO dan hidrokarbon bisa diperkecil, di semua zona pengontakan briket dan udara dalam medium pembakar briket dan zona pencampuran fluida, waktu pengontakan di fasa gas cukup panjang, konsentrasi udara cukup dan temperatur di fasa gas terjaga tinggi.

### **Pengaruh Air/Fuel Ratio dalam Emisi CO**

Perbandingan udara dengan bahan bakar (Air Fuel Ratio - AFR) adalah perbandingan massa udara dari bahan bakar yang digunakan selama pembakaran. Ketika seluruh bahan bakar digabungkan dengan oksigen bebas, secara tipikal di dalam ruang pembakaran, campuran seimbang secara kimiawi dan disebut campuran stoikiometrik.

AFR adalah parameter penting untuk anti-polusi. *Equivalence ratio* ( $\Phi$ ) adalah satu cara alternatif untuk merepresentasikan AFR, atau sejauh apakah menyimpang dari kondisi stoikiometri

$$\Phi = \frac{(\frac{A}{F})_{stoic}}{(\frac{A}{F})_{actual}} \quad (2.6)$$

Nilai *equivalence ratio* ( $\Phi$ ) bernilai 1.0 adalah berarti pada kondisi stoikiometri, campuran kaya udara adalah kurang dari 1.0, dan campuran miskin udara adalah lebih dari 1.0. Campuran kaya udara menghasilkan gas pembakaran lebih dingin dibandingkan campuran stoikiometrik, terutama karena berlebihnya

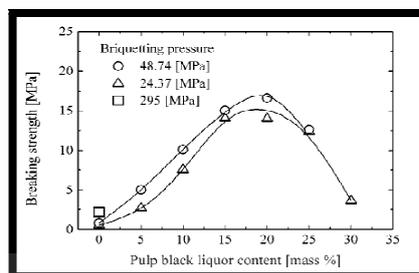
oksigen yang tidak dikonsumsi dan gas nitrogen yang terikut. Campuran kurang udara juga menghasilkan gas pembakaran yang lebih dingin dibandingkan campuran stoikiometrik, terutama sehubungan dengan jumlah karbon berlebihan sehingga membentuk karbon monoksida. Reaksi mengoksidasi karbon untuk membentuk karbon monoksida secara signifikan lebih sedikit melepaskan panas dibandingkan reaksi serupa untuk membentuk karbon dioksida. Karbon monoksida mempertahankan energi kimia yang potensial. Campuran untuk efisiensi terbaik adalah sedikit berbeda dari campuran stoikiometrik.

### 2.5.2 Perekat (*Binder*) Biomassa dengan Batubara

*Binder* dalam biobriket digunakan sebagai perekat antara biomassa dan batubara. *Binder* memiliki peran dalam hal kualitas akhir biobriket karena memiliki pengaruh pada : (1) kesolidan (kepadatan) dari produk biobriket yang ditunjukkan dengan *breaking strength*, (2) sensitivitas dalam kelembaban, (3) kandungan mineral, (4) harga produk biobriket (Jean, 2006). Berdasarkan tingkat penekanan briket, terdapat dua macam yakni *natural binder* (perekat alami) dan *additional binder* (perekat tambahan). Kedua jenis perekat ini digunakan pada kondisi tekanan yang berbeda. Secara logis, penggunaan perekat tambahan terjadi ketika tekanan briketisasi yang digunakan rendah untuk mengatasi lemahnya perekatan. Adapun penjelasan ringkas mengenai fenomena perekat dalam kaitannya dengan tekanan kompresi yang digunakan dalam proses briketisasi terlihat pada Tabel 2. 7.

Tabel 2. 7 Perbandingan perekat pada kondisi tekanan tinggi dan rendah

Perekat ( <i>binder</i> )	Alami	Tambahan
<b>Kondisi Tekanan Kompresi</b>	Sangat tinggi (> 50 MPa)	Rendah (hingga 5 MPa)
<b>Fenomena yang Terjadi</b>	Ketika tekanan dilepaskan, perekat akan mengalami pendinginan dan mulai mengeras sebagai bentuk ikatan antar partikel sehingga menghasilkan briket yang <i>durable</i> (Kaliyan dkk, 2010)	Perekat tambahan ini dapat meningkatkan sistem aglomerasi partikel sehingga mengatasi ketidaksolidan produk briket (Finney dkk, 2009)
<b>Contoh</b>	Lignin, protein, lemak, karbohidrat	Kanji, NaOH, pulp



**Gambar 2. 17** Pengaruh komposisi binder terhadap ketahanan mekanis briket (Kim, 2002)

Pada Gambar 2. 17, terlihat jelas pengaruh kandungan perekat (*binder*) dalam hal kekuatan pecah (*breaking strength*) dari suatu briket dengan variasi tekanan pada proses briketisasi. Seperti yang terindikasi pada Gambar 2.14 bahwa ketika perekat tidak ada (0% kandungan perekat) nilai *breaking strength* dari briket sangat rendah hanya sekitar 0,5 Mpa yang menyebabkan briket mudah hancur dan kurang layak ditransportasikan dalam kehidupan sehari-hari. Dengan penggunaan perekat, nilai *breaking strength* meningkat secara signifikan, meskipun tekanan briketisasi yang digunakan hanya 24,37 MPa namun kekuatannya menjadi cukup tinggi pada kadar *pulp black liquor* 20%. Artinya, peningkatan kadar perekat tidak serta merta linear terhadap kekuatan briket namun cenderung berada pada kadar tertentu yang kemudian justru memberikan efek buruk jika lebih dari kadar tersebut.

## 2.6 State of The Arts Biobriket

Beberapa penelitian pembuatan biobriket (campuran batubara dan biomassa) telah banyak dikembangkan terutama di benua Asia. Penelitian biobriket kian berkembang dan perlu ditelaah teknologi, variabel, serta bahan yang digunakan untuk membedakan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilakukan saat ini.

Adapun tabulasi perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 2. 8. Berdasarkan Tabel 2.9, terlihat perjalanan penelitian biobriket dari tahun ke tahun dengan negara yang berbeda pula. Bila diperhatikan dengan seksama, hampir semua teknologi yang digunakan dalam produksi biobriket adalah teknologi briketisasi bertekanan tinggi. Hal ini kurang memadai bila diterapkan dalam skala

rumah tangga yang cenderung membutuhkan kemudahan dari segi proses pembuatan. Selain itu, sebagian besar peneliti fokus pada temperatur ignisi dan emisi, padahal tinjauan mengenai *heating value* juga penting mengingat hal ini berkaitan langsung dengan seberapa panas bahan bakar yang digunakan, apakah cukup efisien digunakan dalam kebutuhan pemanasan rumah tangga. Oleh karena itu, pembuatan biobriket dengan tekanan rendah menjadi pilihan dalam penelitian ini dengan penambahan perekat sebagai penguat ketahanan mekanis dari briket.

**Tabel 2. 8** *State of The Arts* Biobriket

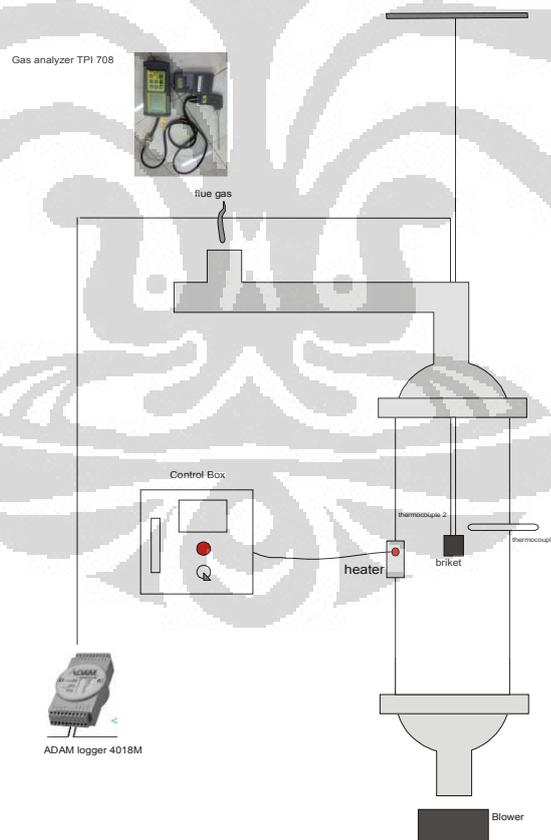
<b>Pembanding Peneliti</b>	<b>Tekanan/ Teknologi</b>	<b>Variabel yang Diinvestigasi</b>	<b>Penggunaan Binder</b>	<b>Bahan yang Digunakan</b>
<b>Watanabe, 1996</b>	Tinggi/ <i>High roller pressure</i>	Emisi, karakteristik pembakaran, dan ketahanan mekanis	Tidak ada	Serbuk gergaji Batubara Nanton asal China
<b>Lu, 2000</b>	Tinggi <i>High roller pressure</i>	Temperatur ignisi, emisi partikulat, <i>Self Desulfurization</i>	Tidak Ada	Serbuk gergaji Batubara Berperingkat Rendah
<b>Kim, 2002</b>	Sedang-Tinggi <i>Roller press</i>	Pengaruh binder terhadap ketahanan mekanis dan karakteristik pembakaran	Pulp Black Liquor	Serbuk gergaji Batubara Berperingkat Rendah
<b>Jean, 2006</b>	Tinggi <i>Rotor Press dan Carbonization</i>	Karakteristik pembakaran ( <i>ignition time, burning rate, dan viability test</i> )	Kanji dan Tanah Liat	Kayu Charcoal
<b>Singh, 2009</b>	Tinggi <i>Roller press</i>	Temperatur ignisi, <i>Desulfurization, dan Calorific Value</i>	Tidak Ada	Crofton weed, Eupatorium adenophorum Indian Coal
<b>Dhinda, 2011</b>	Rendah Besi pengepres ( <i>mould</i> )	Waktu Ignisi dan Emisi CO	Kanji	Jerami Padi & Sekam Padi Batubara Sub-Bituminuos

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Alur Pikir Penelitian

Dalam penelitian ini akan diuji tiga hal penting dalam bahan bakar yakni waktu ignisi, *heating value*, serta emisi dari hasil pembakaran bahan bakar biobriket. Penelitian dilaksanakan dengan medium pembakaran *furnace* bukan kompor. Penggunaan *furnace* lebih dipilih karena dalam penelitian ini investigasi dilakukan terhadap karakteristik pembakaran (waktu ignisi, *heating value*, dan emisi) yang apabila dilakukan di dalam kompor maka akan ada aspek lain yang mempengaruhi (mekanika fluida).



**Gambar 3. 1** *Furnace* untuk pengujian biobriket

Jika penelitian menggunakan kompor maka membutuhkan sejumlah biobriket dalam ruang bakar yang berakibat interaksi satu sama lain dari biobriket itu sendiri sehingga karakteristik pembakarannya dipengaruhi pula oleh interaksi antara biobriket di dalam ruang bakar kompor. Oleh karena itu, *furnace* dipilih sebagai medium pembakaran karena tidak dipengaruhi oleh aspek mekanika fluida dan interaksi antara biobriket.

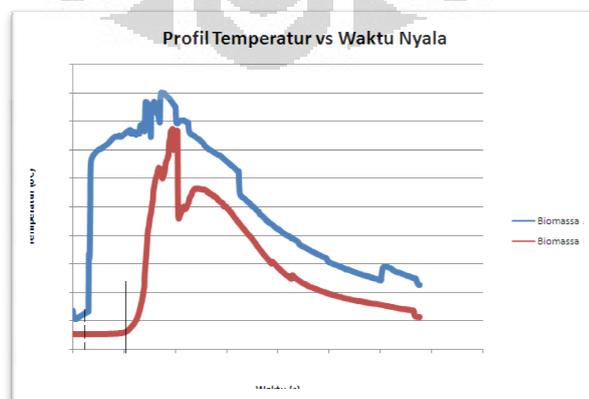
Pada Gambar 3. 1 terlihat skema *furnace* yang akan digunakan pada penelitian dimana pada ruang bakarnya, *furnace* hanya menggunakan satu buah sampel biobriket. Sampel biobriket tersebut terhubung dengan termokopel tipe K untuk pengujian suhu ignisi yang langsung terkoneksi dengan ADAM Logger 4018M dan komputer. Kemudian, untuk pengujian emisi, biobriket terhubung dengan *gas analyzer TPI 708* yang diukur dari cerobong *flue gas*.

## Ekstraksi Data Penelitian

### 1. Waktu Ignisi

(Temperatur Pembakaran vs Waktu)

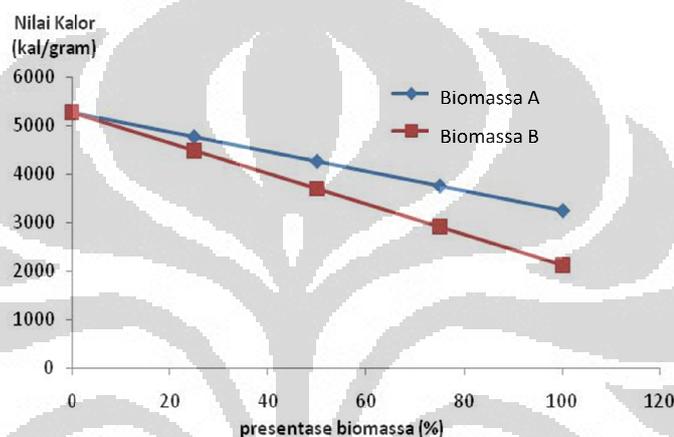
Pada Gambar 3. 2 terlihat sketsa singkat pengambilan data yang akan dilakukan terhadap variabel waktu ignisi. Adapun waktu ignisi dapat teridentifikasi ketika terjadi lonjakan temperatur secara drastis dari menit ke-menit hingga menit tertentu. Pada Gambar 3. 2 suhu ignisi ditandai dengan lonjakan drastis suhu (terbentuknya bara api dari briket). Acuan untuk suhu ignisi setiap briket berbeda-beda sehingga diperlukan uji bara api masing-masing briket.



**Gambar 3. 2** Sketsa grafik untuk data waktu ignisi biobriket

## 2. *Heating Value*

(*Heating Value* vs Jenis Bahan) akan berupa grafik yang memperlihatkan nilai kalor dari setiap jenis biobriket yang dibuat. Gambar 3. 3 merepresentasikan pengambilan data untuk pengaruh komposisi biomassa terhadap *heating value* dari biobriket. Secara teoritis, *heating value* akan menurun seiring dengan menurunnya komposisi batubara dari campuran biobriket.

