



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENGGUNAAN BRIKET BIO-BATUBARA,  
BRIKET BIOMASSA, DAN PELLET BIOMASSA SEBAGAI  
PROMOTOR TERHADAP WAKTU NYALA PADA KOMPOR  
BRIKET BATUBARA**

**SKRIPSI**

**MOHAMMAD ERS HARRY YUNASH TANTO  
0706269911**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENGGUNAAN BRIKET BIO-BATUBARA  
SUBBITUMINOUS, BRIKET BIOMASSA DAN PELLET  
BIOMASSA SEBAGAI PROMOTOR TERHADAP WAKTU  
NYALA PADA KOMPOR BRIKET BATUBARA**

**SKRIPSI**

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

**MOHAMMAD ERS HARRY YUNASH TANTO  
0706269911**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JANUARI 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 : Mohammad Ers Harry Yunash**

**Tanto**

**NPM : 0706269911**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 6 Januari 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Mohammad Ers Harry Yunash Tanto  
NPM : 0706269911  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan Briket Bio-Batubara, Briket Biomassa, dan Pellet Biomassa Sebagai Promotor Terhadap Waktu Nyala pada Kompor Briket Batubara

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 : Ir. Kamarza Mulia M.Sc., Ph.D ( )  
Penguji : Ir. Praswasti PDK Wulan M.T. ( )  
Penguji : Dr. Ir. Sukirno M.Eng. ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 6 Januari 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya 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 Adikku) atas dukungan dan doanya.
5. Teman terbaik, Nalindra Tutuko, yang selalu memberikan dukungan dan semangatnya di kala senang ataupun susah.
6. Teman satu penelitian, Novi, yang selalu menanggung beban dan keluh kesah bersama selama melakukan penelitian di lab.
7. Teman satu bimbingan, Dhinda Prinita Sari, yang selalu memberikan dukungan, baik itu materi maupun doa.
8. Teman-teman Teknik Kimia UI 2007 atas dorongan semangat dan bantuan informasinya.
9. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah ikhlas membantu penulis selama penyusunan seminar ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 30 Desember 2010

Penulis

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

---

---

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

Nama : Mohamad Ers Harry Yunash Tanto  
NPM : 0706269911  
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 Penggunaan Briket Bio-Batubara, Briket Biomassa, dan Pellet Biomassa Sebagai Promotor Terhadap Waktu Nyala pada Kompor Briket Batubara**

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 : 30 Desember 2010

Yang menyatakan

(Mohammad Ers Harry Yunash Tanto)

## ABSTRAK

Nama : Mohammad Ers Harry Yunash Tanto  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Pengaruh Penggunaan Briket Bio-Batubara, Briket Biomassa, dan Pellet Biomassa Sebagai Promotor Terhadap Waktu Nyala pada Kompor Briket Batubara

Batubara masih menjadi primadona sebagai sumber energi alternatif selain minyak bumi. Hal ini disebabkan batubara tidak mahal dan mudah didapatkan, khususnya di Indonesia. Saat ini telah mulai dikembangkan kompor briket batubara yang diharapkan dapat digunakan untuk keperluan rumah tangga. Namun, masih ditemukan masalah dalam kompor briket batubara, di antaranya waktu nyala yang lama. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi waktu penyalan dari briket pemasakan pada kompor dengan melibatkan komponen biomassa pada promotor. Hal ini dilakukan karena biomassa memiliki kandungan *volatile matter* yang lebih tinggi dan porositas yang lebih besar dibanding batubara. Pada penelitian ini dilakukan beberapa variasi, yaitu variasi bahan pada briket promotor (batubara, batubara-kayu karet, batubara-serabut kelapa), komposisi biomassa pada briket promotor (0%; 50%; 100%), dan bentuk promotor (briket dan pellet). Hasil penelitian menunjukkan bahwa briket promotor batubara yang dicampur dengan komponen biomassa kayu karet memerlukan waktu penyalan lebih cepat, yaitu sebesar 6,33 menit dibanding waktu nyala batubara, selama 7 menit. Semakin banyak kandungan kayu karet pada briket promotor, semakin cepat waktu penyalan yang dibutuhkan. Dengan briket berbahan 100% kayu karet, waktu penyalan dapat dikurangi dari 7 menit menjadi 3,67 menit. Selain itu, pellet biomassa merupakan promotor yang paling cepat waktu penyalannya, yaitu selama 1,67 menit, daripada semua jenis promotor.

**Keywords:** briket batubara, biomassa, promotor, waktu nyala, pellet, *volatile matter*

## ABSTRACT

Name : Mohammad Ers Harry Yunash Tanto  
Study Program : Chemical Engineering  
Title : The Effect of Bio-Coal Briquette, Biomass Briquette, and Biomass Pellet Utilization as Promoter on Ignition Time of Coal Briquette Stove

Coal still becomes as one of considered alternative energy sources besides crude oil. It is due to the low economical value and high availability of coal, especially in Indonesia. Recently, coal briquette stove has been developed that hopefully can be used for household needs. However, there are problems found in utilizing the coal briquette stove, which are long ignition time. The purpose of this research is to reduce the ignition time required by cooking briquette in the stove by involving biomass component in promoter. It is because it refers to volatile matter and porosity in a coal. In this research, there are some variations conducted, which are the variation of raw material promoter briquette (coal; coal-rubber wood; coal-coconut fiber); the composition of biomass in promoter briquette (0%; 50%, 100%), and the variation of promoter type (briquette and pellet). The research shows that rubber wood briquette needs faster ignition time for about 6.33 minutes than that of coal, which are 7 minutes. Higher content of rubber wood in promoter briquette could reduce the ignition time up to 3.67 minutes. Besides, pellet is found as promoter that requires fastest ignition time among all promoters, which is 1.67 minutes.

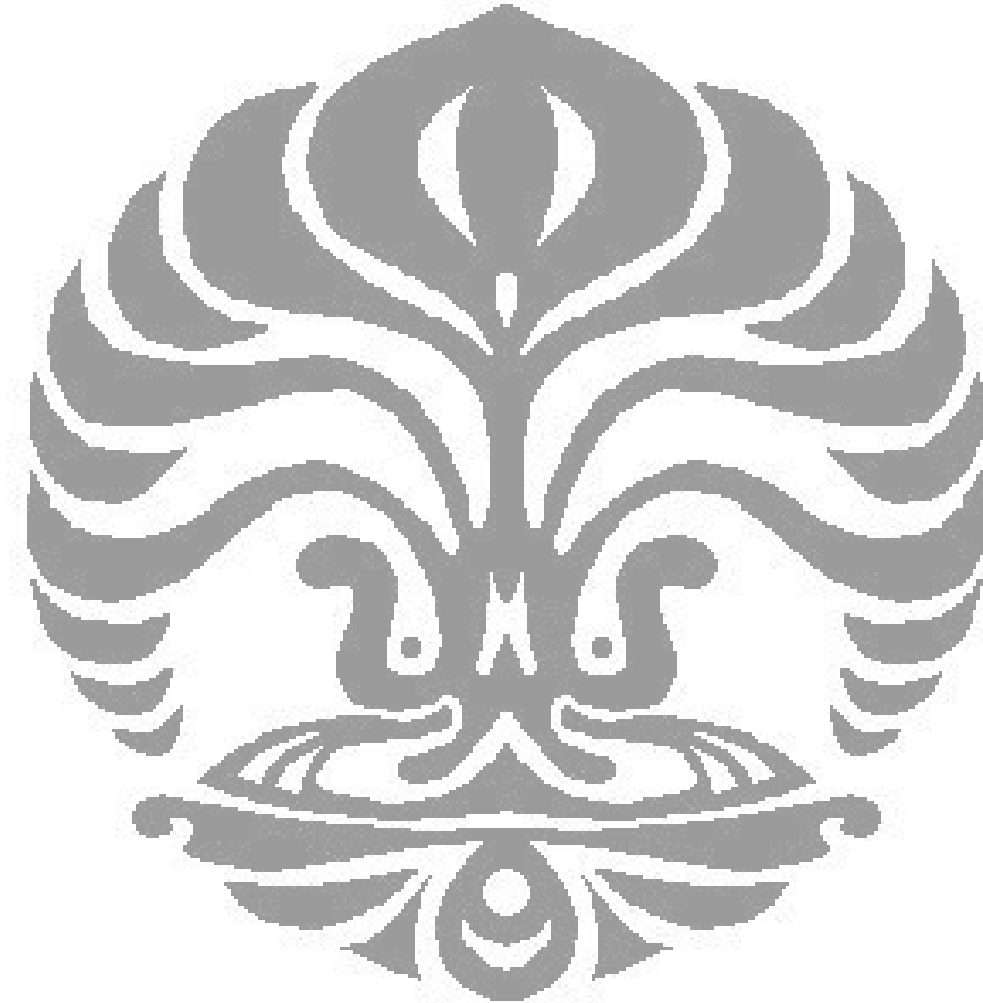
**Keywords:** coal briquette, biomass, promoter, ignition time, pellet, *volatile matter*



## DAFTAR ISI

|   |           |
|---|-----------|
| HALAMAN JUDUL.....  | i         |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....                                       | ii        |
| HALAMAN PENGESAHAN.....   | iii       |
| KATA PENGANTAR .....  | iv        |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....                               | v         |
| TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....                                 | v         |
| ABSTRAK.....  | vi        |
| ABSTRACT .....  | vii       |
| DAFTAR ISI.....   | viii      |
| DAFTAR GAMBAR.....  | x         |
| DAFTAR TABEL.....   | xiii      |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1 Latar Belakang .....  | 1         |
| 1.2 Perumusan Masalah.....  | 5         |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....  | 5         |
| 1.4 Batasan Masalah.....  | 6         |
| 1.5 Sistematika Penulisan .....   | 6         |
| <b>BAB 2 LANDASAN TEORI.....</b>  | <b>8</b>  |
| 2.1 Karakteristik Batubara.....   | 8         |
| 2.2 Briket Batubara.....  | 9         |
| 2.3 Biomassa dan Pellet Biomassa.....                                       | 11        |
| 2.3.1 Sumber Daya Biomassa.....   | 11        |
| 2.3.2 Kandungan Biomasa.....  | 12        |
| 2.3.3 Pellet Biomassa .....   | 16        |
| 2.4 Analisis Kandungan Batubara dan Biomassa.....                           | 18        |
| 2.4.1 Analisis Kelembapan.....  | 19        |
| 2.4.2 Analisis Abu.....   | 20        |
| 2.4.3 Analisis Kandungan Volatil.....                                       | 20        |
| 2.4.4 Analisis Karbon Tetap ( <i>Fixed Carbon</i> ).....                    | 21        |
| 2.4.5 Komparasi Analisis Kandungan Batubara dan Biomassa.....               | 21        |
| 2.5 Mekanisme Pembakaran Bahan Bakar Padat.....                             | 22        |
| 2.6 Penyalaan Bahan Bakar Padat.....  | 25        |
| 2.6.1 Mekanisme Penyalaan .....   | 25        |
| 2.6.2 Faktor Pengontrol Waktu Penyalaan .....                               | 26        |
| <b>BAB 3 METODE PENELITIAN .....</b>  | <b>36</b> |
| 3.1 Metode Penelitian.....  | 36        |
| 3.2 Rancangan Penelitian .....  | 42        |
| 3.2.1 Tahap Penyediaan Alat dan Bahan Penelitian .....                      | 43        |
| 3.2.2 Prosedur Penelitian.....  | 44        |
| <b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                                      | <b>47</b> |
| 4.1 Pemilihan Alat dan Bahan.....   | 47        |
| 4.2 Penyulutan Awal Promotor .....  | 48        |
| 4.2 Pengukuran Waktu Penyalaan.....   | 49        |
| 4.3 Pengaruh Bahan pada Briket Promotor Terhadap <i>Ignition Time</i> ..... | 51        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.4 Pengaruh Komposisi Biomassa pada Briket Promotor Terhadap <i>Ignition Time</i> ..... | 54        |
| 4.4.1 Pengaruh Komposisi Kayu Karet.....   | 54        |
| 4.4.2 Pengaruh Komposisi Serabut Kelapa.....   | 56        |
| 4.5 Pengaruh Penggunaan Pellet Sebagai Promotor Terhadap <i>Ignition Time</i> ...        | 59        |
| <b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>   | <b>62</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....   | 62        |
| 5.2 Saran .....  | 63        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>  | <b>64</b> |



## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 1. 1 Proyeksi penggunaan energi di Indonesia (World Energy Outlook, 2009) .....   | 2  |
| Gambar 1. 2 Target Bauran Energi Indonesia Tahun 2025 (Perpres No.5 Tahun 2006, 2006).....   | 2  |
| Gambar 2. 1 Proporsi kandungan karbon, <i>moisture</i> dan <i>volatile matter</i> pada berbagai jenis batubara. (Bartok dan Sarofin, 1991) .....     | 9  |
| Gambar 2. 2 Diagram Alir Pembuatan Briket (Suprianto, 2005).....   | 10 |
| Gambar 2. 3 Potensi Biomasa di Indonesia (ZREU, 2000).....   | 11 |
| Gambar 2. 4 Komposisi lignin, Hemiselulosa dan Selulosa (Shaw, 2008).....  | 12 |
| Gambar 2. 5 Struktur Selulosa (Shaw, 2008).....  | 13 |
| Gambar 2. 6 Struktur Hemiselulosa (Shaw, 2008).....  | 15 |
| Gambar 2. 7 Struktur lignin (Shaw, 2008).....  | 16 |
| Gambar 2. 8 Bentuk Pelet Biomasa (www.pelheat.com) .....   | 17 |
| Gambar 2. 9 Skema Proses Produksi Pellet Biomassa (www.pelheat.com).....   | 17 |
| Gambar 2. 10 Hubungan Kandungan <i>Fixed Carbon</i> dengan Nilai Kalor Batubara (Chigier, 1981).....   | 21 |
| Gambar 2. 11 Perbandingan Hasil Analisis Proksimat pada Batubara dan Biomassa.....   | 22 |
| Gambar 2. 12 Mekanisme Pembakaran pada Batubara (Smoot, 1991).....   | 25 |
| Gambar 2. 13 Deskripsi penyalan <i>volatile matter</i> pada permukaan material briket .....  | 26 |
| Gambar 2. 14 Hubungan antara Kandungan <i>Volatile Matter</i> Bahan Bakar Suhu <i>Ignition</i> untuk Batubaradan Biomassa (Grotkjær dkk., 2003)..... | 27 |
| Gambar 2. 15 <i>SEM micrograph</i> dari partikel <i>char</i> biomassa serut kayu dengan pembesaran 50 x (Senneca. 2006) .....                        | 28 |
| Gambar 2. 16 Fenomena Timbulnya <i>Eddy</i> karena turbulensi yang memudahkan difusi oksigen ke permukaan <i>char</i> .....                          | 29 |

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Gambar 2. 17 | Fluks massa gas dan tar dari permukaan partikel (kurva putus-putus) dan fraksi energi yang dikeluarkan dari gas tar pada <i>flame</i> (Lau and Niksa (1992.....   | 30 |
| Gambar 2. 18 | Mekanisme untuk <i>ignition</i> pada briket setelah inisiasi. Flux <i>volatile</i> yang terlalu tinggi dapat menyebabkan <i>diffusion flame</i> terbentuk di <i>boundary layer</i> yang jauh dari permukaan padatnya (Grotkjær dkk., 2003)..... | 31 |
| Gambar 2. 19 | <i>Scanning Electron Micrograph</i> dari <i>Bagasse</i> Mentah yang Menunjukkan Banyak Pori Besar pada Permukaan (Devnarain dkk., 2002) .....   | 33 |
| Gambar 2. 20 | Perbandingan Aliran Udara yang Melewati Permukaan Briket dengan dan tanpa <i>Dimples</i> .....  | 35 |
| Gambar 2. 21 | Perbandingan <i>Wake</i> pada Permukaan Tanpa dan dengan <i>Dimples</i> (Lau, 1992).....  | 35 |
| Gambar 3. 1  | Cetakan briket promotor.....  | 37 |
| Gambar 3. 2  | Alat penekan hidrolik.....  | 38 |
| Gambar 3. 3  | Briket promotor bola dengan <i>dimples</i> dengan berbagai bahan (dari atas-bawah kiri-kanan): batubara; batubara-kayu karet; batubara-serabut kelapa; kayu karet; serabut kelapa .....   | 38 |
| Gambar 3. 4  | Pellet Kayu Karet (kiri) dan Pellet Serabut Kelapa (kanan).....   | 39 |
| Gambar 3. 5  | Kompur briket batubara DTK UI dengan <i>blower</i> .....  | 40 |
| Gambar 3. 6  | Susunan Briket pada Kompur.....   | 40 |
| Gambar 3. 7  | Contoh Grafik Profil Temperatur vs Waktu untuk Mengamati .....  | 42 |
| Gambar 3. 8  | Diagram Alir Penelitian.....  | 43 |
| Gambar 4. 1  | Profil Temperatur Briket Pemasakan pada Semua Channel pada Kompur dengan Penggunaan Briket Batubara sebagai Promotor ...  | 50 |
| Gambar 4. 2  | Komparasi Profil Temperatur Briket Pemasakan Terhadap Waktu untuk Variasi Bahan Briket Promotor.....  | 52 |
| Gambar 4. 3  | Komparasi Profil Temperatur Briket Pemasakan Terhadap Waktu untuk Variasi Komposisi Kayu Pohon Karet pada Briket Promotor   | 54 |
| Gambar 4. 4  | Pengaruh Persentase Kayu Karet Terhadap Waktu Nyala.....  | 55 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 4. 5 Pengaruh Kandungan <i>Volatile Matter</i> pada Kayu Karet terhadap Waktu Nyala .....   | 56 |
| Gambar 4. 6 Komparasi Profil Temperatur Briket Pemasakan Terhadap Waktu untuk Variasi Komposisi Kayu Serabut Kelapa pada Briket Promotor ..... | 57 |
| Gambar 4. 7 Pengaruh Persentase Serabut Kelapa Terhadap Waktu Nyala.....   | 58 |
| Gambar 4. 8 Pengaruh Kandungan Lignin pada Serabut Kelapa terhadap Waktu Nyala .....   | 58 |
| Gambar 4. 9 Komparasi Profil Temperatur Briket Pemasakan Terhadap Waktu untuk Variasi Bentuk Promotor .....                                    | 59 |



## DAFTAR TABEL

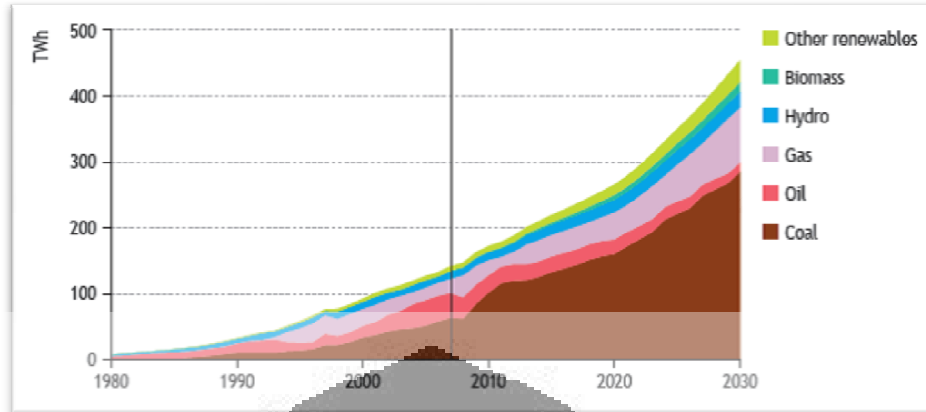
|  |    |
|--|----|
| Tabel 2. 1 Potensi Energi dari Limbah Biomasa di Indonesia.....  | 12 |
| Tabel 2. 2 Komposisi Biopolimer Biomasa (www.eubia.org).....   | 13 |
| Tabel 2. 3 Perbedaan Briket dan Pellet.....  | 18 |
| Tabel 2. 4 Hubungan antara analisis <i>proximate</i> dengan analisis <i>ultimate</i> .....   | 19 |
| Tabel 2. 5 Data Sifat Struktural dari batubara ( <i>Tinto sub-bituminous coal</i> ),<br>biomassa ( <i>Quercus acutissima sawdust</i> ), dan campuran (dengan rasio<br>0.5) dalam bentuk mentah dan <i>char</i> .....     | 29 |
| Tabel 2. 6 Densitas Berbagai Bahan Bakar Padat.....  | 32 |
| Tabel 2. 7 Data besar pori dari batubara ( <i>Indonesia Tinto sub-bituminous coal</i> ),<br>biomassa ( <i>Quercus acutissima sawdust</i> ), dan campuran (dengan rasio<br>0.5) dalam bentuk mentah dan <i>char</i> ..... | 34 |
| Tabel 3.1 Analisis Proksimat Bahan yang Digunakan pada Penelitian.....   | 37 |
| Tabel 4. 1 Perbandingan <i>Bulk Density</i> Briket dan Pellet.....   | 49 |
| Tabel 4.2 <i>Bulk Density</i> Briket Berbagai Bahan.....   | 53 |
| Tabel 4.3 Waktu Nyala Berdasarkan Variasi Komposisi Kayu Karet pada Briket<br>Promotor.....  | 55 |
| Tabel 4. 4 Densitas Briket dengan Berbagai Komposisi Kayu Karet.....   | 56 |
| Tabel 4. 5 Waktu Nyala Berdasarkan Variasi Komposisi Serabut Kelapa pada<br>Briket Promotor.....   | 57 |
| Tabel 4. 6 Waktu Nyala Berdasarkan Variasi Bentuk dan Bahan Promotor.....  | 60 |

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

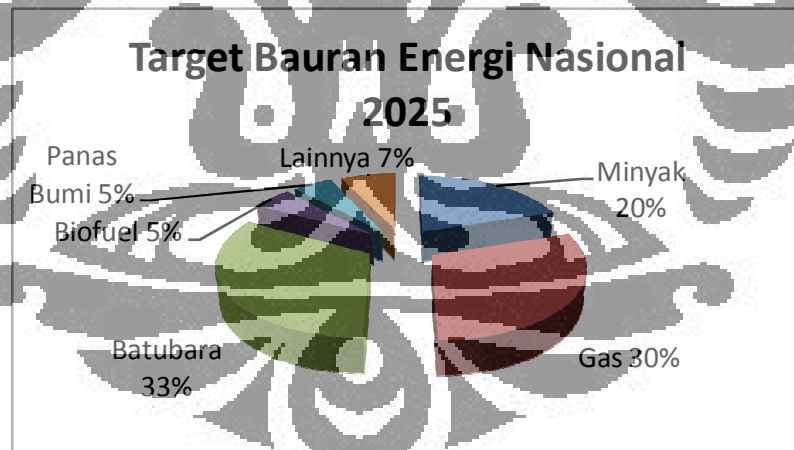
Salah satu kunci untuk mengatasi krisis energi yang sering melanda Indonesia adalah dengan mengembangkan batubara sebagai salah satu sumber energi alternatif. Hal ini wajar saja mengingat saat ini ketersediaan minyak bumi, sebagai salah satu sumber energi konvensional, terus menipis. Menurut data Direktorat Minyak dan Gas Bumi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, per 1 Januari 2005, “cadangan terbukti” dan “cadangan potensial” minyak bumi Nasional berjumlah sekitar 8.826,95 MMSTB dengan *reserve to production ratio* sekitar 15 tahun. Artinya, jika tidak ditemukan lagi sumber daya atau cadangan minyak bumi yang baru dan/atau konsumsi bahan bakar minyak (BBM) di dalam negeri tidak dapat ditekan, maka ketersediaan minyak bumi di Indonesia hanya tinggal 15 tahun (Lobo, 2006).

Selain itu, sebenarnya persediaan batubara Indonesia sangat melimpah. Berdasarkan data, Indonesia memiliki sumber daya batubara sebesar 64,78 miliar ton (Bambang, 2006). Dari jumlah itu, 60 persen di antaranya masih termasuk batubara muda dengan kualitas rendah sehingga tidak laku di pasar global, sehingga dapat diolah dan dipergunakan terutama untuk kebutuhan dalam negeri (Hoetman, 2005). Penggunaan batubara pun masih sangat tinggi di Indonesia. Berdasarkan periode *Outlook*, batubara masih mendominasi sebagai sumber pembangkit listrik untuk ke depannya. Hal itu dapat dilihat pada Gambar 1.1, peningkatan penggunaan batubara akan terjadi dari 45% pada tahun 2007 menjadi 63% pada tahun 2030.



Gambar 1.1 Proyeksi penggunaan energi di Indonesia (World Energy Outlook, 2009)

Selain itu, dalam kebijakan bauran energi nasional 2025, pemakaian batubara diharapkan mencapai 33% (Gambar 1.2). Pemerintah telah mengeluarkan peraturan yang digunakan sebagai landasan di dalam kebijakan perusahaan batubara, yaitu Perpres No.5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional.



Gambar 1.2 Target Bauran Energi Indonesia Tahun 2025 (Perpres No.5 Tahun 2006, 2006)

Karena itu, sudah sepatutnya batubara harus terus dikembangkan dengan teknologi yang mungkin dikembangkan secara massal dalam waktu singkat, namun tetap dapat menghasilkan energi yang tinggi. Salah satu metode pengolahan batubara untuk mencapai tujuan tersebut adalah dengan aplikasi



pengepakan batubara dengan kepadatan yang tinggi, atau disebut juga briket batubara.

Briket batubara merupakan bahan bakar padat dengan bentuk dan ukuran tertentu yang tersusun dari butiran batubara halus yang telah mengalami proses pemampatan dengan daya tekan tertentu agar bahan bakar tersebut lebih mudah ditangani, mudah diangkut, mudah dibakar, dan menghasilkan nilai tambah dalam pemanfaatannya (Lobo, 2006). Karena kemudahan-kemudahan tersebut, briket batubara cukup potensial untuk digunakan mulai dari keperluan industri hingga keperluan rumah tangga. Untuk keperluan industri, briket batubara sudah banyak digunakan sebagai sumber pembakaran dan pemanasan bata/genteng, keramik, anak ayam; untuk pembakaran keramik, kapur; pemanas boiler; dan lain-lain.