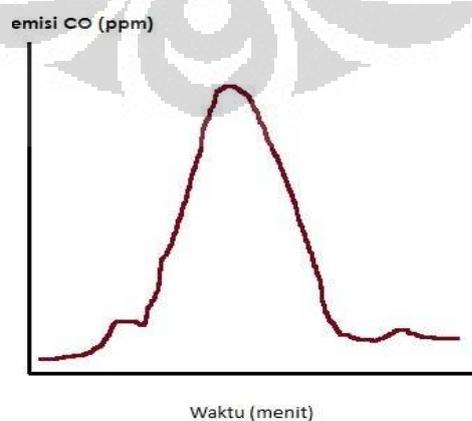


Gambar 3. 3 Sketsa grafik untuk data *heating value* biobriket

## 3. *Emisi*

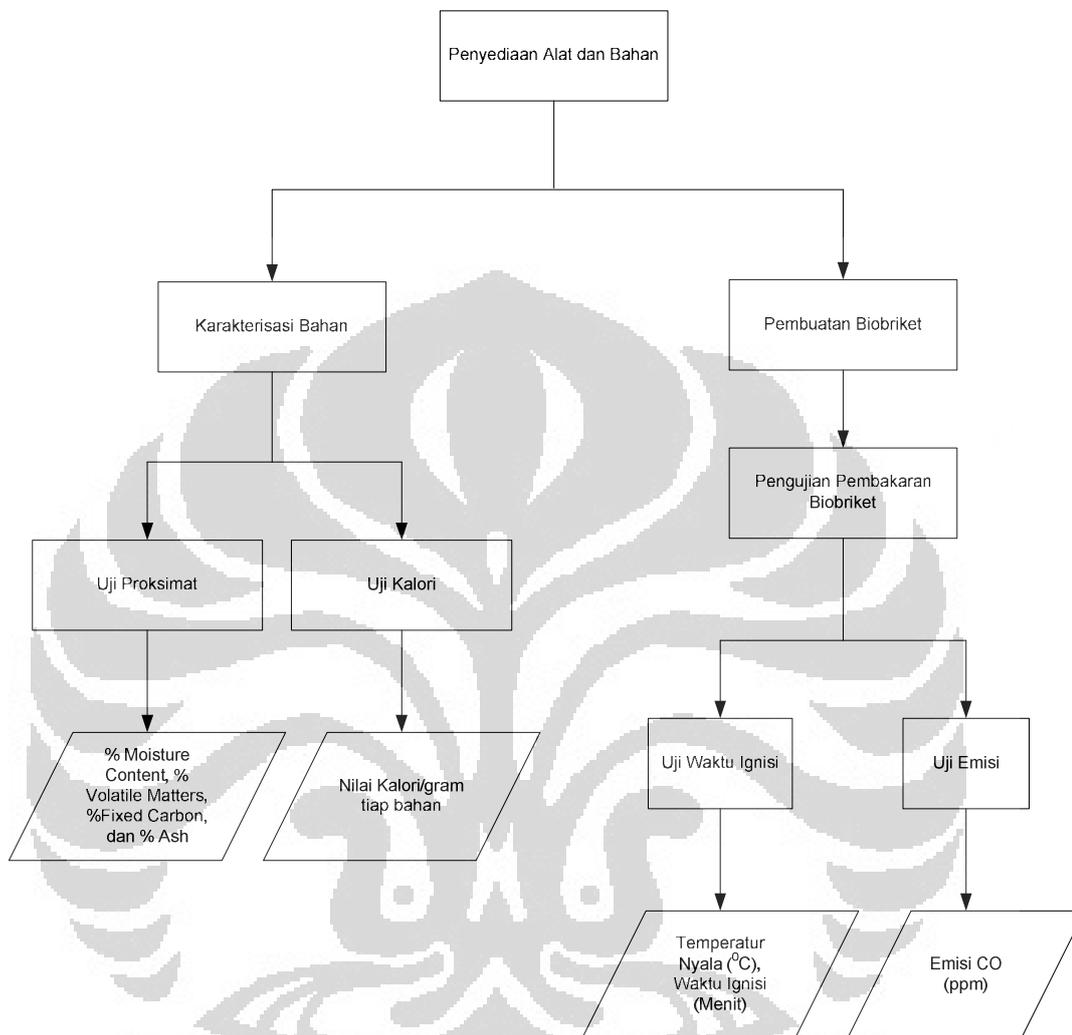
(emisi CO vs waktu)

Pada Gambar 3. 4, secara teoritis terlihat bahwa emisi CO akan banyak terbentuk pada waktu tertentu.



Gambar 3. 4 Sketsa grafik untuk data emisi biobriket (Lestari, 2009)

### 3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 5 Diagram alir penelitian

### 3.3 Variabel dalam Penelitian

Variabel yang digunakan dalam percobaan ini terdiri dari variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

#### Jenis Bahan yang Digunakan

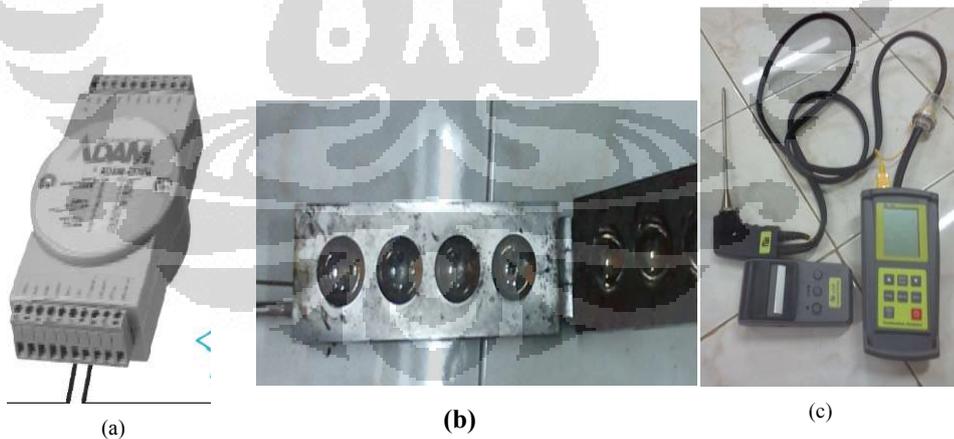
Dalam penelitian ini, jenis bahan yang divariasikan adalah jenis bahan biomassa (jerami padi dan sekam padi) yang dipadukan dengan batubara sub bituminuos. Variabel terikat yang digunakan adalah *heating value*, emisi, serta waktu ignisi dari pembakaran biobriket.

### 3.4 Alat dan Bahan

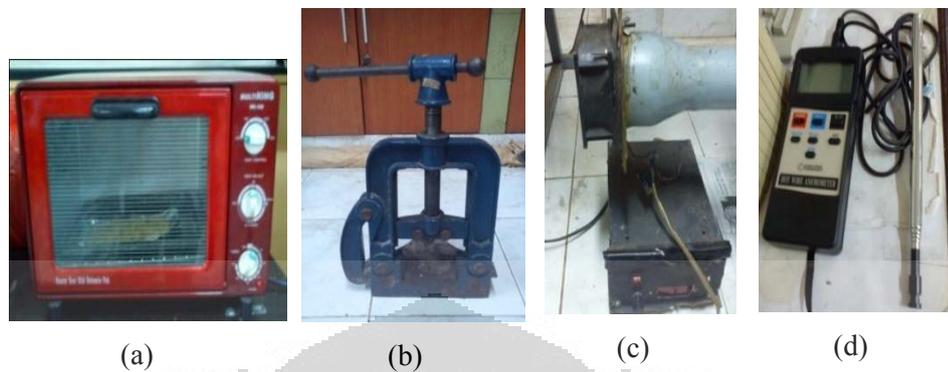
Alat-alat yang dipergunakan dalam penelitian diantaranya:

**Tabel 3. 1** Alat dalam penelitian biobriket

Nama Alat	Fungsi
<b>Blender</b>	Menghaluskan biomassa (jerami padi dan sekam padi)
<b>Mortar</b>	Menghaluskan batubara subbituminuos
<b>Mould briket</b>	Mencetak briket
<b>Alat Pengepres</b>	Memberikan tekanan pada cetakan briket sebesar 5 ton sehingga briket dapat tercetak dan merekat
<b>Furnace</b>	Medium pembakaran briket
<b>Blower</b>	Mengalirkan udara ke dalam <i>furnace</i>
<b>Exhaust Fan</b>	Mengalirkan <i>flue gas</i> ke luar ruangan bakar sehingga laboratorium tidak penuh asap
<b>CO Gas Analyzer TPI 708</b>	Mengukur kadar emisi CO (ppm)
<b>Hot Wire Anemometer</b>	Mengukur besarnya kecepatan udara yang disuplai ke <i>furnace</i>
<b>Termokopel tipe K</b>	Mengukur suhu briket di dalam <i>furnace</i>
<b>Data Akusisi ADAM 4018M</b>	Menyimpan data suhu selama <i>running</i> data pembakaran briket
<b>Oven (pengering)</b>	Mengeringkan biomassa



**Gambar 3. 6** (a) ADAM Logger 4018M; (b) Mould Briket; (c) Gas Analyzer TPI 708



**Gambar 3. 7** (a) Oven Pengering; (b) Alat Pengepres; (c) *Blower*; (d) *Hot Wire Anemometer*



**Gambar 3. 8** *Furnace* (medium pembakaran briket)

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu:

- Jerami padi (*rice straw*)
- Sekam padi (*rice husk*)
- Batubara sub bituminuos
- Lem Kanji



**Gambar 3. 9** Sekam Padi



**Gambar 3. 10** Jerami Padi



**Gambar 3. 11** Batubara Subbituminuos



**Gambar 3. 12** Lem Kanji

### 3.5 Tahapan Penelitian

Adapun, aktivitas penelitian ini sebagian besar akan dilakukan di Laboratorium Teknologi Energi Berkelanjutan, Departemen Teknik Kimia, FT-UI, Depok dan BPPT, LIPI Serpong.

#### 3.5.1 Perancangan Biobriket

1. Menentukan dimensi biobriket sesuai cetakan yakni berbentuk bola dengan diameter 4 cm.
2. Menentukan beban kompresi konstan 5 ton.
3. Menentukan komposisi binder yang digunakan, yakni kanji 15% (Suprpto, 2005).

#### 3.5.2 Persiapan Awal Bahan Biomassa dan Batubara Sub Bituminuos

##### 3.5.2.1 Analisis Proximate Biomassa dan Batubara Sub Bituminuos

Pada tahap ini dilakukan analisis proximate. Analisis proximate dilakukan untuk menunjukkan persen berat dari *fixed carbon*, *volatile matters*, *ash*, dan *moisture content*. Dengan analisis proximate inilah kita dapat mengetahui seberapa banyak kandungan peningkat kalor pembakaran (*volatile matters* dan *fixed carbon*) serta kandungan penurun kalor pembakaran (*moisture content* dan *ash*).

##### 3.5.2.2 Persiapan Biomassa

1. Mencacah material biomassa ke dalam blender hingga berukuran  $\pm 0,1$  mm.
2. Mengeringkan cacahan biomassa tersebut menggunakan oven laboratorium bersuhu  $105^{\circ}\text{C}$  dengan variasi waktu untuk membuat kurva pengeringan biomassa.

##### 3.5.2.3 Persiapan Batubara Sub Bituminuos

1. Mencacah batubara subbituminuos dengan blender sehingga berukuran  $\pm 0,1$  mm.
2. Batubara tidak perlu pengeringan sehingga batubara yang sudah dicacah siap untuk dicampur dengan biomassa.

### 3.5.2.4 Pengeringan Biomassa

1. Mengeringkan biomassa dengan suhu  $105^{\circ}$  C dengan oven dengan variasi waktu 5, 10, 15, 20, hingga 25 menit untuk mencari kadar air 10% berat.
2. Mencatat massa awal biomassa sebelum masuk oven dan sesudah pengeringan untuk mengetahui masa air yang teruapkan.
3. Menghitung presentasi air yang menguap kemudian menghitung *moisture content* dalam biomassa tersebut.
4. Membuat kurva pengeringan antara % *moisture content* dengan waktu pengeringan untuk mendapatkan persamaan, sehingga didapatkan waktu optimum untuk mendapatkan *mosture content* sebesar 10%.

### 3.5.2.5 Persiapan Perekat

1. Menyiapkan perekat biobriket yakni kanji.
2. Membuat campuran tepung kanji dan air panas hingga kental dan lengket.
3. Menyiapkan kadar kanji untuk campuran briket sebanyak 15% berat.

### 3.5.3 Preparasi Biobriket

1. Mencampur material biomassa dan batubara sub bituminuos dengan perbandingan massa sbb :  
**100% biomassa; 75% biomassa : 25% batubara; 50% biomassa : 50% batubara; 25% biomassa : 75% batubara, dan 100% batubara.**
2. Melakukan proses kompresi dengan beban yang telah ditentukan sebelumnya yakni 5 ton
3. Melakukan proses pencetakan biobriket dengan *mould* biobriket.

### 3.5.4 Pengujian Biobriket

#### 3.5.4.1 Pengujian Heating Value

1. Menyiapkan biobriket yang telah siap uji.
2. Menggunakan *bomb calorimeter* untuk mengetahui nilai bakar dari biobriket tersebut. Pengujian ini dilakukan di BPPT, LIPI Serpong.

#### 3.5.4.2 Pembakaran Briket

1. Meletakkan briket di dalam *furnace* sehingga berada tepat di tengah selongsong *furnace* dengan cara mengatur kawat yang menggantungkan briket tsb.
2. Menyalakan *blower* untuk menyuplai aliran udara ke dalam *furnace* dengan laju alir udara tetap yakni 1.5 m/s. Laju alir tetap ini didapat dengan mengatur tombol pemutar kotak *blower*.
3. Menyalakan *heater* pada *furnace* dengan mengatur suhu operasi *furnace* yakni 300 °C.
4. Menunggu suhu *heater* sesuai dengan yang telah kita atur.
5. Menyalakan *exhaust fan* untuk mengalirkan asap buangan keluar ruangan (agar ruangan tidak terlalu berasap).
6. Ketika suhu *heater* sudah mencapai suhu 300 °C maka wajib mematikan *furnace* dengan mengaturnya ke suhu ruangan terlebih dahulu kemudian mematkannya dari suplai listrik.
7. Selama proses pembakaran, pengujian waktu nyala terus dilakukan dengan ADAM 4018M, sedangkan kadar emisi diukur dengan Gas Analyzer TPI 708.

#### 3.5.4.3 Pengujian Emisi

Pengujian emisi akan dilakukan di Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia, dengan alat *Gas Analyzer* TPI 708, yang dapat mendeteksi gas CO. Prosedurnya adalah sebagai berikut.

1. Menyiapkan *gas analyzer* dengan menyambungkan selang probe ke monitor serta menyambungkan kabel kuning ke monitor.
2. Menyalakan *gas analyzer* untuk mengecek kadar CO pada kondisi normal.
3. Meletakkan biobriket ke dalam *furnace* sebanyak satu buah.
4. Menaikkan temperatur *furnace* dan menyuplai aliran udara sehingga terjadi proses pembakaran biobriket di dalam *furnace*.
5. Ketika proses pembakaran terjadi maka gas keluar dari *furnace* sehingga kadar emisinya tertangkap oleh *probe* yang kemudian dibaca oleh sensor dalam *gas analyzer*.

6. Mencetak dengan printer *infrared* TPI 708 berapa ppm tiap zat emisi yang diuji terdeteksi, untuk setiap satu buah biobriket.
7. Mengulangi percobaan menggunakan bahan bakar biobriket lainnya.

#### **3.5.4.3 Pengujian Waktu Ignisi**

Prosedur yang dilakukan:

1. Menyalakan komputer dan membuka *software* ADAM-4018M.
2. Mencatat waktu penyalaan biobriket. Waktu penyalaan briket dimulai dari saat diletakkannya biobriket (jerami padi-sub bituminuos) dalam *furnace* hingga temperatur di mana biobriket mulai membentuk bara api.
3. Melakukan kembali prosedur percobaan 1 sampai 5 untuk variasi bahan biobriket lainnya.

#### **Penentuan Suhu Ignisi**

1. Meletakkan briket di tungku pembakaran
2. Meletakkan termokopel di permukaan briket
3. Mengalirkan udara konstan dengan *fan* ke dalam tungku pembakaran
4. Menyulut briket dengan cara membakarnya dengan menggunakan minyak tanah sampai terbentuk bara api
5. Saat bara api terbentuk, maka suhu tersebut diidentifikasi sebagai suhu ignisi dan segera dicatat untuk diambil datanya.

#### **3.5.5 Analisis dan Evaluasi Hasil Penelitian**

Hasil penelitian akan dibahas setelah penelitian ini selesai berlangsung, dimana analisis dan evaluasi juga akan dijelaskan. Hal-hal yang perlu dianalisis dan dievaluasi adalah:

1. Emisi: campuran mana yang menghasilkan emisi CO relatif rendah
2. Waktu ignisi : campuran mana yang menghasilkan waktu ignisi paling cepat.

## BAB 4

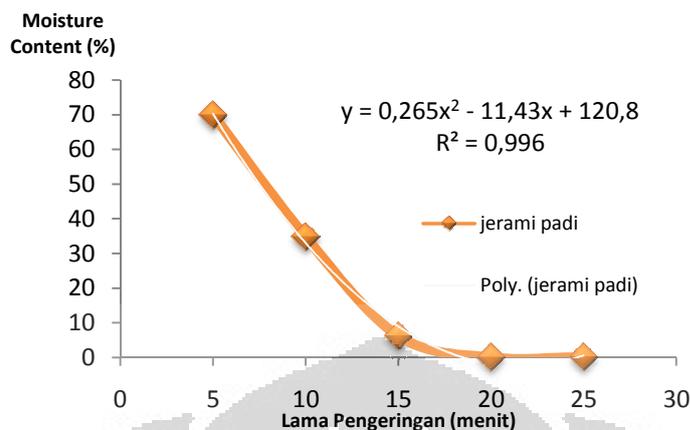
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pembuatan Biobriket (Campuran Biomassa dan Batubara)

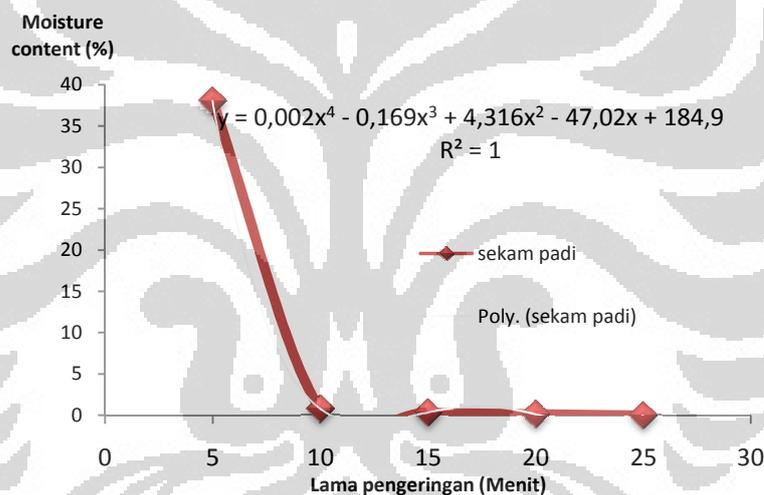
Pembuatan biobriket ini dimulai dengan preparasi bahan baik biomassa dan batubara dengan mencacahnya terlebih dahulu. Pencacahan ini dilakukan dengan dua cara yakni menggunakan mortar (untuk batubara) dan menggunakan blender (untuk biomassa). Pencacahan ini dilakukan untuk memperkecil ukuran partikel sehingga pencampuran biomassa dan batubara menjadi lebih mudah dan homogen.

Dalam pembuatan biobriket, terdapat satu prosedur khusus yang dilakukan terhadap biomassa, yakni prosedur pengeringan. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kadar air biomassa yang umumnya sangat tinggi, terutama biomassa yang berasal dari sisa pertanian. Dalam penelitian ini, kadar air dibuat sama yakni 10% sehingga harus melalui proses pengeringan dalam waktu tertentu. Pengeringan dilakukan pada suhu 105 °C dengan oven (Samuelson, 2006).

Selain berdasarkan literatur, suhu pengeringan ini dipilih dengan pertimbangan air yang terkandung dalam biomassa menguap pada suhu yang tidak jauh dari 100 °C, hanya saja diperlukan tambahan suhu untuk melepaskan air dari dalam biomassa itu sendiri sehingga suhunya menjadi 105 °C. Adapun, waktu pengeringan ini didapat dengan kondisi sampel yang dikeringkan sebesar 10 gram. Kemudian, pengeringan ini dilakukan dengan variasi waktu dari 5 – 25 menit. Dengan variasi waktu inilah kemudian dapat dibuat grafik serta persamaan yang mengkorelasikan presentasi *moisture content* dan lama pengeringan sehingga dapat diketahui waktu pengeringan yang tepat untuk memperoleh kadar air 10% seperti pada Gambar 4.1 dan 4.2.



**Gambar 4. 1** Kurva Pengeringan Jerami Padi



**Gambar 4. 2** Kurva Pengeringan Sekam Padi

Berdasarkan kurva pengeringan yang telah dibuat Gambar 4. 1 dan Gambar 4. 2, maka didapatkan waktu optimum untuk pengeringan sekam padi 7.5 menit sedangkan jerami padi 14.7 menit (per 10 gram biomassa).

Selanjutnya, pembuatan biobriket dilakukan dengan mencampur biomassa dan batubara dengan variasi komposisi (0; 25; 50; 75; 100). Komposisi biomassa yang bervariasi ini dilakukan untuk melihat pengaruh keberadaan biomassa dalam briket terhadap waktu ignisi dan emisi CO<sub>2</sub> briket yang dibakar dalam *furnace*. Pencampuran biomassa dan batubara ini ditambahkan dengan larutan kanji 15% yang berfungsi sebagai perekat dalam proses pencetakan. Perbandingan campuran ini dijaga tetap konstan pada pencetakannya agar diperoleh briket yang memiliki

komposisi yang sama. Campuran bahan briket tersebut kemudian dicetak menggunakan alat pencetak berdiameter 4 cm yang diberi tekanan oleh penekan hidrolik. Hasil pencetakan briket dapat dilihat pada Gambar 4. 3.



**Gambar 4. 3** Dari kiri ke kanan : jerami 100%; jerami 50% : batubara 50%; jerami 25% : batubara 75%; sekam 100%, sekam 50% : batubara 50%, sekam 25% : batubara 75%; batubara 100%

#### 4.2 Pembakaran Biobriket

Pembakaran biobriket dilakukan dengan menggunakan *furnace* sebagai medium reaksi pembakaran. Pemilihan *furnace* ini dikarenakan investigasi dilakukan terhadap karakteristik pembakaran yang apabila dilakukan di dalam kompor maka akan ada aspek lain yang memengaruhi (mekanika fluida). Selain itu, dengan menggunakan *furnace* maka hanya diperlukan satu buah briket yang tidak melibatkan interaksi antar briket seperti yang terjadi di dalam kompor. Dengan menggunakan satu buah briket ini maka fenomena pembakaran yang diinvestigasi hanya briket yang berada dalam *furnace* saja tanpa pengaruh faktor lain (interaksi antar briket).

Pembakaran dengan *furnace* ini juga memerlukan suplai udara dari bagian bawah *furnace* yang mengalir ke bagian atas *furnace*. Dalam proses pembakaran, tiga komponen penting yang harus ada adalah bahan bakar, oksigen, dan sumber panas. Dalam penelitian ini, briket berfungsi sebagai bahan bakar, suplai udara berfungsi sebagai aliran oksigen, dan *furnace* sebagai sumber panas. Pada penelitian ini, suplai udara diperoleh dengan menyalakan *blower* sehingga udara dapat mengalir ke dalam *furnace*. *Blower* diletakkan pada bagian bawah *furnace*. Hal ini dilakukan untuk memenuhi reaksi pembakaran.

Tentunya, kecepatan udara dalam pembakaran ini harus diatur pada kecepatan tertentu. Dalam kasus ini, kecepatan udara datang yang digunakan adalah sebesar 1.2 m/s terhitung di ujung bawah *furnace*. Kecepatan udara datang ini dipilih berdasarkan beberapa uji coba yang dilakukan di awal *running* dengan variasi 0.8 m/s; 1.2 m/s; dan 1.6 m/s. Dari hasil uji coba ketiga laju alir tersebut, laju alir 1.2 m/s merupakan laju alir yang optimum, dengan emisi CO yang relatif rendah serta temperatur pembakaran yang stabil. Hal ini disebabkan pada kecepatan udara datang 1.6 m/s efek yang dominan adalah efek pendinginan yang akan menurunkan temperatur briket secara gradual. Efek pendinginan pada kecepatan udara datang yang lebih besar akan menyebabkan naiknya emisi CO. Sedangkan pada kecepatan udara datang 0.8 m/s, konsentrasi CO yang ditunjukkan juga tinggi. Hal ini dikarenakan kurangnya suplai oksigen untuk membantu oksidasi lanjut CO ke CO<sub>2</sub>. Suplai oksigen yang kurang juga dapat menyebabkan tingginya emisi CO pada *flue gas*.

#### 4.3 Hasil Uji Proksimat dan Kalori Batubara dan Biomassa

Tabel 4. 1 Hasil uji proksimat dan kalori biomassa dan batubara

Metode (ASTM D-5142-09)

Jenis Bahan	%Moisture	%Ash	%Volatile matter	%Fixed carbon (by diff)	Calorific Value (cal/gram)
Sekam Padi	10.18	18.76	56.93	14.13	3250
Jerami Padi	10.00	21.05	60.63	8.32	2715
Batubara	19.96	4.26	35.46	40.32	5279

Uji proksimat dan kalori dilakukan di BPPT, LIPI Serpong dengan hasil tertera pada Tabel 4. 1. Berdasarkan tabel tersebut, kadar air biomassa dibuat sama yakni 10% sesuai dengan perlakuan pada penelitian ini. Kadar air berpengaruh cukup krusial pada nilai kalor dari tiap biomasa. Semakin tinggi kadar air maka semakin rendah nilai kalornya, karena air tidak memiliki nilai kalor bahkan cenderung memperlambat proses pembakaran. Akan tetapi, perlu diketahui bahwa nilai kalor tidak hanya dipengaruhi oleh kadar air namun

dipengaruhi juga oleh kandungan karbon, hidrogen, dan oksigen yang terdapat pada tiap biomasa.

Sekam padi (18.76%) dan jerami padi (21.05%) memiliki kadar abu yang tinggi sedangkan batubara memiliki kadar abu yang terendah (4.26 %). Tentunya, kadar abu ini akan sangat berkaitan dengan hasil pembakaran briket yang dilakukan. Bila mengacu pada hasil analisis proksimat ini, ketika biobriket dibakar, maka biobriket dengan kandungan sekam padi dan jerami padi akan menghasilkan emisi abu (*ash*) serta partikulat yang paling banyak. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.4 dimana terlihat jelas bahwa sisa abu pembakaran masih banyak bahkan berbentuk semula (bentuk briket).



(a) Sekam padi

(b) jerami padi

**Gambar 4. 4** Abu hasil pembakaran biobriket sekam padi dan jerami padi

Selanjutnya, kadar bahan yang mudah menguap (*volatile matter*) yang tinggi menunjukkan kemudahan ignisi dari bahan bakar. Sesuai hasil analisis, yang memiliki kandungan zat volatil terbanyak adalah sekam padi (56.93%) dan jerami (60.63%). Dengan demikian, seharusnya briket biomassa yang akan mudah terbakar.

Kemudian, kadar penentu panas pembakaran yakni *fixed carbon* yang tertinggi terdapat pada batubara (40.32%), sedangkan yang terendah terdapat pada jerami padi (8.32 %). Jika semakin banyak kandungan *fixed carbon* pada suatu bahan bakar maka semakin banyak pula zat yang dapat bereaksi dalam reaksi pembakaran sehingga memungkinkan reaksi pembakaran berjalan dengan lebih baik.

Yang terakhir, yaitu nilai *heating value* dari setiap bahan bakar. Berdasarkan hasil analisis, terlihat bahwa batubara memiliki nilai *heating value* paling tinggi (5279 kal/gram) sedangkan nilai *heating value* paling rendah dimiliki oleh jerami padi (2715 kal/gram). Hal ini erat kaitannya dengan dua faktor utama penentu nilai kalor yakni kadar air dan kadar *fixed carbon*. Akan tetapi, faktor kandungan *fixed carbon* ternyata jauh lebih berperan dalam menghasilkan *heating value*. Hal ini dibuktikan dengan kandungan air pada biomassa yang rendah namun tetap menghasilkan nilai kalori yang jauh lebih rendah dibandingkan batubara. Hubungan antara uji proksimat dengan uji kalori disimpulkan dalam Tabel 4. 2.

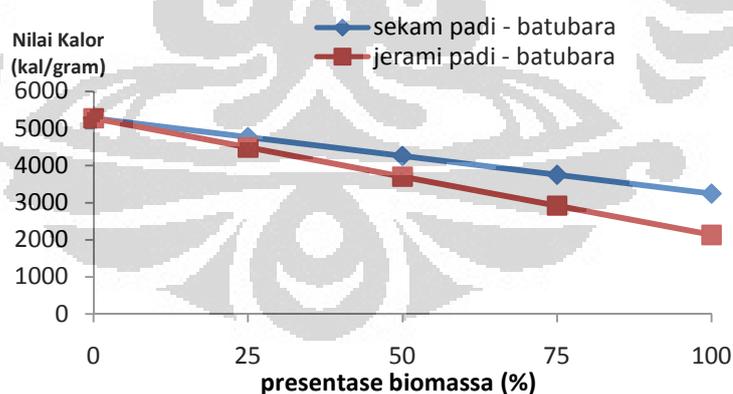
**Tabel 4. 2** Hubungan antara uji proksimat dan uji kalori

Jenis Bahan	%Moisture	%Fixed carbon (by diff)	Nilai Kalor (kal/gram)
Sekam Padi	Rendah	Sedang	3250 (sedang)
Jerami Padi	Rendah	Rendah	2715 (terendah)
Batubara	Sedang	Tinggi	5279 (tertinggi)

Keterangan :

	Faktor pengurang nilai kalor
	Faktor penambah nilai kalor

Dengan mengalikan setiap fraksi massa komposisi biomassa dengan nilai kalori yang terkandung pada masing-masing biomassa didapatkan Gambar 4. 5.



**Gambar 4. 5** Pengaruh komposisi biomassa terhadap *heating value* biobriket

#### 4.4 Hasil Uji Temperatur Pembakaran Biobriket

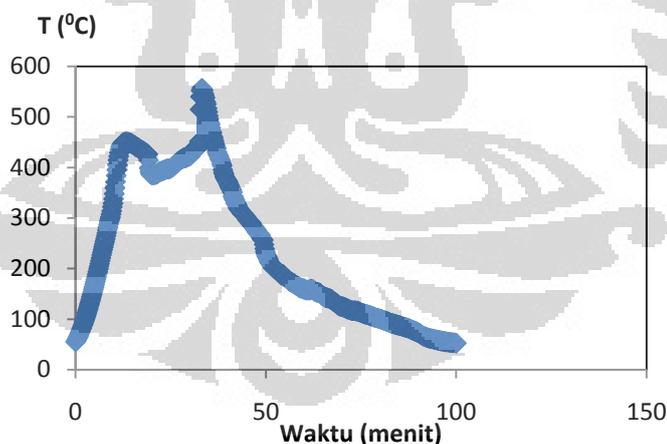
Waktu penyalaan adalah waktu mulai bahan bakar masuk sampai nyala api pada saat tercapainya temperatur penyalaan (Koestoer, 1997). Terjadinya penyalaan dapat dilihat sebagai tercapainya beberapa kondisi: (1) jumlah energi dari sumber ignisi cukup tinggi untuk mengatasi hambatan aktivasi; (2) laju panas

yang terbentuk melebihi laju panas yang hilang; (3) durasi nyala atau sumber ignisi lainnya cukup lama untuk mengawali perambatan nyala (*flame propagation*) (Chigier, 1981). Akan tetapi, karena *starting* suhu yang berbeda-beda dalam setiap *running* data, maka diambil satu titik suhu acuan yakni 60 °C untuk mengukur waktu ignisi. Artinya, waktu ignisi diukur sejak suhu 60 °C hingga terjadi suhu yang menimbulkan nyala api. Nyala api ini diukur dengan membakar masing-masing briket di luar *furnace* dan mengamati suhu mulai terbentuknya nyala api. Adapun data suhu ignisi masing-masing terurai pada Tabel 4. 3.