Di Indonesia, dari data tahun 1998 – 2005, perkembangan briket batubara berfluktuatif, namun cenderung ada peningkatan. Konsumsi terendah sebesar 23.506 ton pada tahun 2004 dan tertinggi pada mencapai 38.302 ton tahun 1999. Pada sisi lain potensi konsumsi BBM yang dapat disubstitusi briket batubara untuk IKM dan rumahtangga sebesar 12,32 juta ton, dan jumlah optimisnya sebesar 1,3 juta ton per tahun atau ekuivalen dengan 936.000 kilo liter minyak tanah per tahun. Kondisi pasar akan menentukan bagaimana prospek perbriketan batubara di Indonesia sebagai bahan alternative substitusi minyak tanah khususnya, bersama-masa dengan energi alternative lainnya seperti bahan bakar nabati (*biofuel*) dan LPG (Tim Kajian Batubara Nasional, 2006). Selain itu, pengembangan briket batubara sebagai bahan bakar pengganti minyak tanah menjadi salah satu bentuk implementasi pengembangan batubara dalam rencana energi nasional tahun 2025 (Purwanto dkk, 2006).

Namun sayangnya, dalam pengembangannya, masih banyak masalah yang ditimbulkan briket batubara sehingga menghambat juga komersialisasi kompor briket batubara untuk skala rumah tangga. Salah satu masalah tersebut adalah dalam segi penyalannya, di mana penggunaan briket batubara tidak semudah dan senyaman kompor minyak tanah, apalagi kompor gas. Hal ini disebabkan, untuk kompor briket batubara, memerlukan waktu penyalaan yang cukup lama. Kompor yang dikembangkan oleh Balai Besar Teknologi, yang menggunakan

briket promotor dengan dicelupkan ke dalam minyak tanah masih memerlukan waktu sekitar 10-15 menit untuk menyulutnya. Setelah menyala pun besar api agak sulit diatur (Balai Besar Teknologi, 2004).

Permasalahan penyalan briket ini dapat diatasi salah satunya dengan menggunakan briket promotor pada bagian bawah kompor briket. Promotor ini berfungsi sebagai pemicu penyalan atau penyulutan awal dari briket pemasakan. Api yang dihasilkan dari penyulutan promotor ini relatif berlangsung singkat. Dengan menggunakan prinsip *bluff-body* dalam ilmu mekanika fluida, perpindahan panas dari nyala api di bagian bawah kompor ke briket di bagian atas kompor akan berlangsung secara turbulen dan stabil (Davies dan Beer, 1971).

Hingga saat ini, promotor yang digunakan adalah promotor yang 100% berbahan batubara. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ratna Suminar (2008), dinyatakan bahwa briket promotor berbentuk bola dengan *dimples* terbukti dapat mengurangi waktu penyalan hingga sekitar 8.7 menit. Hal tersebut diakibatkan karena bentuk bola dengan *dimples* memiliki resirkulasi udara yang optimal.

Untuk dapat terus dikembangkan, maka penelitian ini diarahkan untuk mendapatkan waktu penyalan yang lebih singkat lagi, yaitu dengan memodifikasi bahan pembentuk briket promotor yang sudah ada sehingga dapat memaksimalkan resirkulasi udara yang terjadi. Cara yang dititikberatkan pada penelitian ini adalah dengan mencampurkan komponen biomassa pada briket promotor, atau dikenal juga dengan nama briket bio-batubara. Penambahan komponen biomassa ini dapat mempercepat pembakaran karena sifat dari biomassa yang mengandung banyak *volatile matter* dan memiliki banyak pori-pori (Wilaipon, 2008).

Sebelumnya, Lu dan koleganya (1995-1998) telah mempelajari bagaimana karakteristik pembakaran pada briket bio-batubara pada skala laboratorium dengan pemanas *furnace* listrik. Dari penelitiannya dinyatakan bahwa proses pembakaran briket bio-batubara terdiri dari dua tahap, yaitu tahap pembakaran bahan-bahan volatil (VCM), diikuti dengan tahap *char combustion*. Penelitian selanjutnya mengenai briket bio-batubara dilanjutkan oleh Lu dan koleganya

kembali (Lu dkk, 2000) yang membuktikan bahwa briket biobatubara memiliki waktu penyalaan yang rendah, efisiensi pembakaran yang tinggi, efisiensi kalor yang tinggi, dan emisi partikulat yang lebih rendah dibanding briket batubara biasa. Selain briket, digunakan juga pellet sebagai pembanding kinerja briket sebagai promotor pada kompor briket batubara.

Oleh karena itu, penelitian ini nantinya akan menitikberatkan pada pengaruh biomassa pada briket promotor serta pellet biomassa dalam kompor briket batubara terhadap waktu penyalannya, sehingga diharapkan dari penambahan komponen biomassa tersebut dapat diperoleh waktu penyalaan kompor briket batubara yang lebih singkat daripada kompor briket batubara yang sudah ada.

## 1.2 Perumusan Masalah

Waktu penyalaan kompor briket batubara yang sudah ada masih cukup lama, yaitu sekitar 10-15 menit (BPPT, 2005). Akibatnya, prosedur dan waktu penyalaan kompor briket batubara dinilai kurang praktis dibanding kompor kerosin atau LPG. Maka dari itu, dalam penelitian ini akan digunakan briket promotor dalam kompor berbahan campuran batubara dan biomassa, serta pellet biomassa promotor untuk mengurangi waktu penyalaan pada kompor briket batubara. Pengaruh *moisture content* pada batubara terhadap waktu penyalaan juga diperhatikan pada penelitian ini. Sehingga masalah-masalah yang ada pada penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Jenis biomassa apa yang dapat menjadi campuran pada briket promotor yang memerlukan waktu penyalaan paling cepat?
2. Bagaimana pengaruh komposisi biomassa pada briket promotor?
3. Bagaimana perbandingan kinerja pellet biomassa dan briket biomassa-batubara subbituminous?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan jenis biomassa yang dicampurkan dengan batubara pada briket promotor dalam kompor

terhadap waktu penyalaan, sehingga dapat menghasilkan waktu penyalaan kompor yang lebih singkat dari kompor yang sudah ada.

2. Untuk mengetahui pengaruh komposisi biomassa pada briket promotor terhadap waktu penyalaan.
3. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan jenis promotor, briket atau pellet, dalam kompor terhadap waktu penyalaan.
4. Untuk mengetahui perbandingan waktu nyala briket biomassa-batubara subbituminous dengan waktu nyala pellet biomassa sebagai promotor pada kompor briket batubara

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Jenis rancangan kompor yang digunakan dalam penelitian ini adalah kompor briket yang menggunakan dua bagian, yaitu briket promotor pada bagian tengah kompor dan juga briket untuk pemasakan yang terdapat pada kompor bagian tengah. Kompor yang digunakan juga dilengkapi dengan *blower*.
2. Briket pemasakan batubara yang akan digunakan adalah briket jenis subbituminous.
3. Optimasi dilakukan dengan cara mencampurkan komponen biomassa dan batubara pada briket promotor; penggunaan pellet biomassa sebagai promotor.
4. Luas penampang untuk semua variasi promotor yang dimasukkan ke dalam kompor besarnya sama.
5. Variabel yang diukur: waktu penyalaan
6. Variabel yang divariasikan:
  - Jenis biomassa yang dicampurkan pada briket promotor.
  - Jenis biomassa pembentuk pellet biomassa
  - Jenis promotor yang digunakan

#### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam makalah ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Membahas mengenai latar belakang masalah pada kompor briket yang sudah terdapat di pasaran, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

**BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA**

Membahas mengenai latar belakang masalah pada kompor briket yang sudah terdapat di pasaran, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

**BAB 3 : METODE PENELITIAN**

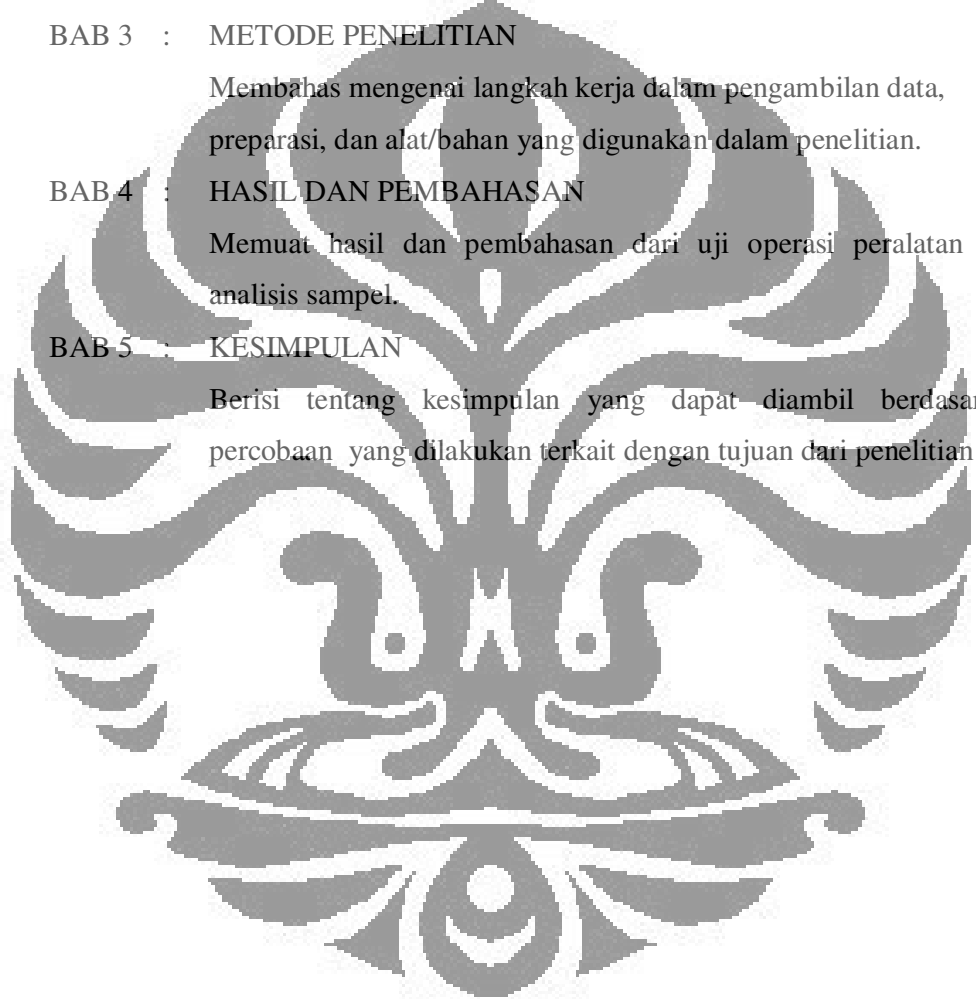
Membahas mengenai langkah kerja dalam pengambilan data, preparasi, dan alat/bahan yang digunakan dalam penelitian.

**BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Memuat hasil dan pembahasan dari uji operasi peralatan dan analisis sampel.

**BAB 5 : KESIMPULAN**

Berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan percobaan yang dilakukan terkait dengan tujuan dari penelitian ini.



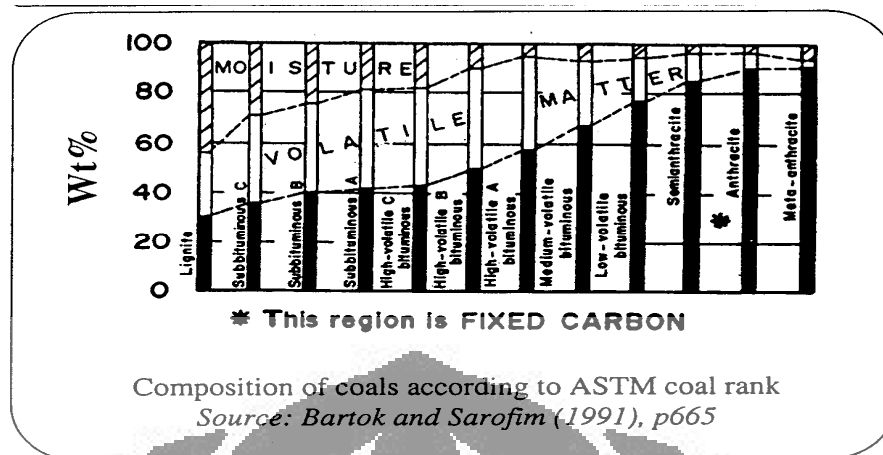
## BAB 2 LANDASAN TEORI

### 2.1 Karakteristik Batubara

Batubara merupakan materi padat karbon bertingkat, berpori, dan mengandung sejumlah air yang berasal dari puing-puing tanaman yang biasanya ditemui di antara sejumlah kecil bahan anorganik di bawah batu sedimen. Secara garis besar batubara terdiri dari komponen-komponen:

- Batubara murni (*pure coal*), yaitu zat-zat organik yang merupakan jaringan karbon dan hidrogen serta sejumlah kecil nitrogen, sulfur, dan oksigen yang terikat secara organik
- Bahan-bahan mineral, terdiri dari zat anorganik yang akan menjadi abu bila batubara dibakar, seperti lempung, batu pasir, dan zat lain seperti sulfur oksida.
- Air (*moisture*), terdiri dari air yang terdapat dalam batubara (*inherent moisture*) serta air yang terdapat pada permukaannya (*free moisture*)

Tingkatan dimana batubara sudah mencapai proses pembentukan (koalifikasi) ini akan ditentukan dari *grade* yang dimiliki. Batubara dapat diklasifikasikan berdasarkan karakteristiknya dengan berbagai parameter, di antaranya yang paling umum adalah berdasarkan usianya. Klasifikasi jenis ini (Chigier, 1981) membagi batubara menjadi beberapa *grade*, yaitu batubara lignit, sub-bituminous, bituminous, semibituminous, dan antrasit. Semakin tinggi *grade* batubara tersebut, semakin lama usianya. Umumnya *grade* batubara yang paling rendah, yaitu lignit, memiliki kandungan karbon tetap (*fixed carbon*) yang paling sedikit dan *volatile matter* yang paling banyak. Gambar 2.1 menunjukkan beberapa contoh komposisi tiap kelas batubara berdasarkan ASTM.



Gambar 2.1 Proporsi kandungan karbon, *moisture* dan *volatile matter* pada berbagai jenis batubara. (Bartok dan Sarofin, 1991)

## 2.2 Briket Batubara

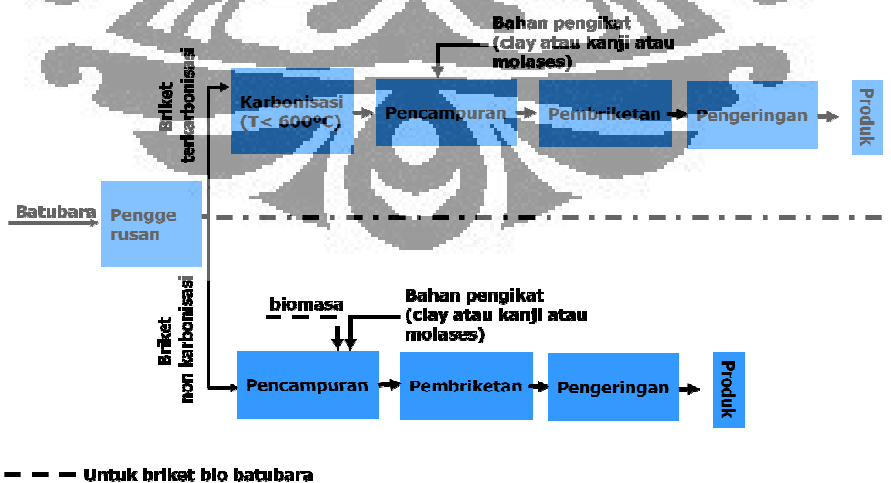
Tujuan utama pembriketan batubara adalah untuk membuat bahan bakar padat serbaguna dari batubara dengan kemasan dan komposisi yang lebih baik, sehingga mudah dan nyaman digunakan jika dibandingkan dengan menggunakan batubara secara langsung. Untuk memperoleh briket batubara yang baik diperlukan batubara yang “baik”, terutama yang memiliki kandungan sulfur dan abu rendah. Bahan imbuhan juga harus dipilih dari kualitas yang baik agar dapat berfungsi optimal sebagai perekat, mempercepat nyala, serta menyerap emisi dan zat-zat berbahaya lainnya. Batubara dan bahan imbuhan (pencampur) ini dihaluskan secara sendiri-sendiri sampai ukuran tertentu, dicampurkan dengan memakai pencampur (*mixer*) mekanis, untuk kemudian “dicetak” (dibriket) ke dalam bentuk kemasan tertentu. Inilah yang namanya briket batubara.

Dari proses sederhana tersebut, terlihat bahwa makin baik bahan baku yang digunakan, makin baik pula kualitas briket batubara yang dihasilkan. Batubara dengan kadar pengotor yang rendah akan menghasilkan emisi yang rendah pula. Sementara bahan imbuhan yang digunakan biasanya berupa kapur (lime) yang dapat mengikat senyawa beracun, biomasa untuk mempercepat/memudahkan proses pembakaran dan menyerap emisi, serta lempung, kanji atau tetes tebu (molase) sebagai zat perekat.

Ada tiga jenis briket batubara yang berbeda-beda komposisinya, yaitu:

1. **Briket batubara non karbonisasi**, campuran berupa batubara mentah dan zat perekat (biasanya lempung). Sangat sederhana dan biasanya berkualitas rendah.
2. **Briket batubara terkarbonisasi**, batubara yang digunakan “dikarbonisasi” (*carbonized*) terlebih dahulu dengan cara membakarnya pada kondisi udara terbatas pada suhu tertentu sehingga sebagian besar zat pengotor, terutama zat terbang (*volatile matter*) hilang. Dengan bahan pengikat yang baik, briket batubara yang dihasilkan akan menjadi sangat baik dan rendah emisinya.
3. **Briket biobatubara**, atau dikenal dengan bio-briket, selain kapur dan zat perekat, ke dalam campuran ditambahkan bio-masa sebagai substansi untuk mengurangi emisi dan mempercepat pembakaran. Biomasa yang biasanya digunakan berasal dari ampas industri agro (seperti bagas tebu, ampas kelapa sawit, sekam padi, dan lain-lain) atau serbuk gergaji. Pembuatan briket biobatubara dapat dilakukan tanpa bahan pengikat namun tekanan pembriketan tinggi ( $3 \text{ ton/cm}^2$ ) seperti yang dilakukan di pilot plant briket biobatubara Palimanan.

Berikut adalah diagram pembuatan briket secara umum untuk ketiga jenis briket.



Gambar 2. 2 Diagram Alir Pembuatan Briket (Suprianto, 2005)

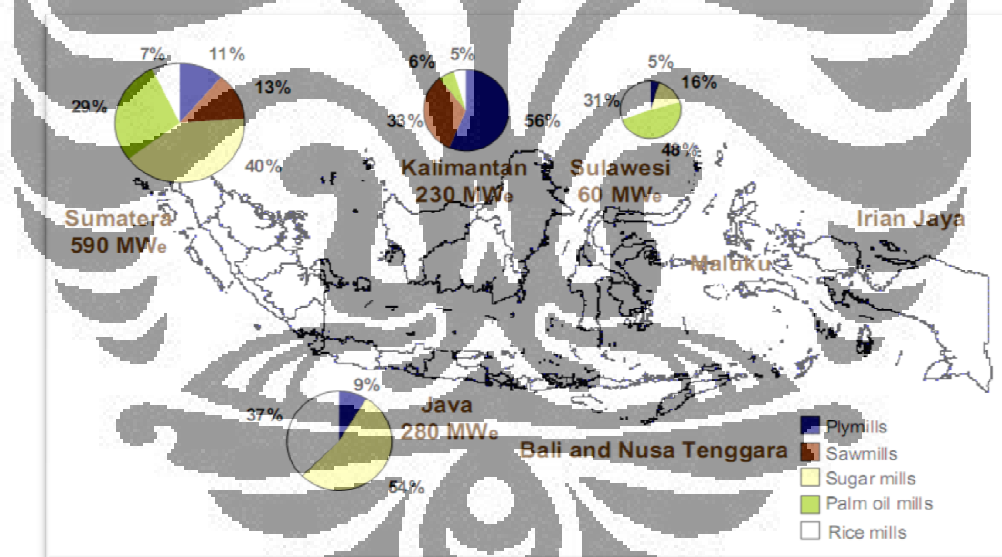


## 2.3 Biomassa dan Pellet Biomassa

### 2.3.1 Sumber Daya Biomassa

Di dalam studi energi berkelanjutan, biomassa didefinisikan sebagai seluruh hal yang berkenaan dengan tanaman yang masih hidup termasuk limbah organik yang berasal dari tanaman, manusia, kehidupan laut, dan hewan. Biomassa merupakan istilah yang digunakan untuk jenis biomassa apapun dalam bentuk padat yang digunakan sebagai bahan bakar, terlebih kayu bakar, arang, kotoran hewan, limbah pertanian, dan limbah padat yang dapat terbiodegradasi.

Sumber daya biomassa di Indonesia sangatlah banyak. Hal ini salah satunya disebabkan Indonesia memiliki iklim tropis dan wilayah yang cukup luas. Sumber daya biomassa yang memiliki potensi yang cukup tinggi di Indonesia antara lain; pohon karet, kelapa, tebu, kelapa sawit, dll.



Gambar 2. 3 Potensi Biomassa di Indonesia (ZREU, 2000)

Pada Gambar 2.3 dapat kita lihat peta persebaran potensi biomassa di Indonesia dengan nilai energi ekivalennya. Dari gambar tersebut, dapat kita lihat potensi biomassa yang tertinggi berada di pulau Sumatera dengan nilai energi ekivalen sebesar 590 MWe. Tabel 2.2 di bawah ini menunjukkan sumber daya biomassa yang terdapat di Indonesia dan jumlahnya.

Tabel 2. 1 Potensi Energi dari Limbah Biomasa di Indonesia

| 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>                             |

Sumber: FAO 1998; Febijanto 2007; Priyanto 2007; ZREU 2000

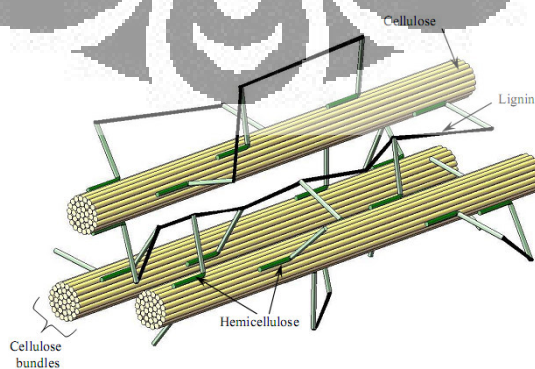
### 2.3.2 Kandungan Biomasa

Biomasa 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  $(C_9H_{10}O_5(CH_3O)_{0.9-1.7})_z$



Gambar 2. 4 Komposisi lignin, Hemiselulosa dan Selulosa (Shaw, 2008)

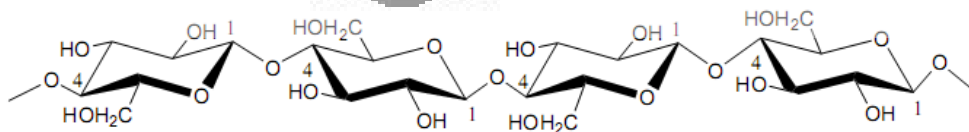
Komposisi senyawa-senyawa pokok di atas bervariasi untuk tiap spesies tanaman. Biasanya, biomasa mengandung 40-60% berat selulosa, 20-40% berat hemiselulosa, dan 10-25% berat lignin pada tiap basis kering. Untuk kasus degradasi termal, ketiga komponen ini yang paling mudah terdegradasi adalah hemiselulosa, kemudian selulosa dan yang paling sulit adalah lignin.

**Tabel 2. 2** Komposisi Biopolimer Biomasa (www.eubia.org)

| Jenis Biomasa              | Selulosa (%wt) | Hemiselulosa (%wt) | Lignin (%wt) |
|----------------------------|----------------|--------------------|--------------|
| Olive Residue              | 23,21          | 35,62              | 34,98        |
| Sekam Padi                 | 24,3           | 27,22              | 12,59        |
| Cron Stalk                 | 34,51          | 24,87              | 14           |
| Bagas                      | 30             | 23                 | 22           |
| Tandan Kosong Kelapa Sawit | 51             | 28                 | 15           |
| Jerami                     | 41,4           | 20,4               | 12,1         |
| Karet                      | 44             | 33,4               | 22,1         |
| Hardwood                   | 43             | 35                 | 22           |
| Softwood                   | 43             | 28                 | 29           |

#### 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. Struktur selulosa dapat dilihat pada Gambar 2.5.



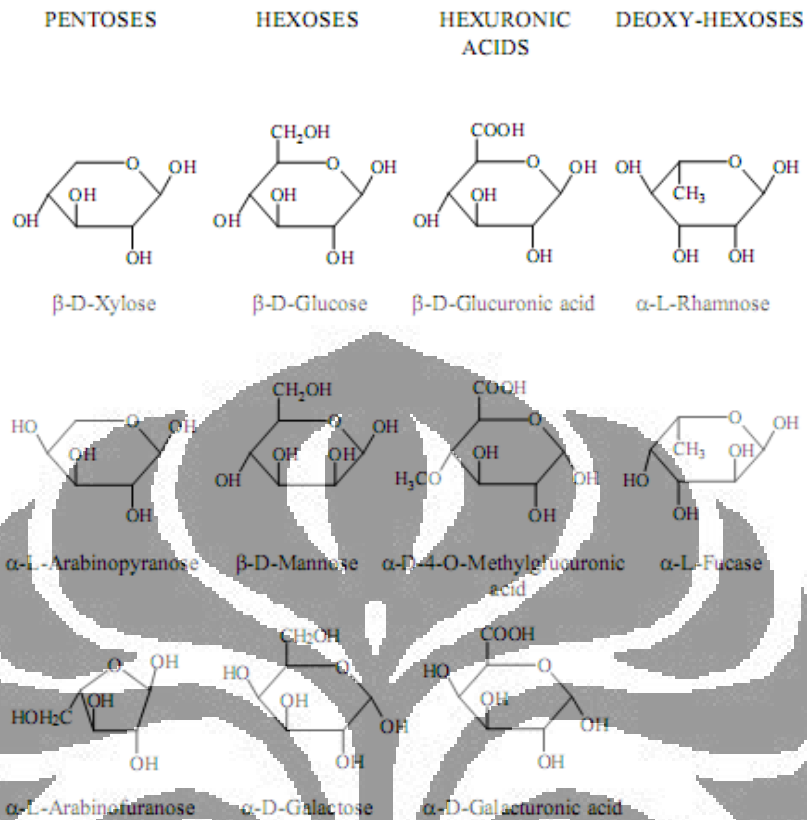
**Gambar 2. 5** Struktur Selulosa (Shaw, 2008)

## 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: xylosa, mannose, glukosa, galaktosa, arabinosa, dan sejumlah kecil rhamnosa, asam glukoroat, asam metal glukoronat, dan asam galaturonat. Xylosa adalah salah satu gula C-5 dan merupakan gula terbanyak kedua di 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 2.6.