**Tabel 4. 3** Suhu ignisi setiap paduan biomassa - batubara dalam biobriket

Komposisi Briket (%)		Suhu Ignisi (°C)	Komposisi Briket (%)		Suhu Ignisi (°C)
Sekam Padi	Batubara		Jerami padi	Batubara	
0	100	384	0	100	384
25	75	370	25	75	316
50	50	355	50	50	310
75	25	197	75	25	271
100	0	140	100	0	267

#### 4.4.1 Temperatur Pembakaran Briket Batubara



**Gambar 4. 6** Profil temperatur pembakaran briket batubara

Sebagai pembandingan, digunakan briket batubara 100% yang artinya tanpa pengaruh biomassa. Profil temperatur pembakaran briket batubara dapat dilihat pada Gambar 4. 6, dimana waktu ignisinya dicapai saat menit ke 10.17 yakni pada suhu 384 °C. Dari grafik, dapat dilihat bahwa pada awal pengujian, suhu cenderung konstan dan tidak ada tanda penyalaan. Hal ini dikarenakan proses

perambatan panas membutuhkan waktu cukup lama. Namun, setelah sekitar menit ke- 12, tercapailah temperatur maksimum batubara yang pertama. Fenomena pembakaran batubara ini sedikit unik karena setelah temperatur batubara turun cukup drastis, kemudian suhu batubara meningkat kembali hingga suhu 557 °C. Fenomena naik kembalinya suhu batubara ini disebabkan oleh kandungan *volatile matters* pada batubara yang memiliki gugus berbeda-beda. *Volatile matters* diyakini berasal dari spesi turunan dari putusnya ikatan  $-H_2$ ,  $-CH$ ,  $-CH_2$ ,  $-CH_3$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_n$  dan  $-OH$  yang terdapat pada sekeliling batubara (Biagini & Lippi, 2002). Spesi-spesi ini memiliki berat molekul yang berbeda-beda sehingga kemungkinan suhu batubara naik kembali seiring dengan pelepasan spesi *volatile matters* yang lebih berat. Dibutuhkan analisis FTIR lebih lanjut untuk mengetahui komponen *volatile matters* apa saja yang terlibat dalam devolatilisasi briket batubara ini. Setelah mencapai temperatur maksimum, temperatur briket menurun secara gradual seiring dengan habisnya material bahan bakar itu sendiri, sehingga panas yang dihasilkan akan terus menurun.

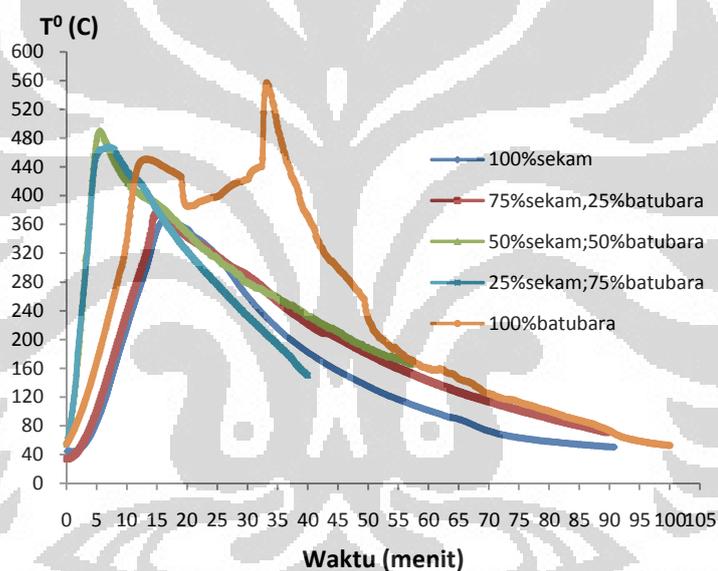
Secara umum, fenomena profil temperatur pembakaran briket adalah pelonjakan suhu sehingga mencapai suhu tertinggi kemudian penurunan suhu secara gradual. Pada lonjakan suhu terjadi peristiwa devolatilisasi yakni pelepasan *volatile matters* batubara yang terjadi secara bertahap seperti telah dijelaskan sebelumnya yang menyebabkan propagasi panas menjadi cepat sehingga suhu pembakaran terus meningkat. Kemudian, ketika suhu maksimum tercapai, artinya kandungan *volatile matters* sudah mulai habis dan komponen yang tersisa adalah *char*. Dalam pembakaran *char*, terjadi reaksi heterogen antara *char* dan oksigen yang terjadi pada *gas-solid interface*. Produk utama dari reaksi permukaan ini berupa gas CO. Gas CO nantinya bereaksi dalam fasa gas untuk membentuk CO<sub>2</sub> (sangat eksotermis). Tahap ini relatif lebih lama dibanding devolatilisasi. Proses reaksi yang terjadi diawali dengan difusi spesi pengoksidasi ke permukaan partikel dan selanjutnya ke dalam struktur pori internal. Ini diikuti dengan ikatan kimia reaktan gas ke permukaan internal dan eksternal

#### 4.4.2 Pengaruh Komposisi Biomassa terhadap Waktu Ignisi

Pada bagian ini akan dibahas pengaruh komposisi tiap jenis biomassa terhadap waktu penyalaan dari biobriket yang dibakar dalam *furnace*. Variasi komposisi yang dibandingkan dalam penelitian ini adalah berdasarkan persentase berat dari biomassa yang digunakan: 0%; 25%; 50%; 75%; dan 100%.

##### 4.4.2.1 Pengaruh Komposisi Sekam Padi terhadap Waktu Ignisi

Profil pembakaran biobriket sekam padi –batubara dapat dilihat pada Gambar 4. 7, dimana pada gambar tersebut terlihat bahwa komposisi sekam padi berpengaruh dalam waktu ignisi biobriket.



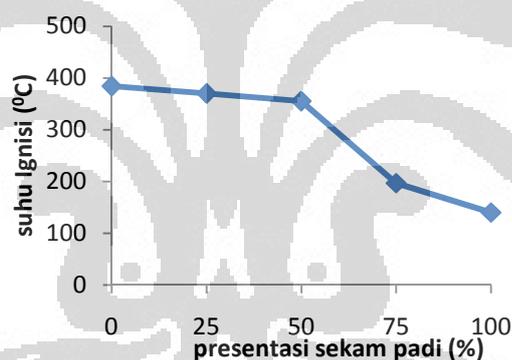
Gambar 4. 7 Profil temperatur pembakaran biobriket sekam padi – batubara

Tabel 4. 4 Ringkasan waktu ignisi biobriket sekam padi - batubara

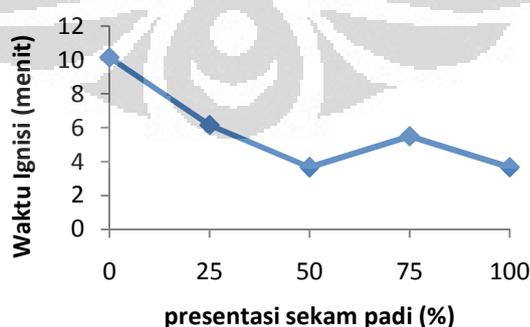
Komposisi Briket (%)		Waktu Nyala (menit)	Suhu Ignisi (°C)	Suhu Tertinggi (°C)	Urutan Waktu Ignisi
Sekam Padi	Batubara				
0	100	10.17	384	405.5	5
25	75	6.17	370	468	4
50	50	3.67	355	490	2
75	25	5.50	197	376.8	3
100	0	3.67	140	367.7	1

Suhu ignisi didapatkan dengan memanaskan masing-masing briket hingga timbul bara api. Profil temperatur yang tergambar pada Gambar 4. 7, kemudian dibuat ringkasan pengaruh komposisi terhadap waktu nyala yang diuraikan dalam

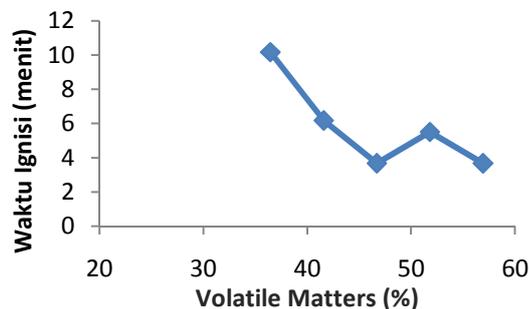
Tabel 4. 4. Pada Tabel 4. 4, waktu ignisi tercepat dicapai oleh biobriket dengan komposisi sekam 100%. Dengan meningkatnya kandungan sekam padi pada biobriket, kandungan *volatile matter* akan semakin banyak juga pada briket. Hal ini dapat mempercepat waktu ignisi yang dibutuhkan briket. Kandungan *volatile matter* dapat membantu terjadinya ignisi ketika terbakar di sekitar permukaan bahan dengan memberikan panas ke permukaan briket. Energi panas ini dapat memicu ignisi lainnya pada permukaan secara radiasi (Chigier, 1981). Pengaruh kandungan sekam padi dan *volatile matters* dapat dilihat pada Gambar 4. 8, Gambar 4. 9, dan Gambar 4. 10 dimana seiring dengan meningkatnya kandungan sekam padi, maka kandungan *volatile matters* juga akan meningkat yang kemudian menurunkan suhu ignisi dan mempercepat waktu ignisi (Grotkjaer & Johansen, 2003).



Gambar 4. 8 Pengaruh komposisi sekam padi terhadap suhu ignisi biobriket sekam padi - batubara



Gambar 4. 9 Pengaruh komposisi sekam padi terhadap waktu ignisi biobriket sekam padi - batubara



**Gambar 4.10** Pengaruh kandungan *volatile matters* terhadap waktu ignisi biobriket sekam padi-batubara

**Tabel 4.5** Pengaruh abu (*ash*) dalam pembakaran fasa ignisi sekam padi – batubara

Komponen Proksimat	100% batubara	25% sekam : 75%batubara	50% sekam : 50% batubara	75% sekam : 25%batubara	100% sekam
<i>ash</i>	5.32	9.21	13.10	17.00	20.89
<i>volatile</i>	44.30	49.07	53.84	58.61	63.38
<i>fixed carbon</i>	50.37	41.71	33.05	24.39	15.73

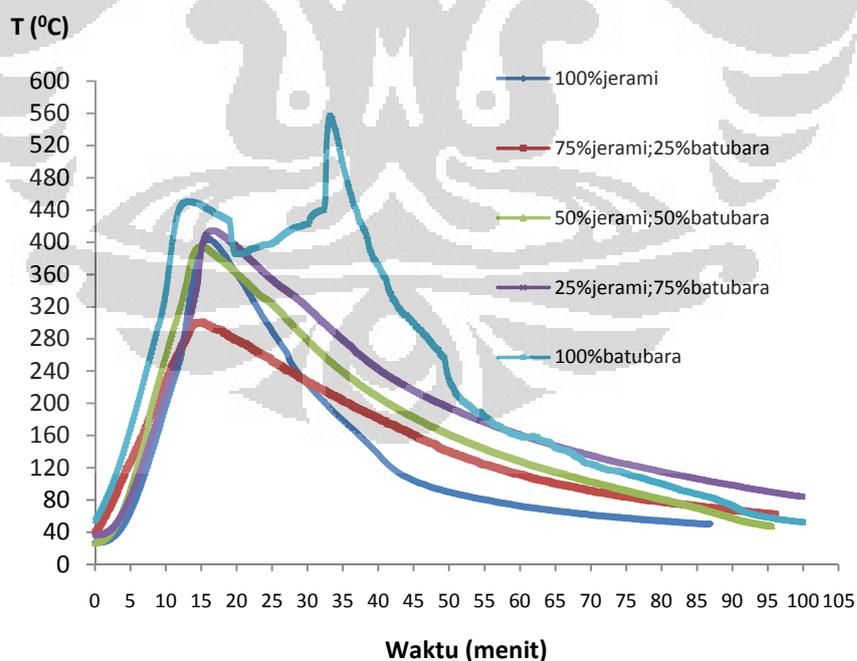
Akan tetapi, fenomena pengaruh komposisi sekam padi dan *volatile matters* terhadap waktu ignisi ternyata tidak serta merta linear, terdapat simpangan pada komposisi sekam padi 75% : batubara 25%. Pada komposisi 0 – 50% sekam padi, yang sangat berperan adalah kandungan *volatile matters* dari bahan sehingga waktu ignisinya menjadi semakin cepat. Namun, ketika biobriket sekam padi yang komposisinya 75% waktu ignisinya justru lebih rendah meskipun kadar biomassa sekam padinya meningkat. Hal ini disebabkan karena karakteristik sekam padi yang sangat tinggi kandungan abunya (*ash*) dibanding batubara (Tabel 4.5). Meskipun kandungan *volatile matters* pada komposisi 75% sekam padi sangat tinggi namun keberadaannya menjadi terhalang dengan adanya abu yang tinggi serta *fixed carbon* batubara yang sulit menyala. Hal ini berkaitan dengan briket 100% sekam padi, waktu ignisinya lebih cepat dibandingkan biobriket 75% sekam padi, karena *fixed carbon* sekam padi yang lebih banyak tersusun dari selulosa sehingga lebih mudah terbakar tanpa ada campuran *fixed carbon* batubara yang sulit menyala.

Saat terjadi pembakaran biobriket, abu hasil pembakaran biomassa ini kemudian menghambat naiknya suhu pembakaran biobriket (Vassilev, 2010). Hal ini didukung dengan nilai konduktivitas termal abu (*ash*) yang tinggi,  $k_{ash} = 8$

W/mK (Slifka, 1998), dibandingkan dengan  $k$  karbon = 1.7 W/mK sehingga abu akan menyerap panas lebih cepat dibanding *fixed carbon*. Jadi makin besar kadar abu, temperatur permukaan *char* (terdiri dari *fixed carbon* dan abu) semakin banyak berkurang. Hal ini diperkuat dengan tabel modifikasi kandungan abu (Tabel 4.5) dimana pada tabel tersebut terlihat bahwa pengaruh abu sangat besar saat proses ignisi karena kandungannya sangat tinggi dan menyerap panas sehingga temperatur pembakaran lebih cepat turun. Hal ini yang kemudian berujung pada lambatnya waktu ignisi untuk komposisi sekam padi yang terlalu banyak. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.5 dimana kontribusi penghambatan waktu ignisi karena kandungan abu terjadi pada komposisi sekam 75%.

#### 4.4.2.2 Pengaruh Komposisi Jerami Padi terhadap Waktu Ignisi

Profil pembakaran biobriket jerami padi –batubara dapat dilihat pada Gambar 4. 11, dimana pada gambar tersebut terlihat bahwa komposisi jerami berpengaruh dalam waktu ignisi biobriket.