## 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 karbihidrat lainnya di dalam biomasa. Hal inilah yang membuat lignin lebih potensial untuk proses oksidasi.

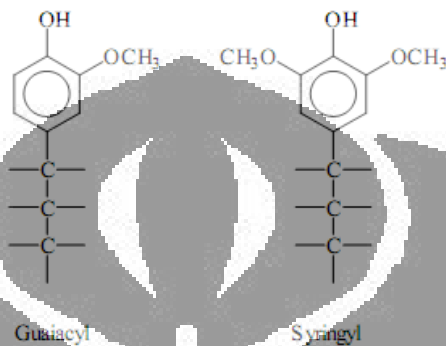


Gambar 2. 6 Struktur Hemiselulosa (Shaw, 2008)

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. 7 Struktur lignin (Shaw, 2008)

### 2.3.3 Pellet Biomassa

Sebenarnya, Pellet telah diproduksi sejak seabad yang lalu. Dengan menggunakan panas dan tekanan maka pelet kecil berbentuk silindris, seperti terlihat pada Gambar 2.8, dapat diproduksi dari berbagai macam materi untuk tujuan yang berbeda-beda. Pada tahun 1970-an, beberapa perusahaan yang tadinya menggunakan penggilingan pelet untuk memproduksi pakan ternak, mulai memproduksi pelet dari kayu untuk dijadikan bahan bakar. Beberapa ciri khas dari pelet biomasa adalah:

- mengalir seperti liquid
- dapat digunakan baik di kompor ataupun *boiler*
- mudah untuk digunakan, disimpan, dan ditransportasikan
- meningkatkan karakteristik pembakaran jika dibandingkan dengan bahan bakunya



**Gambar 2. 8** Bentuk Pelet Biomasa (www.pelheat.com)

Untuk menghasilkan pelet biomasa yang memiliki kualitas yang baik, tahapan prosesnya dapat dilihat pada gambar 2.9 di bawah ini.



**Gambar 2. 9** Skema Proses Produksi Pellet Biomassa (www.pelheat.com)

Perbedaan antara briket dan pellet di antaranya adalah sebagai berikut (Tabel 2.3)

**Tabel 2. 3** Perbedaan Briket dan Pellet

| No. | Briket  | Pellet   |
|-----|---|--|
| 1.  | Ukuran dari bahan pembentuk tidak perlu terlalu kecil                                     | Ukuran dari bahan pembentuk harus cukup halus untuk membentuk pellet (<1 mm).  |
| 2.  | Diperlukan biaya investasi dan operasi yang lebih murah dibanding pembuatan pellet.       | Biaya investasi yang dibutuhkan lebih mahal.   |
| 3.  | <i>Bulk Density</i> briket lebih besar  | <i>Bulk density</i> pellet lebih kecil.  |
| 4.  | Ukuran relatif lebih besar, biasanya dengan bentuk bola                                   | Ukuran relatif lebih kecil, biasanya dengan bentuk silindris   |
| 5.  | Dalam pembuatannya, pemanasan tidak perlu dilakukan terlebih dahulu pada tahap preparasi. | Dalam pembuatannya, pemanasan dapat dilakukan untuk mengaktivasi lignin dan menghilangkan <i>moisture</i> hingga di bawah 10%. |

#### 2.4 Analisis Kandungan Batubara dan Biomassa

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 biomasa. *Fixed carbon* bertindak sebagai pembangkit utama panas selama pembakaran. Kandungan bahan yang mudah menguap yang tinggi menunjukkan



mudahnya penyalaaan 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 pemakaran dan volum serta komposisi gas pembakaran. Informasi ini diperlukan untuk perhitungan suhu nyala dan perancangan saluran gas buang. Tabel berikut menunjukkan persamaan yang menunjukkan hubungan analisis *ultimate* dengan analisis *proximate*.

Tabel 2. 4 Hubungan antara analisis *proximate* dengan analisis *ultimate*

|                 |   |   |
|-----------------|---|---|
| %C              | = | $0.97C + 0.7(VM - 0.1A) - M(0.6 - 0.01M)$           |
| %H              | = | $0.036C + 0.086 (VM - 0.1A) - 0.0035M^2(1 - 0.02M)$ |
| %N <sub>2</sub> | = | $2.10 - 0.020VM$                                    |
| Dimana          |   |   |
| C               | = | %fixed carbon                                       |
| A               | = | %abu  |
| VCM             | = | %bahan mudah menguap                                |
| M               | = | %kadar air  |

Sumber: UNEP 2006

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

#### 2.4.1 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, 2000). Berat yang hilang diketahui sebagai kandungan kelembapan. Analisis kelembapan dapat diketahui dengan menentukan free moisture dan bound moisture yang terdapat dalam batubara/biomassa.

#### 2.4.2 Analisis Abu

Abu ditentukan dengan memanaskan sejumlah sampel pada  $825\pm 25^{\circ}\text{C}$  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).

#### 2.4.3 Analisis Kandungan Volatil

Kandungan volatil dalam batubara/biomassa adalah campuran dari uap dan gas yang keluar saat proses pirolisis dari batubara. Kandungan volatil mengandung  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , 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 penyalaan (*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.

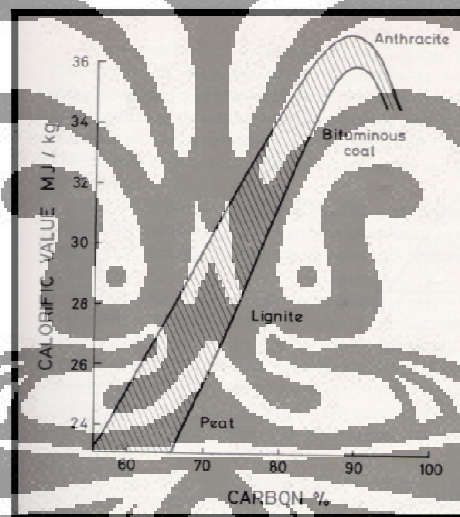
Kandungan volatil ditentukan dengan memanaskan batubara/biomassa pada tungku selama 7 menit pada suhu  $950^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$  bebas  $\text{O}_2$  (ASTM D3175, BS1016 Part 104). Berat yang hilang akan sama dengan kandungan volatil yang terbentuk saat proses dekomposisi batubara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

#### 2.4.4 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 ). Karbon tetap dihitung dengan (Williams, 2000):

$$\%C = 100 - (\% \text{ kelembapan} + \% \text{ materi volatil} + \% \text{ abu}) \quad (2.1)$$

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 2.10 (Chigier,1981).

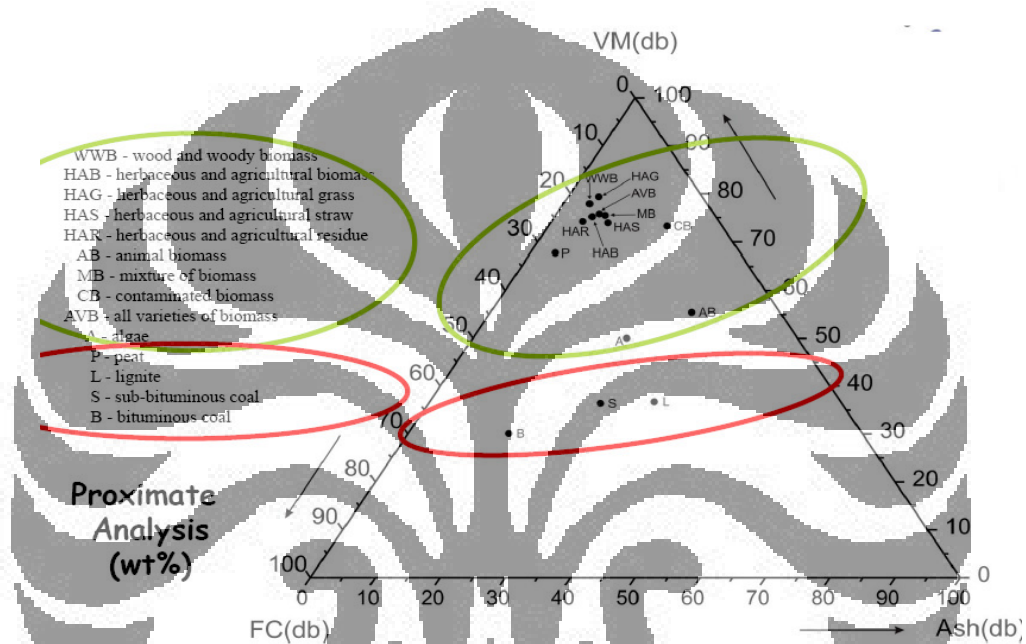


Gambar 2. 10 Hubungan Kandungan *Fixed Carbon* dengan Nilai Kalor Batubara (Chigier, 1981)

#### 2.4.5 Komparasi Analisis Kandungan Batubara dan Biomassa

Gambar 2.11 menunjukkan perbandingan umum kandungan yang didapat dari analisis proksimat pada beberapa jenis biomassa dan batubara (Baxter, 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. 11 Perbandingan Hasil Analisis Proksimat pada Batubara dan Biomassa (Baxter dkk., 2010)

## 2.5 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 dan Chigier, 1981 hal. 63-66):

### 1. Pengerinan

Pada tahap ini dilakukan pengerinan 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:

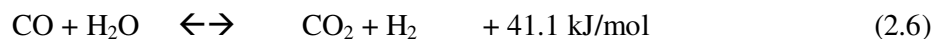
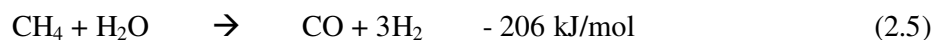
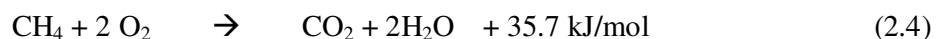
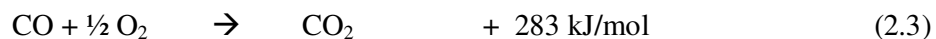
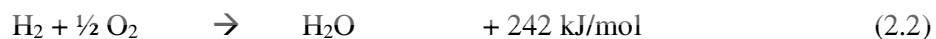
Proses ini terjadi pada batubara yang dipanaskan pada lingkungan inert. Devolatilisasi dapat diawali dengan induksi atau *ignition delay time*. Devolatilisasi hampir bersamaan dengan lepasnya gas dan *volatile matters* (material yang mudah menguap) termasuk tar dari permukaan dan pori-pori partikel material 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 berbed untuk tiap jenis batubara atau biomasanya. Berikut ini merupakan reaksi pembakaran sederhana dari zat volatil yang seringkali terjadi pada proses pembakaran bahan bakar padat.



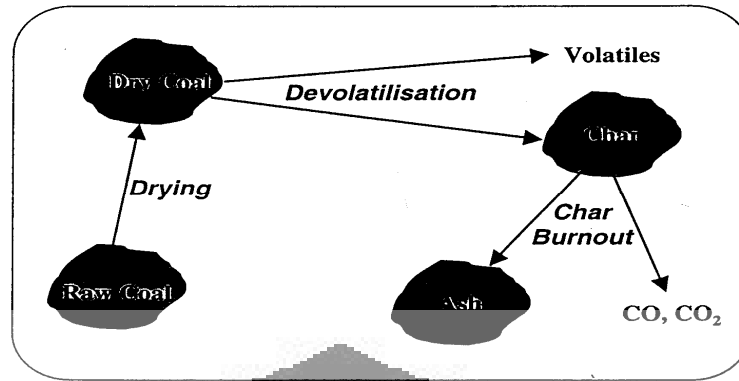
Panas yang dihasilkan oleh reaksi eksotermis sangat penting dalam pelepasan zat volatil dan penyalaan api pada arang (karbon).

#### 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 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 *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 O<sub>2</sub>. Reaktivitas *char* juga bergantung pada jenis batubaranya, suhu, tekanan, dan karakteristik *char* (ukuran, luas permukaan, dan lain-lain), dan konsentrasi O<sub>2</sub>. Gambar 2.12 mengilustrasikan mekanisme pembakaran batubara.