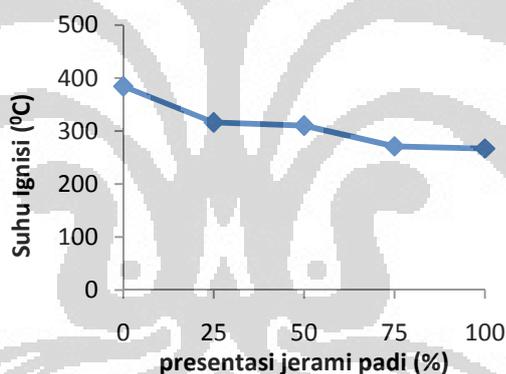


Gambar 4. 11 Profil temperatur pembakaran biobriket jerami padi - batubara

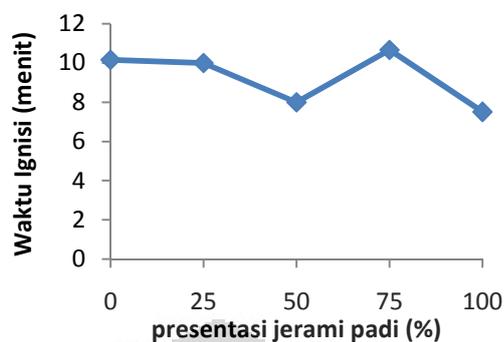
**Tabel 4. 6** Ringkasan waktu ignisi biobriket jerami padi - batubara

Komposisi Briket (%)		Waktu Nyala (menit)	Suhu Ignisi (°C)	Suhu Tertinggi (°C)	Urutan Waktu Ignisi
Jerami Padi	Batubara				
0	100	10.16	384	405.5	5
25	75	10	316	414.3	3
50	50	8	310	395	2
75	25	10.6	271	300	4
100	0	7.5	267	403.1	1

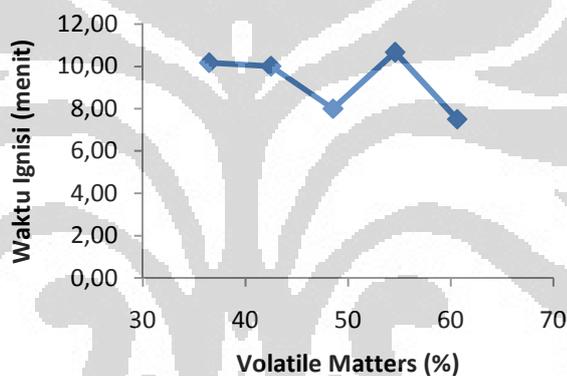
Berdasarkan profil temperatur yang tergambar pada Gambar 4. 11, kemudian dibuat ringkasan pengaruh komposisi terhadap waktu nyala yang diuraikan dalam Tabel 4. 6, dimana waktu ignisi tercepat dicapai oleh biobriket dengan komposisi 100% jerami. Hal ini disebabkan oleh kandungan *volatile matter* yang tinggi pada biobriket 100% jerami. Kemudian, waktu ignisi kedua tercepat dicapai oleh biobriket dengan komposisi jerami 50% : batubara 50%.

**Gambar 4. 12** Pengaruh komposisi jerami padi terhadap suhu ignisi biobriket jerami padi - batubara

Pada Gambar 4. 12 dapat dilihat pengaruh komposisi jerami padi terhadap suhu ignisi bahwa semakin tinggi kadar jerami padi pada campuran biobriket maka suhu ignisi semakin menurun. Hal ini sesuai dengan investigasi sebelumnya bahwa suhu ignisi akan menurun seiring meningkatnya kandungan biomassa (Lu G. , 2000).



**Gambar 4. 13** Pengaruh komposisi jerami padi terhadap waktu ignisi biobriket jerami padi – batubara



**Gambar 4. 14** Pengaruh kandungan *volatile matters* terhadap waktu ignisi biobriket jerami padi – batubara

Akan tetapi turunnya suhu ignisi ini ternyata tidak selaras dengan turunnya waktu ignisi yang diperlihatkan pada Gambar 4. 13 dimana terjadi anomali pada biobriket dengan komposisi jerami 75% : batubara 25% sama halnya seperti biobriket sekam padi 75% : batubara 25%. Pada Gambar 4. 14 juga dapat dilihat bahwa peranan *volatile matters* tidak serta merta linear mempercepat waktu ignisi. Hal ini disebabkan karena kandungan *ash* (abu) yang tinggi juga pada jerami padi. Merujuk pada Tabel 4. 1 terlihat bahwa kandungan abu jerami padi lebih tinggi dibanding kandungan abu pada sekam padi. Hal ini yang menyebabkan penurunan waktu penyalaan biobriket jerami padi di Gambar 4. 13 tidak signifikan penurunan waktu ignisi biobriket sekam padi pada Gambar 4. 8.

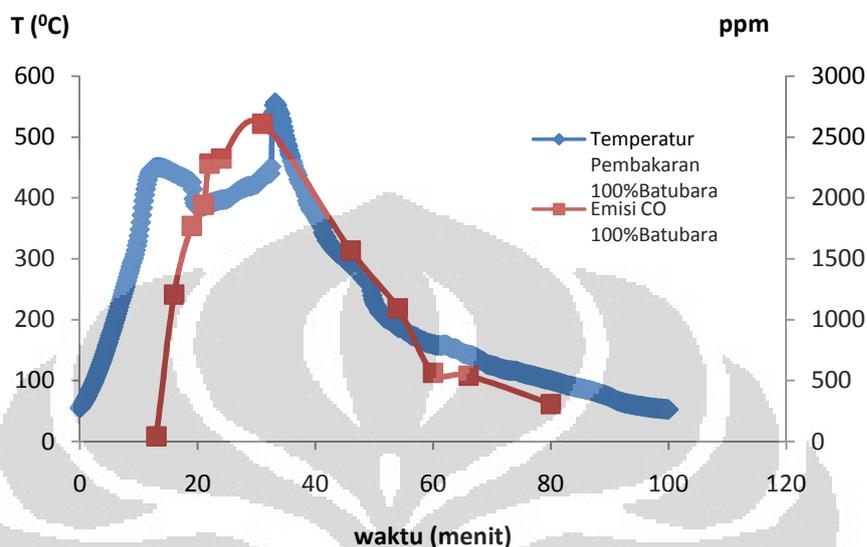
**Tabel 4. 7** Pengaruh abu (*ash*) dalam pembakaran fasa ignisi jerami padi – batubara

Komponen Proksimat	100% batubara	25% jerami : 75%batubara	50% jerami : 50% batubara	75% jerami : 25%batubara	100%jerami
<i>ash</i>	5.32	9.84	14.36	18.87	23.39
<i>volatile matters</i>	44.30	50.07	55.83	61.60	67.37
<i>fixed carbon</i>	50.37	40.09	29.81	19.53	9.24

Oleh karena itu, suhu ignisi yang dicapai oleh campuran biomassa jerami dipengaruhi kadar abu (Tabel 4. 7) yang terkandung dalam jerami padi yang ternyata menghambat perambatan panas di permukaan briket. Harga  $k_{ash} = 8$  W/mK (Slifka, 1998) yang lebih besar dibanding  $k_{char} = 0.370$  W/mK (Gupta, 2003) menjadikan *ash* penentu terhadap penurunan temperatur pada *char* pada biobriket sekam padi dan jerami padi sehingga panas yang dihasilkan oleh bara api pembakaran terserap oleh *ash* (abu) yang dihasilkan oleh hasil pembakaran briket. Hal ini sesuai dengan fenomena dimana demineralisasi (penghilangan *ash*) mempercepat reaksi pembakaran (Yilgin & Pehlivan, 2009). Meskipun kandungan *volatile matters* pada komposisi 75% jerami padi sangat tinggi namun keberadaannya menjadi terhalang dengan adanya abu yang tinggi serta *fixed carbon* batubara yang sulit menyala. Hal ini berkaitan dengan briket 100% jerami padi, waktu ignisinya lebih cepat dibandingkan biobriket 75% jerami padi, karena *fixed carbon* jerami padi yang lebih banyak tersusun dari selulosa sehingga lebih mudah terbakar tanpa ada campuran *fixed carbon* batubara yang sulit menyala.

## 4.5 Hasil Uji Emisi Pembakaran Biobriket

### 4.5.1 Emisi Pembakaran Briket Batubara



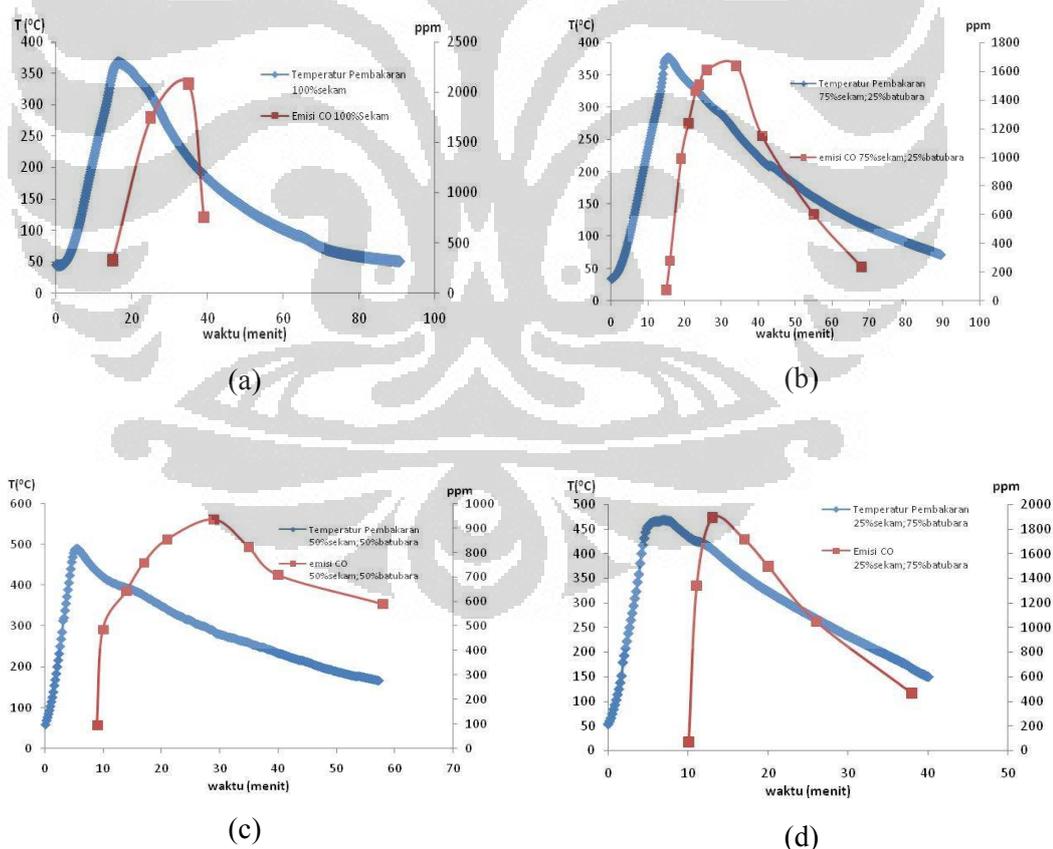
Gambar 4.15 Profil emisi briket 100% batubara

Dilhat dari Gambar 4.15, emisi hasil pembakaran briket batubara subbituminuos sangatlah tinggi, dengan puncak emisi sebesar 2609 ppm. Pembakaran biobriket dimulai dengan reaksi pembakaran dimana briket melepaskan uap air dan gas-gas ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  dan  $\text{H}_2$ ) dan bahan mudah menguap pada briket (*volatile matter*) mulai terbakar dan terjadi reaksi yang menghasilkan panas. Kemudian, pembakaran terus berlanjut dan mencapai temperatur maksimumnya, dimana pada saat ini terjadi konversi emisi  $\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$  sehingga kadar  $\text{CO}$  rendah. Hal ini disebabkan karena pada saat tersebut reaksi pembakaran sudah terjadi secara sempurna atau sudah pada keadaan stoikiometri, sehingga konsentrasi  $\text{CO}$  akan menurun dan konsentrasi  $\text{CO}_2$  akan meningkat. Kadar  $\text{CO}$  mulai meningkat dari menit ke - 20 hingga menit ke - 30 dimana pada tahap ini temperatur sudah turun sehingga konversi  $\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$  menjadi kurang sempurna. Pada menit ke-40, briket sudah hampir habis terbakar dan menghasilkan abu, sehingga  $\text{CO}$  yang dihasilkan berkurang dan pada akhirnya menuju nilai nol. Hal ini disebabkan udara yang dialirkan ke dalam *furnace* konstan sedangkan *volatile matter* sebagian besar sudah habis dan yang tersisa adalah *char*. Pada saat *char* terbakar kinetika reaksi pembentukan  $\text{CO}$  jauh lebih

lambat dibanding saat *volatile matter* terbakar. Semakin berkurang massa *char* yang tersisa, permukaan *char* yang menghasilkan CO semakin rendah sedangkan pasokan udara tetap laju alirnya sehingga konsentrasi CO semakin rendah seiring dengan bertambahnya waktu.

Selain itu, setelah dihitung secara stoikiometrik dan aktual, nilai ekivalensi rasio di menit ke -20 hingga ke- 30 adalah lebih besar dari satu yang artinya kondisi pembakaran kaya akan bahan bakar (*fuel rich*) sehingga pada kondisi ini pembakaran menjadi tidak sempurna dan banyak membentuk CO. Dengan terbentuknya CO ini energi yang terlepas cenderung rendah sehingga efek yang terjadi adalah pendinginan.

#### 4.5.2 Emisi Pembakaran Biobriket Sekam Padi – Batubara



**Gambar 4. 16** Profil individu emisi CO biobriket sekam padi – batubara; (a) 100% sekam; (b) 75%sekam : 25% batubara; (c) 50% sekam : 50% batubara; (d) 25% sekam : 75% batubara

Berdasarkan investigasi yang dilakukan terhadap emisi CO pada biobriket sekam padi – batubara terlihat bahwa emisi CO sangat tinggi meskipun bahan bakar telah dipadukan dengan biomassa.

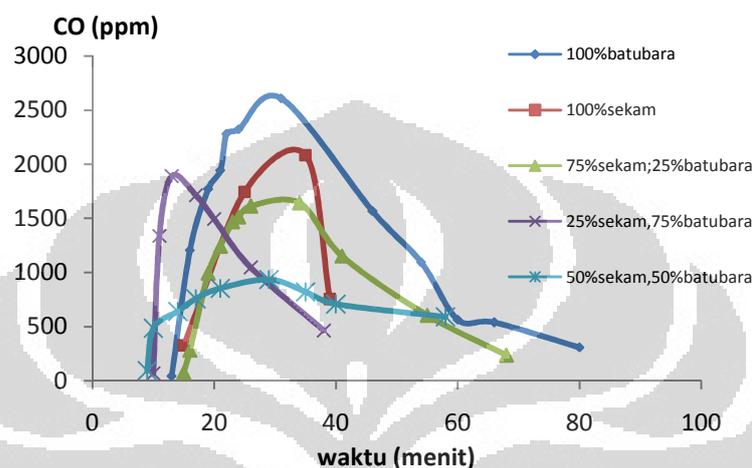
Emisi CO yang tinggi ini disebabkan oleh penurunan temperatur yang terjadi pada fasa pembakaran *char* dimana pada tahap ini banyak abu yang terbentuk karena konduktivitas termal abu (*ash*) lebih tinggi dibandingkan konduktivitas termal karbon sehingga pembentukan CO<sub>2</sub> yang membutuhkan energi (panas) tinggi mengalami kekurangan panas dan hanya bisa membentuk emisi CO.

Selain itu, berdasarkan profil emisi masing-masing bahan bakar paduan biomassa sekam padi – batubara, didapatkan emisi CO yang hampir semuanya tinggi. Apabila diamati seksama melalui Gambar 4. 16, emisi CO yang tinggi ini semuanya dihasilkan pada temperatur yang rendah. Pada dasarnya, pembakaran yang sempurna membutuhkan energi besar untuk mengonversi CO → CO<sub>2</sub>, yang artinya membutuhkan suhu tinggi juga. Oleh karena itu, saat suhu pembakaran rendah, nilai emisi CO yang dihasilkan menjadi sangat tinggi, yang artinya biobriket tidak memiliki cukup panas untuk mengonversi CO ke CO<sub>2</sub>.

Selain itu, setelah dihitung secara stoikiometrik dan aktual (**Lampiran F**), nilai ekivalensi rasio di menit ke- 30 (menit dimana kandungan CO relatif tinggi) adalah lebih besar dari satu yang artinya kondisi pembakaran kaya akan bahan bakar (*fuel rich*) sehingga pada kondisi ini pembakaran menjadi tidak sempurna dan banyak membentuk CO. Dengan terbentuknya CO ini energi yang terlepas cenderung rendah sehingga efek yang terjadi adalah pendinginan.

Secara umum, pembakaran CO pada fasa pembakaran *volatile matter* tidak melibatkan perpindahan panas secara konduksi karena gas yang sudah terbakar mempunyai cukup banyak panas untuk menaikkan energi aktivasi reaksi pembakaran (untuk memulai ignisi) gas di sekitarnya, sedangkan pada *char*, panas konduksi sangat berperan apalagi kandungan abu biomassa tinggi sehingga panas hasil pembakaran suatu titik pada *char* sebagian digunakan untuk konduksi dan sebagian untuk menaikkan energi aktivasi titik-titik *char* di sekitarnya. Oleh karena itu, kinetika pembakaran *char* lebih rendah dibanding gas (*volatile*

*matters*) yang menyebabkan konversi CO ke CO<sub>2</sub> pada *char* lebih lambat. Hal ini semakin diyakini dengan tingginya kadar abu saat *char burning* (Tabel 4. 8) dimana peranan abu sangat tinggi sehingga panas terserap oleh abu dan menyebabkan suhu serta emisi CO yang dihasilkan menjadi tinggi.



Gambar 4. 17 Profil Emisi Biobriket Sekam Padi – Batubara

Berdasarkan profil emisi biobriket sekam padi – batubara yang terpapar pada Gambar 4. 17, terlihat bahwa biomassa sekam padi membawa pengaruh dalam reduksi CO hasil pembakaran. Jika diperhatikan, Gambar 4. 16 menggambarkan secara implisit bahwa kadar abu (*ash*) memiliki peranan penting untuk menurunkan temperatur briket, semakin tinggi konsentrasi biomassa dari 25% ke 50%, temperatur briket naik, tetapi turun mulai 50% hingga 100%. Hal ini yang memperlihatkan bahwa pada komposisi biomassa 50%, emisi CO paling rendah. Hal ini dapat lebih jelas dilihat pada Tabel 4. 9 dan Gambar 4. 18 bahwa emisi CO terendah dihasilkan oleh paduan 50% sekam dan 50% batubara. Mengacu pada Gambar 4. 18, dapat dilihat bahwa dari briket 100% batubara hingga 50% sekam padi : 50% batubara, emisi CO kerap menurun. Hal ini disebabkan oleh porositas biomassa yang besar sehingga reaksi pembentukan CO ke CO<sub>2</sub> diperkuat dengan turbulensi yang terjadi di permukaan briket. Sedangkan, dari komposisi 50% sekam padi hingga 100 % sekam padi *ash* memiliki peranan dalam penyerap panas sehingga emisi CO naik kembali.

Baik emisi CO maksimum maupun emisi CO rata-rata dari paduan biobriket sekam padi 50% : batubara 50% menghasilkan nilai emisi yang paling

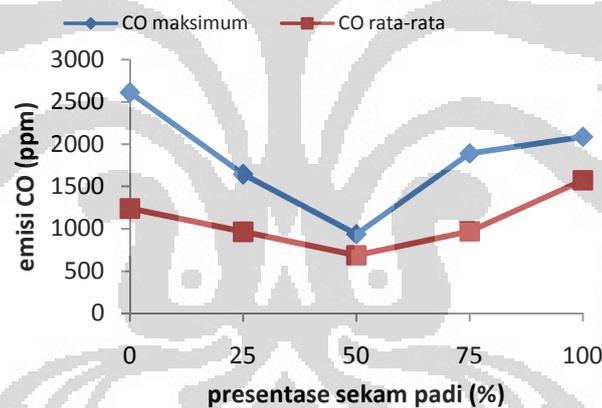
rendah sehingga dapat dijadikan rekomendasi sebagai paduan bahan biobriket pada penelitian selanjutnya.

**Tabel 4. 8** Pengaruh abu pada fasa *char burning* sekam padi -batubara

Komponen Proksimat	100% batubara	25% sekam : 75%batubara	50% sekam : 50% batubara	75% sekam : 25%batubara	100% sekam
<i>ash</i>	9.56	21.43	33.30	45.17	57.04
<i>fixed carbon</i>	90.44	78.57	66.70	54.83	42.96

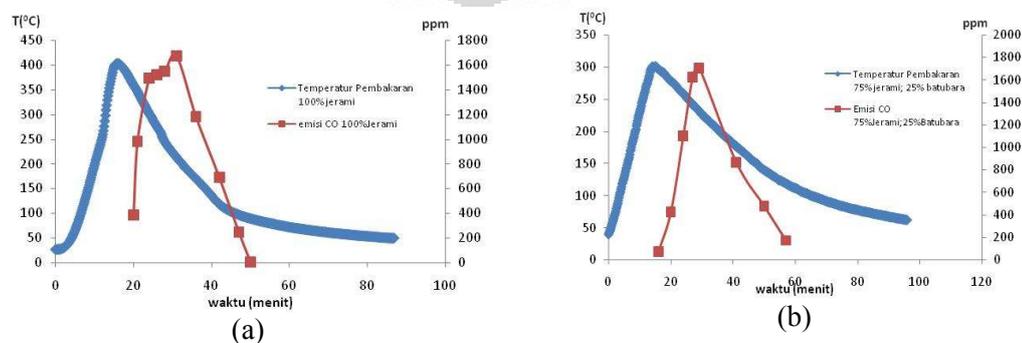
**Tabel 4. 9** Ringkasan puncak emisi CO biobriket sekam padi - batubara

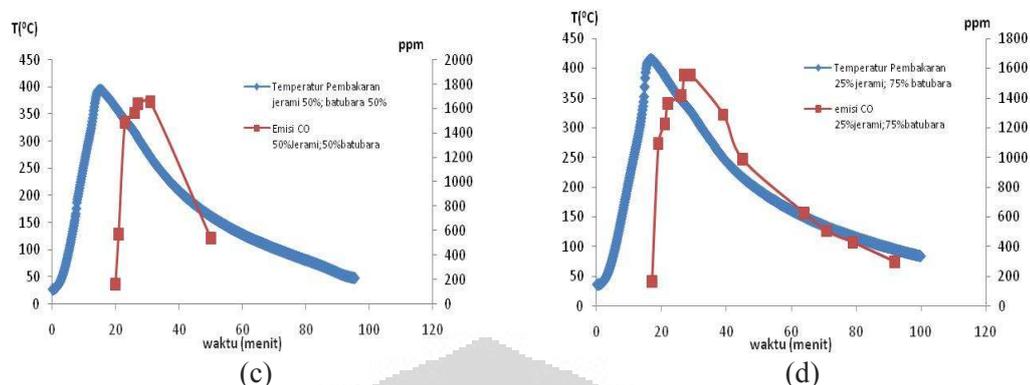
Komposisi	Puncak Emisi CO (ppm)	CO rata-rata (ppm)
100% batubara	2609	1239
75% sekam; 25% batubara	1891	968.49
50% sekam; 50% batubara	936	687.38
25% sekam; 75% batubara	1643	963.63
100% sekam	2085	1572.41



**Gambar 4. 18** Pengaruh komposisi sekam padi terhadap emisi CO maksimum dan rata-rata

#### 4.5.3 Emisi Pembakaran Biobriket Jerami Padi – Batubara





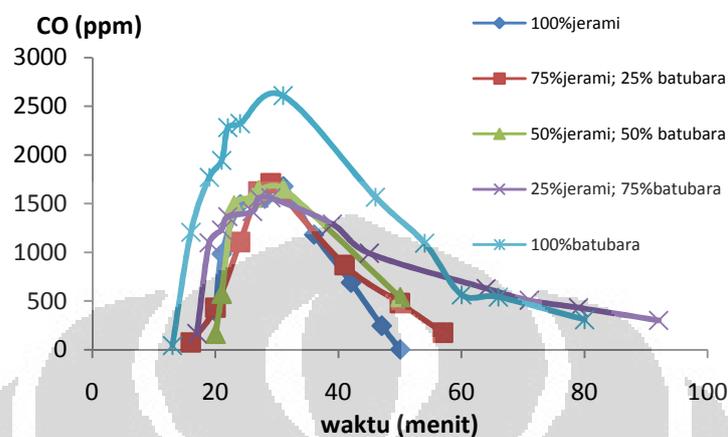
**Gambar 4. 19** Profil individu emisi CO biobriket jerami padi – batubara; (a) 100% jerami; (b) 75% jerami : 25% batubara; (c) 50% jerami : 50% batubara; (d) 25% jerami : 75% batubara

Berdasarkan penelitian yang dilakukan mengenai emisi CO pada biobriket jerami padi – batubara terlihat kecenderungan yang sama dengan biobriket sekam padi – batubara bahwa emisi CO sangat tinggi meskipun bahan bakar telah dipadukan dengan biomassa. Kemudian, merujuk pada profil emisi masing-masing bahan bakar paduan biomassa sekam padi – batubara, Gambar 4. 19, emisi CO yang tinggi ini semuanya dihasilkan pada temperatur yang rendah, sama halnya dengan fenomena emisi CO biobriket sekam padi. Pada dasarnya, pembakaran yang sempurna membutuhkan energi besar untuk mengonversi  $\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$ , yang artinya membutuhkan suhu tinggi juga. Oleh karena itu, saat suhu pembakaran rendah, nilai emisi CO yang dihasilkan menjadi sangat tinggi, yang artinya biobriket tidak memiliki cukup panas untuk mengonversi CO ke  $\text{CO}_2$ .

Selain itu, setelah dihitung secara stoikiometrik dan aktual (**Lampiran F**), nilai ekivalensi rasio di menit ke- 30 (menit dimana kandungan CO relatif tinggi) adalah lebih besar dari satu yang artinya kondisi pembakaran kaya akan bahan bakar (*fuel rich*) sehingga pada kondisi ini pembakaran menjadi tidak sempurna dan banyak membentuk CO. Dengan terbentuknya CO ini energi yang terlepas cenderung rendah sehingga efek yang terjadi adalah pendinginan.

Selain itu, pada Gambar 4. 20 terlihat pengaruh dari penggunaan jerami padi dalam paduan biobriket terhadap emisi CO yang dihasilkan. Meskipun emisi CO biobriket jerami padi juga tinggi, namun jika dibandingkan dengan profil emisi CO batubara, terlihat bahwa emisi CO jerami padi masih relatif lebih rendah. Apalagi jika dilihat durasi lamanya emisi CO dihasilkan dari pembakaran,

bahan bakar batubara memperlihatkan profil dengan durasi emisi CO yang lebih lama.



Gambar 4. 20 Profil Emisi Biobriket Jerami Padi – Batubara

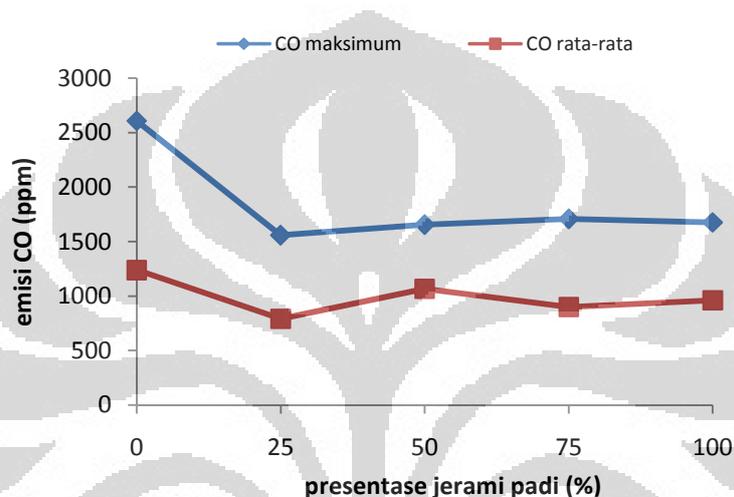
Berdasarkan Tabel 4. 11 dan Gambar 4. 21, dapat dilihat bahwa emisi CO terendah dihasilkan oleh paduan 25% jerami dan 75% batubara. Baik emisi CO maksimum maupun emisi CO rata-rata dari paduan biobriket 25% jerami dan 75% batubara menghasilkan nilai emisi yang paling rendah sehingga dapat dijadikan rekomendasi sebagai paduan bahan biobriket pada penelitian selanjutnya. Hal ini diperkuat dengan melihat dan bahwa emisi CO terendah dihasilkan oleh paduan 25% jerami dan 75% batubara. Mengacu pada Gambar 4. 21, dapat dilihat bahwa dari briket 100% batubara hingga 25% sekam padi : 75% batubara, emisi CO kerap menurun. Hal ini disebabkan oleh porositas biomassa yang besar sehingga reaksi pembentukan CO ke CO<sub>2</sub> diperkuat dengan turbulensi yang terjadi di permukaan briket. Sedangkan, dari komposisi 25% jerami padi hingga 100 % jerami padi *ash* memiliki peranan dalam penyerap panas sehingga emisi CO naik kembali.

Tabel 4. 10 Pengaruh abu pada fasa *char burning* jerami padi -batubara

Komponen Proksimat	100% batubara	25% jerami : 75%batubara	50% jerami : 50% batubara	75% jerami : 25%batubara	100%jerami
<i>ash</i>	9.56	25.09	40.63	56.16	71.70
<i>fixed carbon</i>	90.44	74.91	59.37	43.84	28.30

**Tabel 4. 11** Ringkasan emisi CO biobriket jerami padi – batubara

Komposisi	Puncak Emisi CO (ppm)	Rata-rata CO (ppm)
100% batubara	2609	1239
75% jerami; 25% batubara	1708	900.55
50% jerami; 50% batubara	1655	1067
25% jerami; 75% batubara	1558	792.92
100% jerami	1678	961.75

**Gambar 4. 21** Pengaruh komposisi jerami padi terhadap emisi CO maksimum dan rata-rata

Jika dibandingkan dengan sekam padi, merujuk pada Tabel 4. 1, maka terlihat jelas kandungan abu (*ash*) jerami padi lebih besar dibanding kandungan abu pada sekam padi. Sehingga, wajar jika kadar emisi CO terendah pada sekam padi didapat pada komposisi 50% sedangkan pada jerami padi didapat pada komposisi 25%. Hal ini mengindikasikan bahwa emisi CO yang tinggi ini disebabkan oleh penurunan temperatur yang terjadi pada fasa pembakaran *char* dimana pada tahap ini banyak abu yang terbentuk. Oleh karena nilai konduktivitas termal abu (*ash*) lebih tinggi dibandingkan konduktivitas termal karbon sehingga pembentukan CO<sub>2</sub> yang membutuhkan energi (panas) tinggi mengalami kekurangan panas dan hanya bisa membentuk emisi CO. Hal ini juga diperkuat dengan Tabel 4. 10 yang menyiratkan bahwa kandungan abu sangat tinggi saat *char burning* sehingga panas pembakaran banyak diserap oleh abu dan emisi CO menjadi tinggi.

#### 4.6 Resume Rekomendasi Paduan Biobriket

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, kemudian dapat dirangkum paduan komposisi mana yang menghasilkan waktu ignisi relatif cepat dan emisi CO yang relatif rendah untuk dijadikan rekomendasi peneliti selanjutnya. Hal ini dapat dilihat jelas pada Tabel 4. 12.