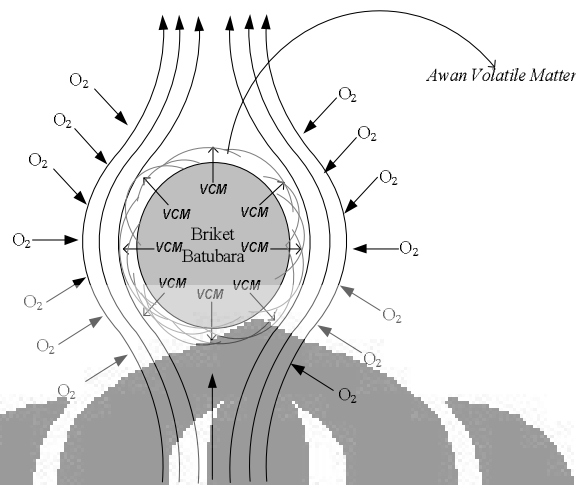
Gambar 2.12. Mekanisme Pembakaran pada Batubara (Smoot, 1991)

## 2.6 Penyalaan Bahan Bakar Padat

### 2.6.1 Mekanisme Penyalaan

Temperatur penyalaan (Tig) didefinisikan sebagai temperatur terendah yang harus dicapai batubara untuk pembakaran. Sedangkan waktu penyalaan (Wig) adalah waktu mulai batubara masuk sampai nyala api pada saat tercapainya temperatur penyalaan (Koestoer dkk., 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 hal. 102).

Dibandingkan dengan bahan bakar cair atau LPG, bahan bakar padat berukuran besar seperti briket batubara mempunyai temperatur permukaan material yang rendah. Dengan ukuran briket batubara 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, 1992) yang secara deskriptif terlihat di Gambar 2.13. 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.



**Gambar 2. 13** Deskripsi penyalaan *volatile matter* pada permukaan material briket (Supramono, 2008)

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 penyalaan batubara yang didefinisikan sebagai terbakarnya karbon 1%.

## 2.6.2 Faktor Pengontrol Waktu Penyalaan

Faktor-faktor penting yang mempengaruhi pembakaran di antaranya adalah:

### 2.6.2.1 Kadar Air

Semakin tinggi kadar air dalam batubara atau biomasa menyebabkan temperatur pembakaran menurun dan kadar  $H_2O$  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.

### 2.6.2.2 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 pellet biomasa yang dibakar mempengaruhi besar



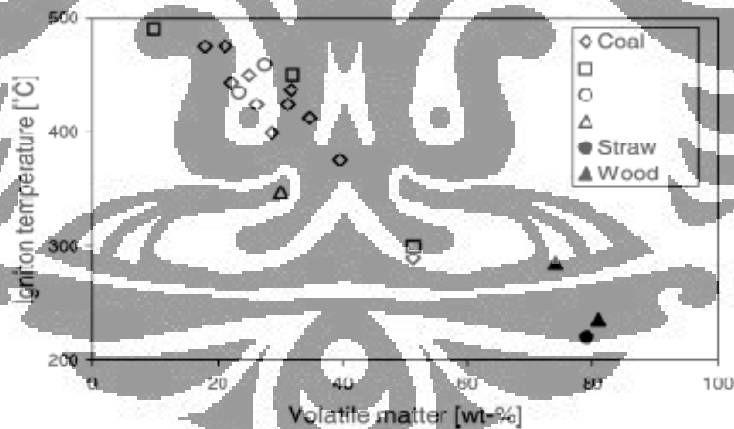
temperatur yang dihasilkan. Semakin kecil ukuran pellet maka temperature pembakaran akan semakin besar dan waktu pembakaran semakin cepat. Hal ini berkaitan dengan laju perpindahan panas dari udara sekitar ke dalam biomasa yang semakin besar.

### 2.6.2.3 Ketersediaan Udara

Udara yang masuk dari bagian bawah garangan (*grate*) 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.

### 2.6.2.4 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 (Grotkjær dkk., 2003), seperti terlihat pada Gambar 2.14. Hal ini antara lain diakibatkan oleh adanya energi panas yang dilepaskan seiring dengan



Gambar 2. 14 Hubungan antara Kandungan *Volatile Matter* Bahan Bakar Suhu *Ignition* untuk Batubara dan Biomassa (Grotkjær dkk., 2003)

lepasnya *volatile matter* dari permukaan. Energi panas ini dapat memicu ignisi lainnya pada permukaan secara radiasi (Chigier, 1981).

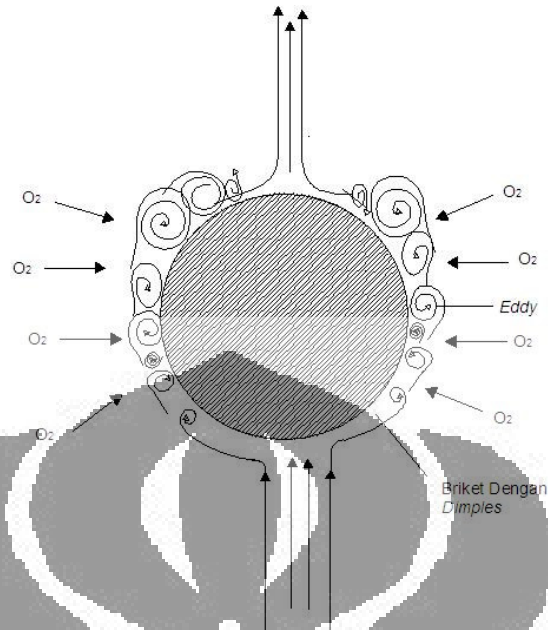
Selain itu, dengan devolatilisasi *volatile matter* dalam jumlah banyak akan memperbesar porositas *char* yang terbentuk, sehingga akan memudahkan oksigen untuk berdifusi lebih lanjut ke permukaan (Lu, 2000) dan mengakibatkan

pembakaran menjadi lebih sempurna dan efisien (Singh dkk., 2009). Gambar 2.15 menunjukkan penampang dari *char* biomassa serut kayu yang dihasilkan dari suatu proses devolatilisasi dengan alat Scanning Electron Microscope. Dari gambar, *char* yang dihasilkan memiliki banyak sekali struktur pori anisotropik yang ditandai dengan adanya *channel-channel* yang sejajar yang mengarah secara aksial (tegak lurus dengan kertas lembar ini). Hal ini diakibatkan oleh struktur awal biomassa itu sendiri yang memiliki struktur *fibrous* (berserat) (Senneca, 2006).



Gambar 2. 15 SEM micrograph dari partikel *char* biomassa serut kayu dengan pembesaran 50 x (Senneca, 2006)

Membesarnya porositas *char* ini akan berperan saat di mana kandungan *volatile matter* sudah terbakar habis dan mulai terjadi pembakaran pada permukaan *char*. Gambar 2.16 mengilustrasikan fenomena ini. Hal ini dikarenakan porositas yang terbentuk akan mengakibatkan aliran udara yang melewatinya menjadi turbulen, sehingga timbul ulakan (*eddy*) yang memudahkan oksigen untuk berdifusi melewati *eddy* tersebut.



**Gambar 2. 16** Fenomena Timbulnya *Eddy* karena turbulensi yang memudahkan difusi oksigen ke permukaan *char*

Berikut adalah beberapa data perbandingan sifat struktural dari batubara (*Tinto sub-bituminous coal*), biomassa (*Quercus acutissima sawdust*), dan campuran (dengan rasio 0.5) dalam bentuk mentahnya maupun saat telah dibakar menjadi *char* (Seo dkk, 2010).

**Tabel 2. 5** Data Sifat Struktural dari batubara (*Tinto sub-bituminous coal*), biomassa (*Quercus acutissima sawdust*), dan campuran (dengan rasio 0.5) dalam bentuk mentah dan *char*

| Besaran                                 | Batubara |       | Biomassa |        | Campuran |        |
|---|----------|-------|----------|--------|----------|--------|
|   | Raw      | Char  | Raw      | Char   | Raw      | Char   |
| Luas Permukaan ( $m^2/gr$ )             | 6.95     | 83.86 | 0.29     | 170.38 | 2.20     | 208.13 |
| Volume Pori $\times 10^2$ ( $cm^3/gr$ ) | 1.55     | 3.01  | 0.07     | 1.28   | 0.86     | 3.11   |

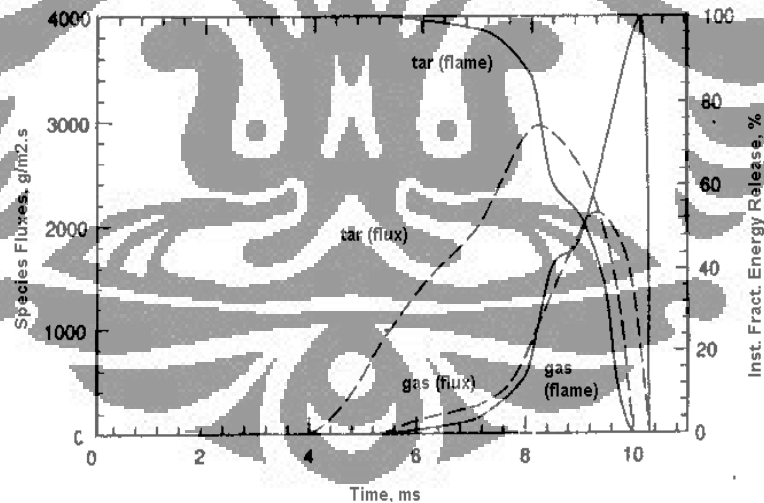
Sumber: (Seo dkk. 2010)

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa, seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, luas permukaan dan volume pori akan membesar setelah dipanaskan menjadi *char* seiring dengan terlepasnya *volatile matters* dari partikel. Dapat dilihat bahwa laju peningkatan luas permukaan setelah dipanaskan yang lebih tinggi adalah pada biomassa (583 kali) dibanding laju pada batubara (12 kali)

karena kandungan *volatile matter* yang lebih tinggi serta struktur yang longgar pada biomassa (Seo dkk, 2010).

### 2.6.2.5 Besar Pori-Pori pada Permukaan

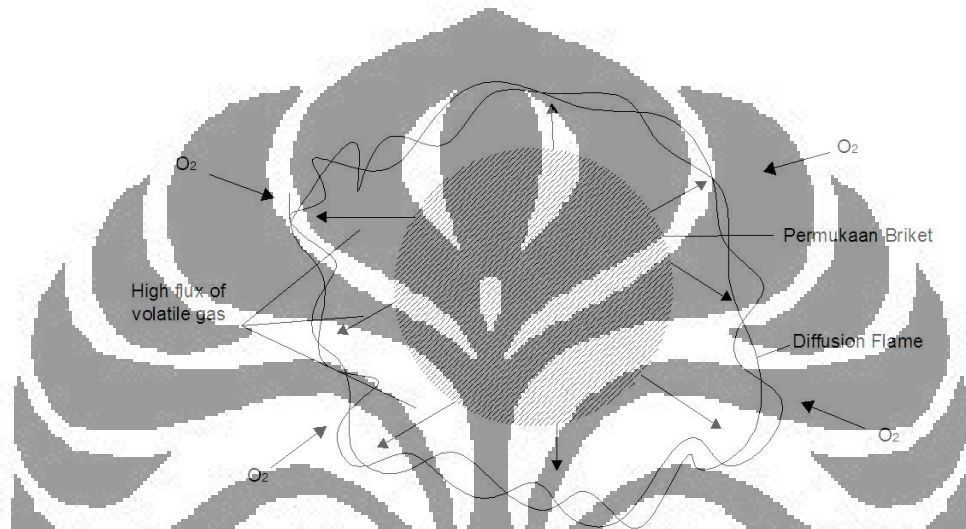
Pada saat devolatilisasi, *volatile matters* akan membentuk suatu flux *volatile* (gas pirolisis). Gambar 2.17 menunjukkan dua macam fluks *volatile matter*, yaitu tar dan gas (Lau dan Niksa, 1992). Pada awalnya, tar terlepas dari permukaan partikel. Hal ini mempertahankan adanya *flame* di sekitar partikel. *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 2.17, fluks maksimum tar dan gas berturut-turut adalah sebesar 3000  $\text{gr}/(\text{m}^2.\text{s})$  dan 2200  $\text{gr}/(\text{m}^2.\text{s})$ . Tar, yang densitasnya lebih besar dari gas, dapat menghalangi terjadinya devolatilisasi gas.



**Gambar 2. 17** Fluks massa gas dan tar dari permukaan partikel (kurva putus-putus) dan fraksi energi yang dikeluarkan dari gas tar pada *flame* (Lau and 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 (Grotkjær dkk., 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 2.18.