**Tabel 4. 12** Rekomendasi paduan biobriket untuk waktu ignisi yang relatif cepat dan emisi CO yang relatif rendah

<b>Waktu Ignisi</b>		
Komposisi Paduan Biobriket	Waktu Ignisi (menit)	Suhu Ignisi ( $^{\circ}$ C)
50% sekam padi : 50% batubara	3.67	490
50% jerami padi : 50% batubara	8	395
<b>Emisi CO</b>		
Komposisi Paduan Biobriket	CO rata-rata (ppm)	CO maksimum (ppm)
50% sekam padi : 50% batubara	687.38	936
25% jerami padi : 75% batubara	792.92	1558

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

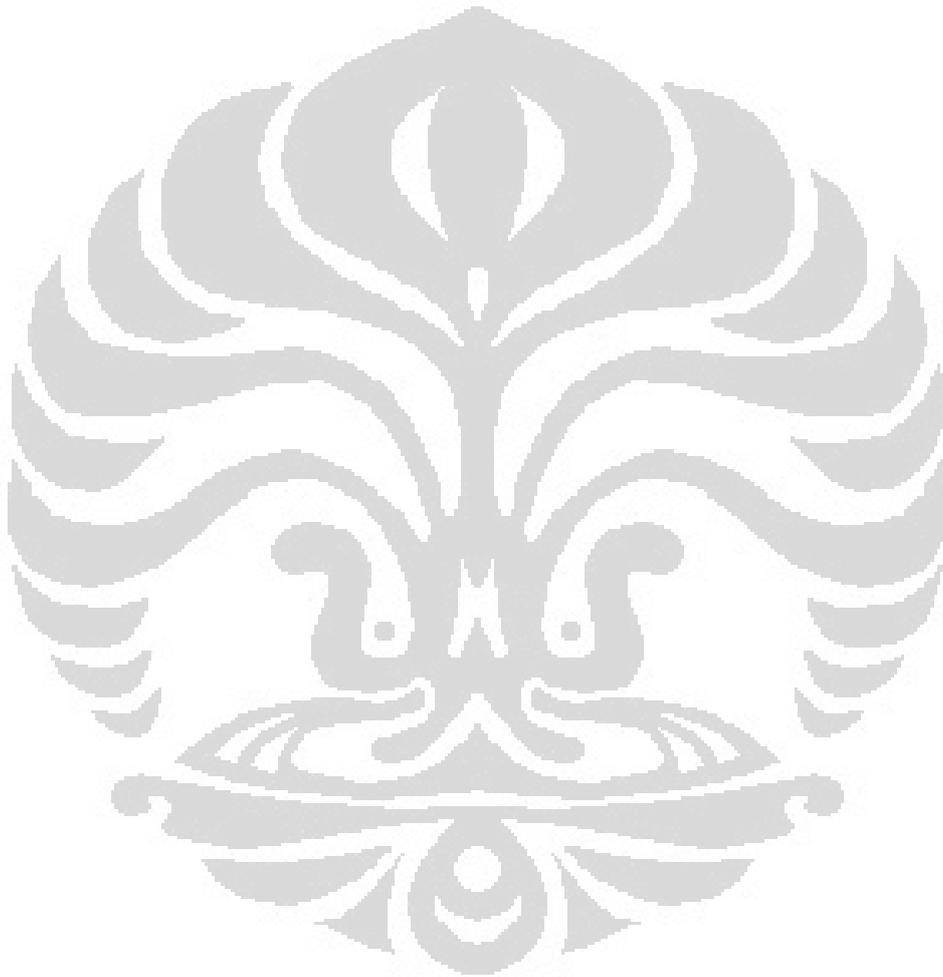
Kesimpulan yang didapat dari penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh komposisi biomassa dalam biobriket adalah:

1. Waktu ignisi yang dibutuhkan briket batubara tanpa biomassa relatif cukup lama yakni 10.16 menit, sedangkan emisi CO rata-rata yang dihasilkan oleh briket batubara adalah 1239 ppm.
2. Pengaruh penggunaan bahan biomassa pada waktu ignisi biobriket :
  - a. Pengaruh biomassa sekam padi (25%, 50%, dan 100%) terhadap waktu ignisi biobriket cukup signifikan. Namun, paduan yang menghasilkan waktu ignisi relatif paling cepat adalah paduan sekam padi 50% : batubara 50% dengan waktu ignisi 3.67 menit.
  - b. Pengaruh jerami padi (25%, 50%, dan 100%) terhadap waktu ignisi biobriket cukup bervariasi. Adapun, paduan yang menghasilkan waktu ignisi relatif paling cepat adalah paduan jerami padi 50% : batubara 50% dengan waktu ignisi 8 menit.
3. Pengaruh komposisi biomassa pada emisi CO biobriket :
  - a. Untuk campuran biobriket sekam padi –batubara, emisi CO yang relatif rendah dihasilkan oleh paduan sekam padi 50% : batubara 50% dengan nilai emisi CO rata-rata 687.38 ppm.
  - b. Untuk campuran biobriket jerami padi –batubara, emisi CO yang relatif rendah dihasilkan oleh paduan jerami padi 25% : batubara 75% dengan nilai emisi CO rata-rata 792.92 ppm.

#### 5.2 Saran

1. Untuk lebih mengidentifikasi profil temperatur pembakaran briket sebaiknya dilakukan analisis termogravimetri sehingga dapat dilihat fasa devolatilisasi secara jelas serta fasa pembakaran *char* dengan melihat pengurangan massa briket.

2. Untuk melihat senyawa apa saja yang berperan dalam setiap proses pembakaran briket sebaiknya dilakukan analisis FTIR sehingga terlihat jelas senyawa apa saja yang terlibat dalam pembakaran (devolatilisasi dan pembakaran *char*).
3. Untuk penelitian selanjutnya, dapat menggunakan komposisi biomassa – batubara yang sesuai dengan hasil penelitian ini untuk mendapatkan waktu ignisi yang relatif cepat serta emisi CO yang relatif rendah.



## DAFTAR PUSTAKA

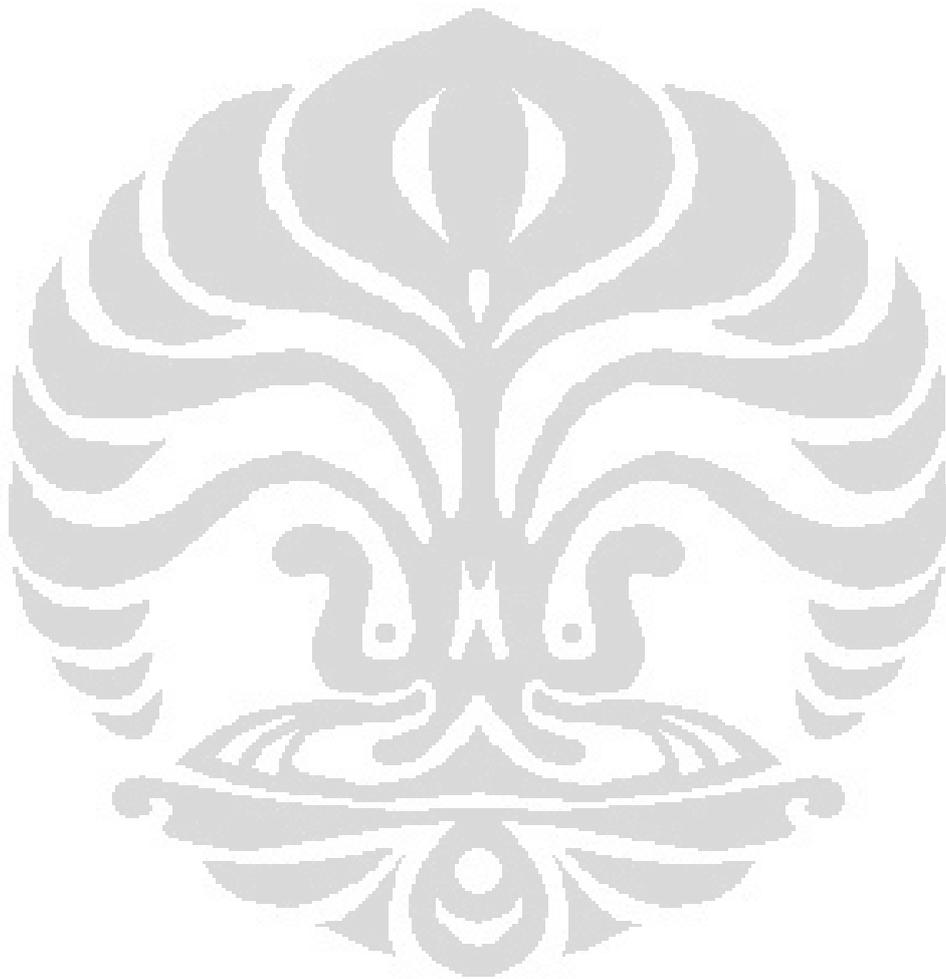
- (IEA), I. E. (2009). *World Energy Outlook*. Paris: rue de la Fédération, 75739 Paris Cedex 15, France.
- Ayling, A., & Smith, I. (1972). Measured temperatures of burning pulverised-fuel particles, and the nature of the primary reaction product. *Combustion and Flame Vol. 18* , 173-184.
- Beck, N., & Hayhurst, A. (1990). The early stages of the combustion of pulverized coal at high temperatures I : The kinetics of devolatilisation. *Combustion and Flame Vol. 79* , 47-74.
- Bhattacharya, S. (2001). *A Study on Improved Biomass Briquetting*". Dipetik Februari 20, 2010, dari <http://www.retsasia.ait.ac.th>
- Biagini, E., & Lippi, F. (2002). Devolatilization Rate of biomasses and coal-biomass blends : an experimental investigation. *Fuel Vol. 81* , 1041-1050.
- Blasi, C. d. (2009). Combustion and Gasification rates of lignocellulosic chars. *Progress in Energy and Combustion Science Vol. 35* , 121-140.
- Borowski, G. (2006). *Possibilities of Utilization of Energy Briquettes*. Dipetik Maret 3, 2010, dari <http://eeeic.eu/proc/papers/74.pdf>
- Chaney, J. O. (2006). *An Experimental Study of The Combustion Characteristic of Low Density Biomass Briquettes (diakses 3 Maret 2010)*. Dipetik Maret 3, 2010, dari [http://www.ewbuk.org/system/files/Joel+Chaney+report\\_0.pdf](http://www.ewbuk.org/system/files/Joel+Chaney+report_0.pdf)
- Chigier, N. (1981). *Energy, Combustion, and Environment*. United States: Mc Graw Hill, Inc.
- Chin, O. (2000). Characteristics of some biomass briquettes prepared under modest die pressures. *Biomass and Energy Vol.18* , 223-228.
- Devnarain, P. (2002). Production of Activated Carbon from Suth African Sugarcane Bagasse. *African Sugar Technology Vol.76* , 477-489.

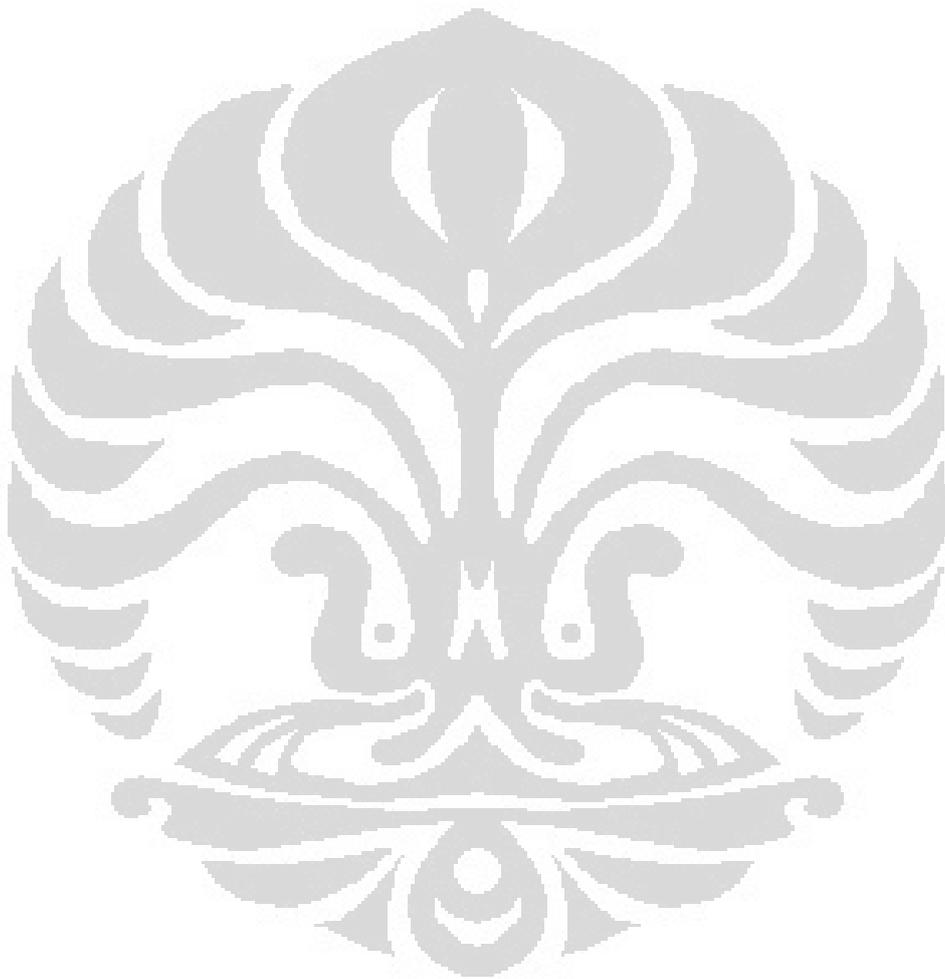
- Finney, K. (2009). Fuel Pelletization with a Binder : Part I – Identification of a Suitable Binder for Spent Mushroom Compost-Coal Tailing Pellets. *Energy and Fuels Vol.23* , 3195-3202.
- Fisafarani, H. (2010). *Identifikasi Karakteristik Sumber Daya Biomasa dan Pengembangan Pelet Biomasa di Indonesia*. Depok: Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik UI.
- Grotkjaer, T., & Johansen, K.-D. (2003). An experimental study of biomass ignition. *Fuel Vol.82* , 825-833.
- Grover, P., & Mishra, S. (1996). BIOMASS BRIQUETTING: TECHNOLOGY AND PRACTICES. Bangkok, Thailand. April 1996. *FAO Regional Wood Energy Development Programme in Asia*. Bangkok: FAO.
- Gupta, M. (2003). Specific heat and thermal conductivity of softwood bark and softwood char particles. *Fuel Vol. 82* , 919-927.
- Indarti. (2001). Regional Seminar on Commercialization of Biomass Technology. *Economic and Social Commission for Asia and The Pacific* (hal. 5-6). Guangzhou: COUNTRY PAPER INDONESIA.
- Isobe, Y. (2005). MEASUREMENT OF INDOOR SULFUR DIOXIDE EMISSION.
- Kaliyan, J. (2010). Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass. *Bioresource Technology Vol.101* , 1082-1090.
- Kim, H. (2002). Binding and Desulfurization Characteristics of Pulp Black Liquor in Biocoal briquettes. *Environ. Sci. Technol. Vol. 36* , 1607-1612.
- Koestoer. (1997). *Studi Tentang Batubara Indonesia: Potensi, Teknologi, dan Prospek Pemanfaatannya*. Depok: Laboratorium Perpindahan Kalor FTUI.
- Lau, C., & Niksa. (1992). The combustion of individual particles of various coal types,. *Combustion and Flame Vol.90* , 45-70.
- Lestari, D. E. (2009). *Perancangan Bahan Bakar Biomassa dengan Heating Value Tinggi dan Emisi Rendah untuk Masyarakat Urban*. Depok: Skripsi S1 Reguler DTK FTUI.
- Lu, G. (2000). Experimental Study on Combustion and Pollutant Control of Biobriquette. *Energy & Fuels Vol.14* , 1133-1138.