**Gambar 2. 18** 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 (Grotkjer dkk., 2003)

Banyak cara yang dapat digunakan untuk menentukan fluks *volatile* ( $F$ ),  $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$  dengan menggunakan berbagai asumsi. Untuk penelitian ini, bahan bakar padat yang digunakan mempertahankan bentuknya dan tidak berubah ukurannya secara signifikan dan menghasilkan *char* dengan porositas tinggi, karena bahan bakar dibentuk dalam briket yang berukuran besar, tidak seperti partikel. Oleh karena itu, perpindahan massa yang terjadi bukan merupakan faktor utama yang berpengaruh dalam menentukan fluks (Scott dkk., 2006). Asumsi yang dapat digunakan adalah (contohnya Alves and Figueiredo, 1989) perpindahan massa terjadi sangat cepat, sehingga fluks *volatile* dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$F(r) = \frac{1}{r^\sigma} G_d(r) dr \quad (2.7)$$

Di mana  $r$  merupakan jari-jari radial,  $m$ ;  $\sigma$  faktor bentuk (2 untuk bentuk bola), dan  $G_d$  laju keluaran *volatile* per unit volume,  $kg\ s^{-1}\ m^{-3}$ . Dari neraca massa pada devolatilisasi,  $G_D$  dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (Scott dkk., 2006).

$$\frac{\partial \rho(r,t)}{\partial t} = -G_d(r) \quad (2.8)$$

Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa secara tidak langsung, fluks berbanding lurus dengan kepadatan ( $\rho$ ) bahan bakar padat yang digunakan. Berikut adalah perbandingan densitas dari keempat bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 2. 6 Densitas Berbagai Bahan Bakar Padat

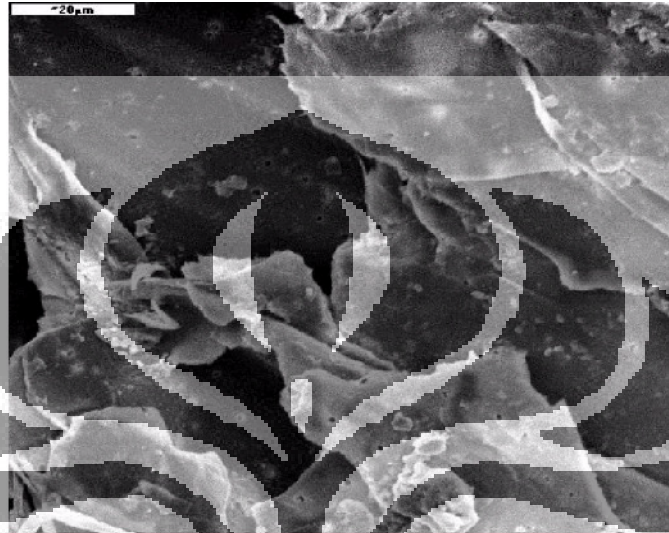
| Bahan                  | Densitas ( $kg\ m^{-3}$ ) | Literatur         |
|------------------------|---------------------------|-------------------|
| Batubara Subbituminous | 1300                      | Labuschagne, 1987 |
| Serabut Kelapa         | 83.3                      | Fisafarani, 2010  |
| Kayu-Karet             | 270                       | Fisafarani, 2010  |
| <i>Bagasse</i>         | 492                       | Rasul, 1999       |

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 dkk., 2006).

Selain karena struktur, besar pori juga erat kaitannya dengan kandungan karbon (King dan Wilkins, 1944). 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 2.19 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. 19** *Scanning Electron Micrograph* dari *Bagasse* Mentah yang Menunjukkan Banyak Pori Besar pada Permukaan (Devnarain dkk., 2002)

Berikut adalah data perbandingan besar pori dari batubara (*Indonesia Tinto sub-bituminous coal*), biomassa (*Quercus acutissima sawdust*), dan campuran (dengan rasio 0.5) dalam bentuk mentahnya (*raw*) maupun saat telah dipanaskan menjadi *char*. (Seo, 2010). Dari data, dapat dinyatakan bahwa biomassa memiliki besar pori yang lebih besar.

**Tabel 2. 7** Data besar pori dari batubara (*Indonesia Tinto sub-bituminous coal*), biomassa (*Quercus acutissima sawdust*), dan campuran (dengan rasio 0.5) dalam bentuk mentah dan *char*

| Bahan    | Jenis       | Besar Pori Rata-Rata (Å) |
|----------|-------------|--------------------------|
| Batubara | <i>Raw</i>  | 141.7                    |
|          | <i>Char</i> | 82.2                     |
| Biomassa | <i>Raw</i>  | 628.1                    |
|          | <i>Char</i> | 331.3                    |
| Campuran | <i>Raw</i>  | 366.8                    |
|          | <i>Char</i> | 43.8                     |

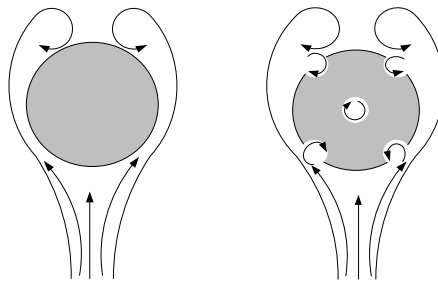
Sumber: Seo dkk., 2010

#### 2.6.2.6 Aplikasi Briket Promotor dengan *Dimples* pada Kompur

Briket promotor sangat berperan dalam mempercepat waktu penyalaan pada kompor briket batubara. Briket ini memiliki karakteristik khusus untuk mempercepat waktu penyalaan, yaitu terdapat *dimples* pada permukaannya.

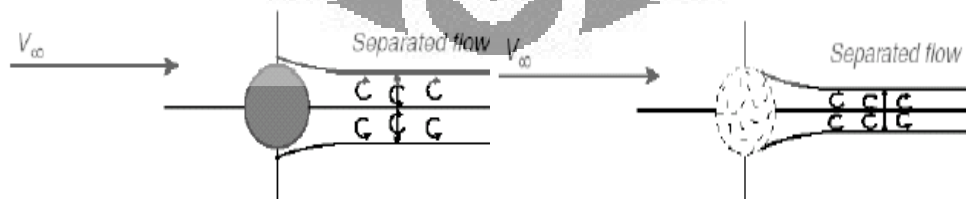
Fungsi *dimples* adalah sebagai penguat terjadinya perpindahan panas konveksi dari bara api pada briket promotor ke briket pemasakan yang diletakkan di sekitarnya karena adanya lekukan pada permukaannya. Lekukan ini membuat aliran udara yang menabrak promotor akan masuk ke dalam *dimples* tersebut dan mengalami resirkulasi, sehingga waktu tinggal/kontak udara untuk bereaksi dengan zat-zat volatil dan permukaan pada batubara lebih lama dan reaksi pembakaran menjadi lebih cepat, dibanding tanpa adanya *dimples* pada promotor, seperti terlihat pada Gambar 2.20. Perpindahan panas konveksi dan radiasi pun menjadi lebih cepat.





**Gambar 2. 20** Perbandingan Aliran Udara yang Melewati Permukaan Briket dengan dan tanpa *Dimples*

Untuk meningkatkan perpindahan panas konveksi dari briket promotor ke briket pemasakan pada lapisan kedua (pada lapisan yang sama dengan briket promotor), pada permukaan briket promotor dibentuk cekukan-cekukan (*dimples*) sebagaimana bentuk permukaan bola golf. Dengan adanya *dimples*, *boundary layer* laminar yang terjadi setelah *volatile matter* di permukaan briket habis terbakar bisa diubah menjadi turbulen. Dalam kondisi ini, *boundary layer* yang terbentuk cenderung akan lebih dapat menelusuri permukaan briket dan akan memisahkan diri dari permukaan pada bagian *downstream* bahan tersebut (Choi, 2006), sehingga daerah resirkulasi di *wake* (*separated flow*) menjadi lebih sempit (lihat Gambar 2.21); (Newman, 2000). Turbulensi pada *boundary layer* tersebut diperkirakan bisa memperkuat terjadinya perpindahan panas dari permukaan briket promotor ke permukaan briket pemasakan karena daerah *wake* yang sempit membuat laju alir perpindahan panas semakin kuat ke permukaan briket di atasnya secara konveksi. Turbulensi pada *boundary layer* juga akan mengakibatkan timbulnya *eddy* yang memudahkan oksigen berdifusi ke permukaan.



**Gambar 2. 21** Perbandingan *Wake* pada Permukaan Tanpa dan dengan *Dimples* (Lau, 1992)

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan desain kompor yang dilengkapi dengan briket atau pellet promotor sebagai penyulut untuk menyalakan briket batubara pemasakan yang terletak di sekelilingnya. Batubara yang digunakan untuk bahan pembentuk dalam penelitian ini adalah batubara sub-bituminous yang didapat dari PT. Bukit Asam.

Dalam penelitian ini, digunakan briket promotor dengan bentuk bola dengan *dimples*, karena dari penelitian sebelumnya (Suminar, 2007), briket promotor bola dengan *dimples* memiliki *ignition time* tercepat dibandingkan dengan bentuk bola dan bantal. Hal ini disebabkan briket promotor bola dengan *dimples* memiliki luas kontak permukaan dengan udara pembakaran lebih besar dari briket promotor bentuk bantal. Selain itu briket bola dengan *dimples* memiliki resirkulasi udara pada *dimples* nya. Hal ini menyebabkan *dimples* pada permukaan briket promotor memiliki turbulensi lebih tinggi dari briket promotor bentuk bantal.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, promotor yang digunakan di penelitian ini terdiri dari berbagai variasi: briket campuran antara batubara sub-bituminous dan biomassa dengan komposisi 50% biomassa dan 50% batubara; briket biomassa; briket 100% biomassa; serta pellet biomassa. Penggunaan biomassa pada promotor dimaksudkan agar *ignition time* yang diperlukan berkurang dari penelitian sebelumnya. Hal ini karena biomassa memiliki kandungan *volatile matter* dan diameter pori-pori yang lebih besar (Singh dkk, 2009). Untuk mengamati pengaruh biomassa, dalam penelitian ini divariasikan bahan biomassa yang digunakan, yaitu serabut kelapa dan kayu karet. Masing-masing jenis biomassa ini dilihat pengaruhnya terhadap *ignition time* yang dibutuhkan briket. Sedangkan batubara sub-bituminous digunakan karena nilai *heating value*-nya lebih tinggi dari biomassa (Baxter, 2010), sehingga dapat menguntungkan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 3. 1** Analisis Proksimat Bahan yang Digunakan pada Penelitian

| Jenis Bahan                              | Analisis Proksimat |                   |       |            |
|--|--------------------|-------------------|-------|------------|
|  | Fixed Carbon %     | Volatile Matter % | Ash % | Moisture % |
| Batubara Subbituminous B (PT Bukit Asam) | 32.4               | 39.9              | 9.68  | 18         |
| Serabut Kelapa                           | 23.82              | 62.64             | 3.27  | 10.27      |
| Kayu Karet                               | 15.1               | 69.76             | 3.27  | 10.85      |

Sumber: Rahardjo, 2008; Belkin, 2007; dan Fisafarani.. 2010

Briket promotor dibuat dari campuran batubara sub-bituminous dan biomassa yang dihaluskan terlebih dahulu sehingga diperoleh partikel-partikel yang berukuran kecil ( $\pm 20$  mesh). Partikel-partikel halus hasil penyaringan dicampurkan dengan air 8% dan 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.

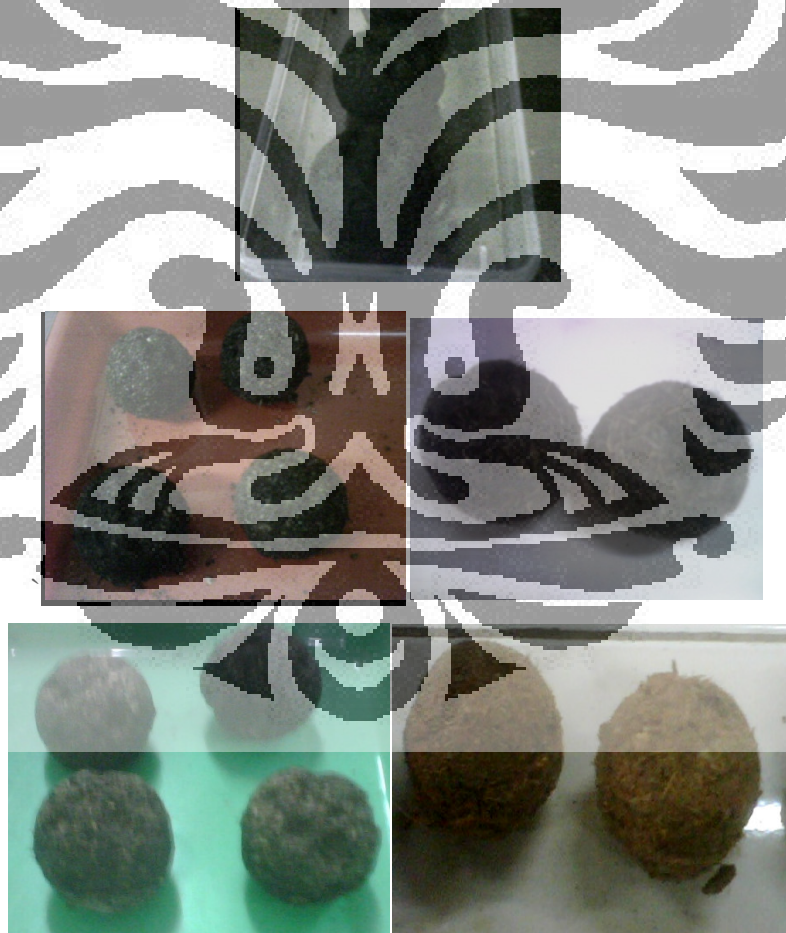
Campuran bahan briket tersebut kemudian dicetak menggunakan alat pencetak, seperti pada Gambar 3.1. Setelah dicetak, cetakan tersebut ditekan dengan alat penekan hidraulik seperti Gambar 3.2.