- Mahvi, E. M. (2004). Potential of Rice Husk and Rice Husk Ash for Phenol Removal in Aqueous Systems. *American Journal of Applied Sciences Vol. 72* , 321-326.
- Makino, A. (1992). Drag coefficient of a slowly moving carbon particle undergoing combustion. *Combustion Science and Technology Vol. 81* , 169-192.
- Miguel, J. (2000). *Technology to produce high energy biomass briquettes*. Dipetik Maret 3, 2010, dari <http://www.techtp.com/Technologybriquettes.pdf>
- N.E., A. (2001). Effect of Different Binders on The Combustion Properties of Sub bituminuouse. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Vol. 65* , 787-795.
- Purwanto, W., Nugroho, Y., & Supramono, D. (2006). *Indonesia Energy Outlook And Statistics* . Jakarta: Pengkajian Energi UI.
- RIPEBAT. (1997). *Master plan of new and renewable energy Report*. Jakarta: Directorate of Electricity and Energy Utilization, Ministry of Energy and Mineral Resources of Indonesia.
- Robert, K. F. (2009). Pretreatment for energy use of rice straw: A review. *African Journal of Agricultural Research Vol. 4* , 1560-1565.
- Samuelson, R. (2006). Comparison of different methods for determination of moisture content in biomass. *Biomass dan Bionergy Vol. 30* , 929-934.
- Scott, S. (2007). The devolatilisation of particles of a complex fuel (dried sewage sludge) in a fluidised bed. *Chemical Engineering Science Vol.62* , 548-598.
- Senneca, O. (2007). Kinetics of pyrolysis, combustion and gasification of three biomass fuels. *Fuel Processing Technology Vol.88* , 87-97.
- Singh, R. (2009). Biobriquettes-an Alternative Fuel for Sustainable Development. *Nepal Journal of Science and Technology Vol. 10* , 121-127.
- Slifka, A. (1998). Thermal Conductivity of Magnesium Oxide from Absolute Steady State Measurements. *National Institute of Standart Technology Vol. 103* , 357-363.
- Smoot, L. (1991). *Fossil Fuel Combustion: A Source Book*. Wiley-Interscience.
- Subroto. (2006). Karakteristik Pembakaran Biobriket. *Media Mesin Vol. 7* , 47-54.
- Suparin, C. (2007). Development of Fuel Briquettes from Biomass-Sub bituminuouse Blends. *Chiang Mai J. Sci Vol.35* , 43-50.

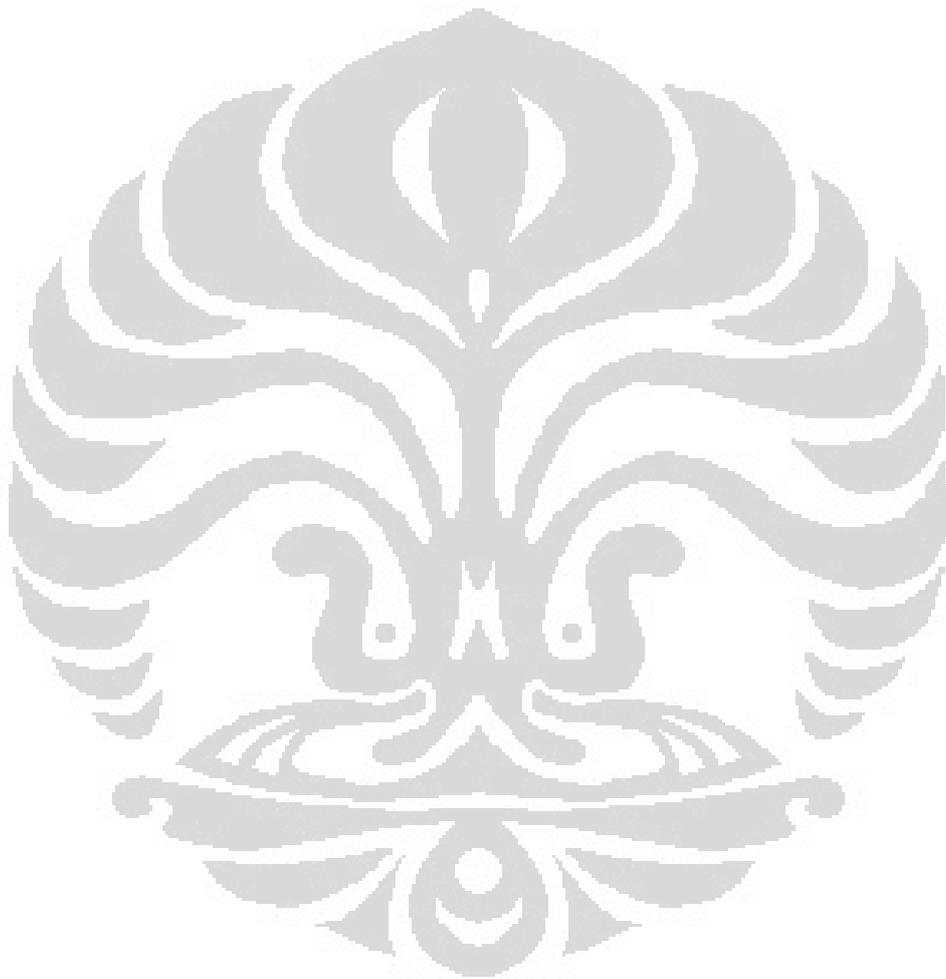
- Supramono, D. (2008). Penyingkatan Waktu Penyalaan Kompor Briket Batubara. *Jurnal Energi* , 1-10.
- Suprpto, M. (2005). *Innovative Financing to Promote Bio Coal Briquette as An Alternative Fuel in Indonesia*. Bonn.
- Thurgood, J., & Smoot, L. (1979). *Pulverised Coal Combustion and Gasification*. New york: Plenum.
- Vassilev, S. V. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. *Fuels Vol.89* , 913-933.
- Walker, P., Rusinko, F., & Austin, L. (1959). Gas Reaction of Carbon. *Advances in Catalysis Vol. 11* , 133.
- Watanabe, I. (1996). Studies Integrated Control Techniques for Precursors of Acid Precipitation in South-Eastern Region in China.
- Wilaipon, P. (2008). Density Equation of Bio-Coal Briquettes. *American Journal of Applied Sciences Vol. 4* , 995-998.
- Williams, A., & Pourkashanian, M. (2000). *Combustion and Gasification of Coal*. United Kingdom: Department of Fuel and Energy.
- Yamada, K. (2008). Abatement of indoor air pollution achieved with coal-biomass household. *Atmospheric Environment Vol. 42* , 7924-7930.
- Yilgin, M., & Pehlivan, D. (2009). Volatiles and Char Combustion Rates of demineralised lignite and wood blends. *Applied Energy Vol.86* , 1179-1186.
- Zhou, S. (2007). Prospect of briquetting biomass fuel by forest residues in Tibet. *Korean J. Chem. Eng Vol.24* , 170-174.

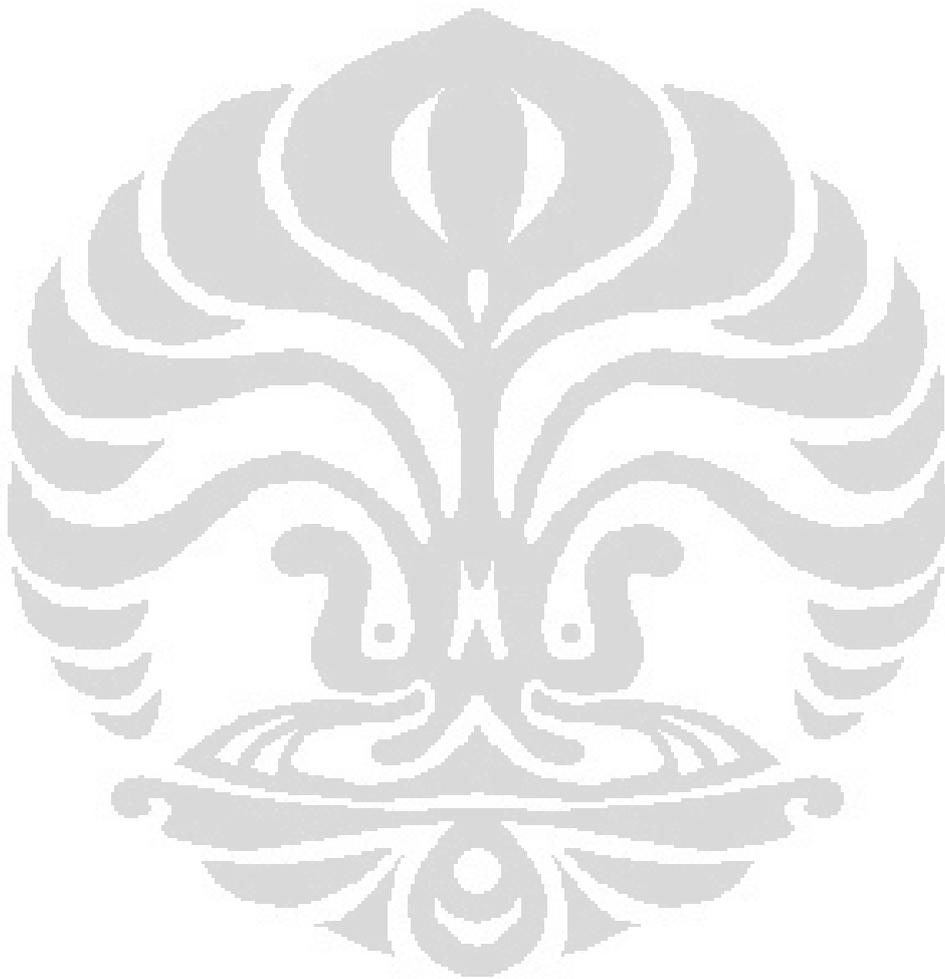
LAMPIRAN

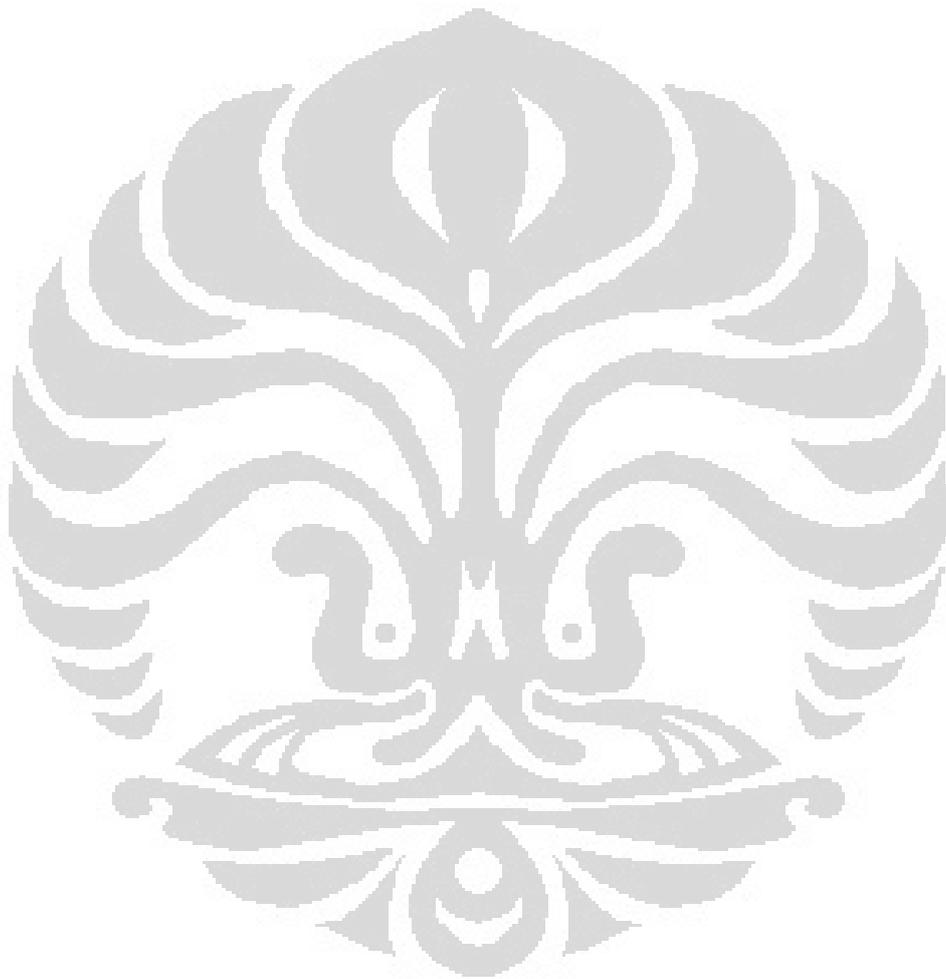


**LAMPIRAN A ANALISIS PROKSIMAT DAN KALORI**

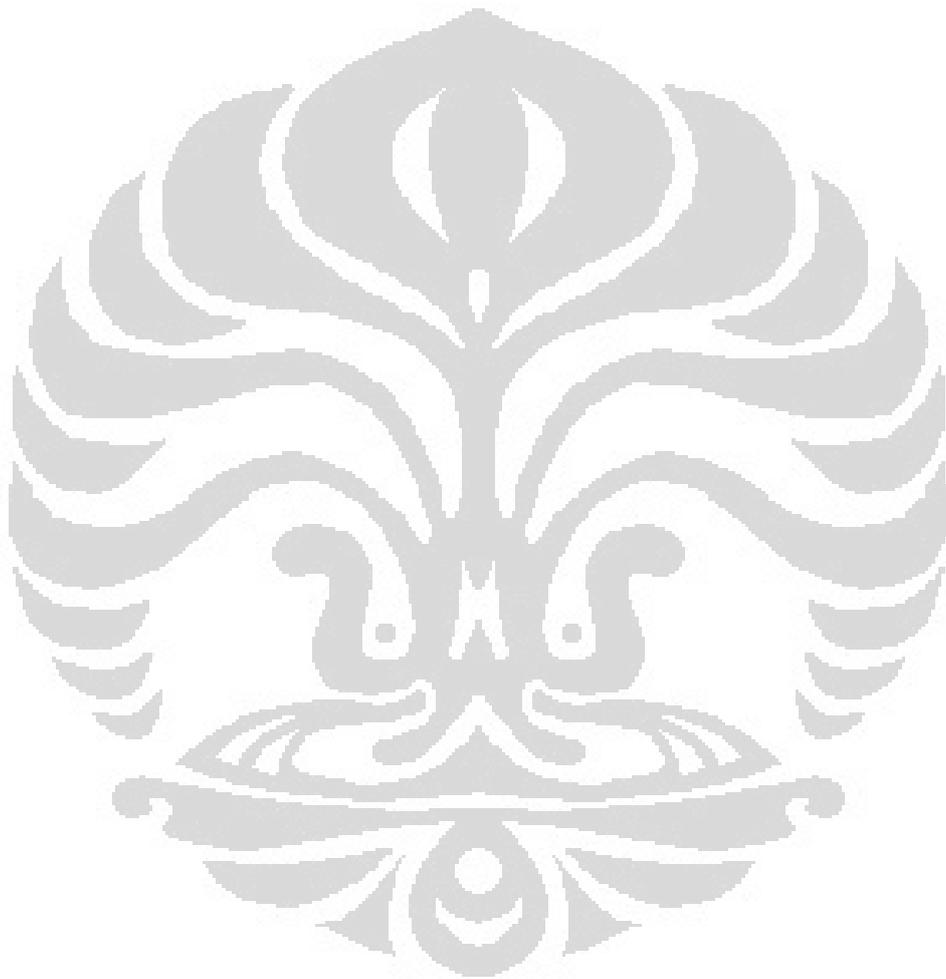
**LAMPIRAN B PENGERINGAN BIOMASSA**



**LAMPIRAN C PROFIL UJI PEMBAKARAN**

**LAMPIRAN D PROFIL EMISI CO HASIL PEMBAKARAN**

**LAMPIRAN E DATA REKAM WAKTU DAN TEMPERATUR  
PEMBAKARAN**



**LAMPIRAN F PERHITUNGAN AIR FUEL RATIO**