**Gambar 3. 1** Cetakan briket promotor



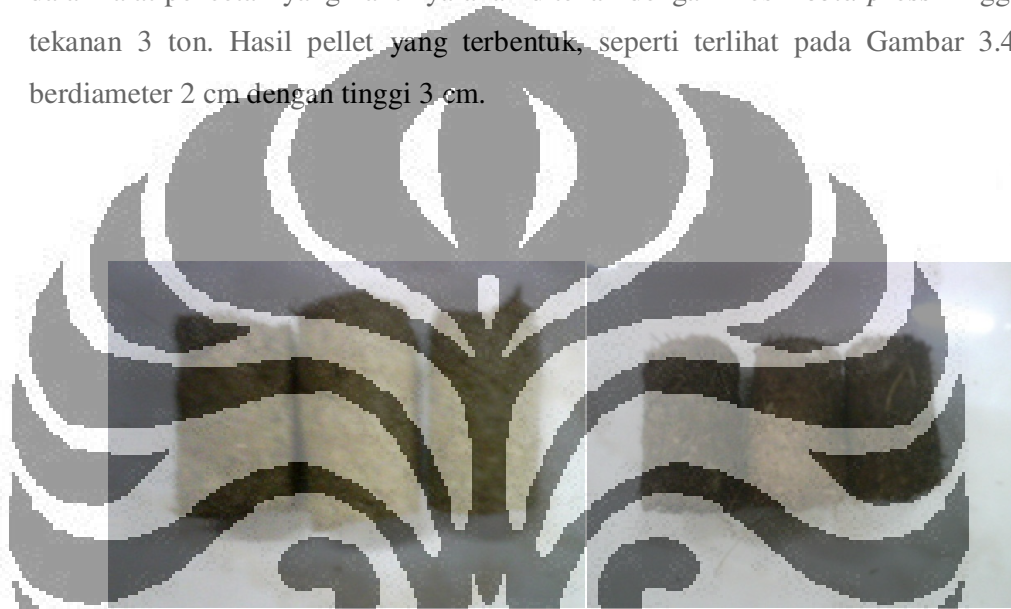
**Gambar 3. 2** Alat penekan hidrolik

Dari proses pencetakan, diperoleh briket batubara promotor bola dengan diameter 5 cm yang dilengkapi dengan *dimples* seperti Gambar 3.3.



**Gambar 3. 3** Briket promotor bola dengan *dimples* dengan berbagai bahan (dari atas-bawah kiri-kanan): batubara; batubara-kayu karet; batubara-serabut kelapa; kayu karet; serabut kelapa

Sedangkan pembuatan pellet promotor dilakukan sebagian di Balai Mekanisasi Pertanian, Serpong. Bahan biomassa yang telah dikumpulkan dari limbah kehutanan (kayu karet) dan limbah pertanian (serabut kelapa) direduksi terlebih dahulu ukuran partikelnya ke dalam mesin *crusher*. Agar partikel menjadi lebih halus, selanjutnya bahan dimasukkan ke dalam mesin penepung. Setelah serbuk biomassa siap, dengan ditambahkan sedikit perekat, serbuk dimasukkan ke dalam alat pencetak yang nantinya akan ditekan dengan mesin *cold press* hingga tekanan 3 ton. Hasil pellet yang terbentuk, seperti terlihat pada Gambar 3.4, berdiameter 2 cm dengan tinggi 3 cm.



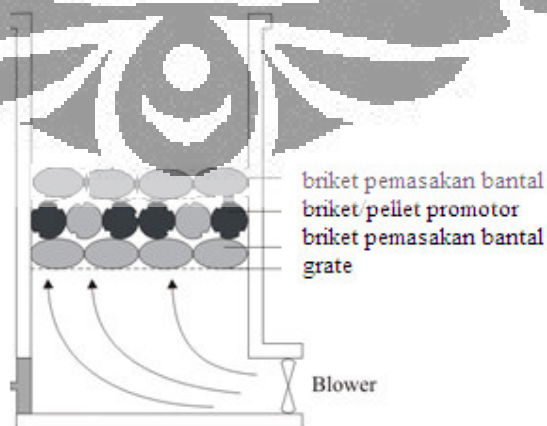
Gambar 3. 4 Pellet Kayu Karet (kiri) dan Pellet Serabut Kelapa (kanan)

Rancangan kompor yang digunakan adalah kompor briket batubara dengan *blower* pada bagian bawah sehingga terjadi *forced updraft* untuk menjamin kecukupan udara pembakaran dan memperbesar transfer panas secara konveksi dalam kompor pada saat pembakaran, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5. Pembuatan kompor didasarkan pada rujukan kompor hasil penelitian Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.



**Gambar 3. 5** Kompor briket batubara DTK UI dengan *blower*

Penyalan awal dilakukan dengan meletakkan empat buah briket promotor di atas pembakar alkohol sampai terbentuknya bara api. Kemudian briket promotor tersebut diletakkan diatas briket pemasakan (bola dengan *dimples*), panas dari briket promotor berpindah secara konveksi dan radiasi menuju briket pemasakan. Briket dalam kompor disusun menjadi tiga lapisan, yaitu briket promotor yang berada pada lapisan II, sedangkan briket pemasakan diletakkan pada lapisan I, III, dan di sela-sela briket promotor (Sumarni, 2009). Hal ini bertujuan agar perpindahan panas yang terjadi dari briket promotor bisa lebih maksimal, baik itu ke briket pemasakan yang ada di atas secara konveksi, di samping secara radiasi dan konveksi, serta di bawah secara radiasi. *Bluff body* akan mempengaruhi aliran udara dalam kompor sehingga terbentuk nyala api yang stabil dan turbulen. Secara skematis, susunan briket pada kompor dapat dilihat pada Gambar 3.6.



**Gambar 3. 6** Susunan Briket pada Kompor

Untuk pellet promotor, peletakannya juga sama dengan briket promotor, yaitu berada pada lapisan II. Yang membedakan adalah jumlah pellet yang disertakan dalam kompor. Jumlah pellet yang diletakkan dihitung sebagaimana sehingga luas permukaan pellet promotor sama dengan total luas permukaan briket promotor yang diletakkan dalam kompor, seperti dijelaskan pada perhitungan di bawah ini. .

$4 \times \text{Luas permukaan briket} = n \times \text{luas permukaan pellet}$

$$4 \times (4 \times \pi \times 2.5^2) \text{ cm}^2 = n \times (\pi \times 2 \times 3) \text{ cm}^2$$

$n \approx 17$  pellet

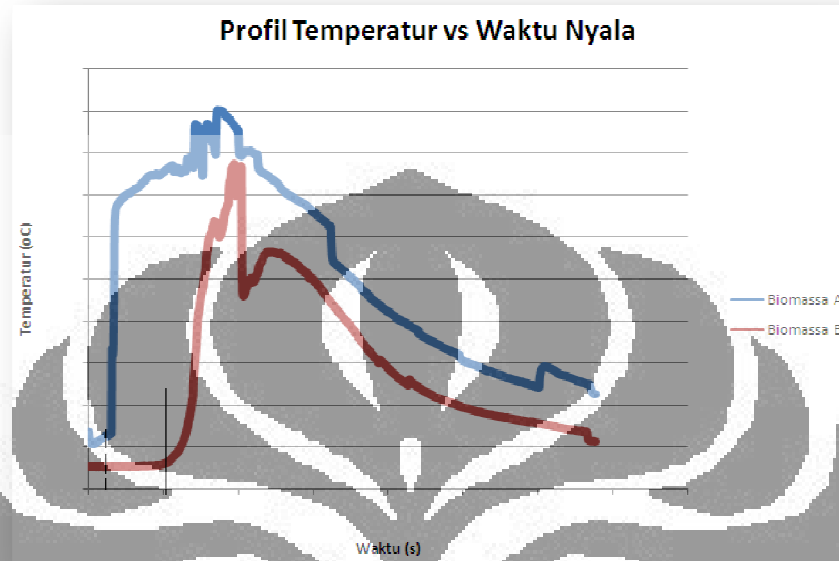
Pada penelitian ini digunakan tinggi *chimney* sebesar 5 cm, karena menurut penelitian sebelumnya (Sari, 2008), tinggi *chimney* sebesar 5 cm menyebabkan *back pressure* yang rendah dan kecepatan suplai udara yang tinggi pada kompor, sehingga *ignition time* lebih cepat.

Blower yang digunakan dalam penelitian memiliki kecepatan superfisial udara  $\pm 1$  m/s, karena menurut penelitian sebelumnya (Sari, 2008), pada kecepatan ini, *ignition time* yang tercatat paling cepat dibandingkan kecepatan superfisial diatas maupun dibawahnya. Kecepatan superfisial yang terlalu tinggi menyebabkan aliran yang terjadi adalah turbulen, namun partikel briket batubara terbawa keluar dari kompor sebelum proses pembakaran terjadi dengan sempurna. Kecepatan superfisial yang rendah juga kurang baik, karena aliran yang terjadi adalah laminar, sehingga turbulensinya kecil (Sari, 2007).

Proses pengukuran dilakukan dengan menggunakan termokopel tipe K, termokopel diletakkan pada lapisan kedua, yaitu diantara briket pemasakan dan briket promotor. Temperatur diukur ketika briket promotor diletakkan diatas kompor sampai briket batubara habis dalam waktu  $\pm 2$  jam. Waktu penyalaan briket pemasakan dalam kompor dihitung dari diletakkannya briket promotor diatas briket pemasakan hingga terjadi kenaikan temperatur secara cepat yang ditandai dengan terbentuknya bara api pada briket pemasakan.

Dari pengukuran yang dilakukan, data diekstraksi dengan plot grafik Temperatur vs Waktu Nyala untuk masing-masing jenis biomassa. Contoh grafik yang akan diperoleh dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.6. Waktu

ignisi diukur mulai dari  $t = 0$  s hingga ketika terjadi lonjakan suhu. Dalam Gambar 3. 7, patokan berhenti pengukuran waktu yang dimaksud ditunjukkan oleh garis putus-putus untuk biomassa A dan garis penuh untuk biomassa B.

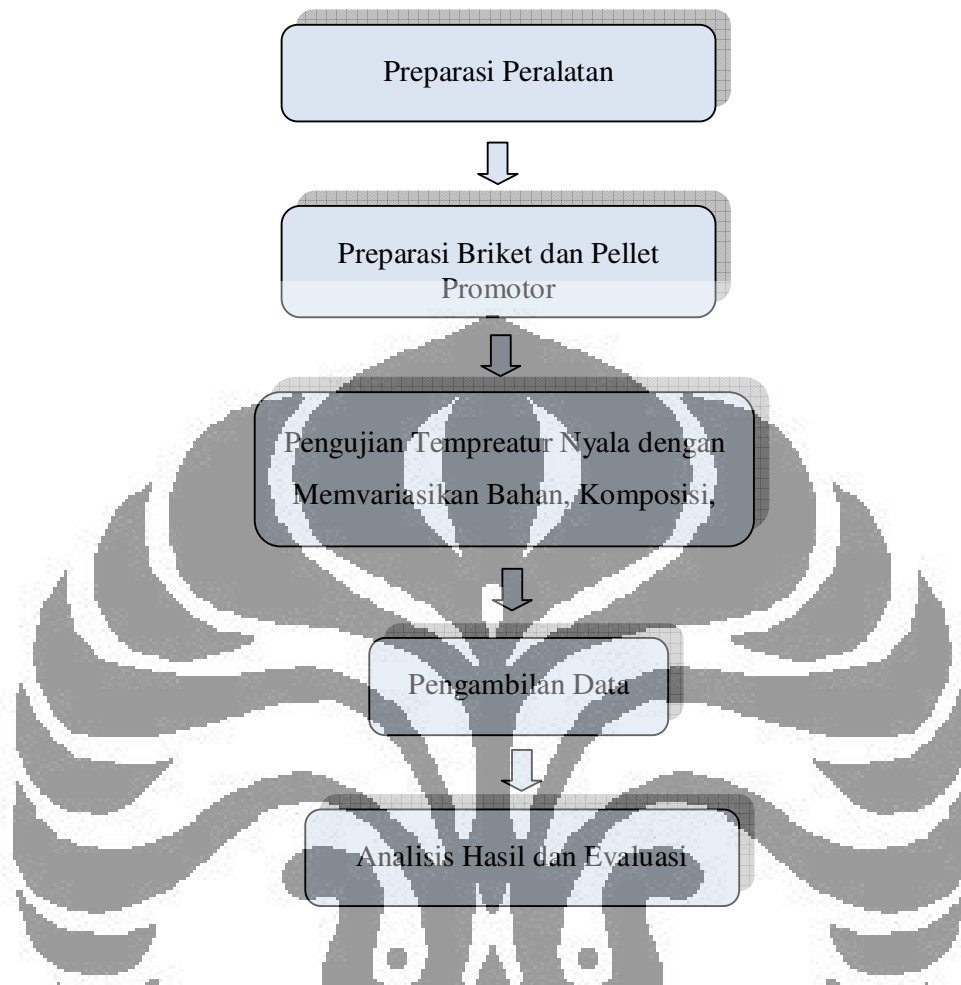


Gambar 3. 7 Contoh Grafik Profil Temperatur vs Waktu untuk Mengamati

### 3.2 Rancangan Penelitian

Penelitian untuk pengujian waktu penyalaan dilakukan di Laboratorium Energi Berkelanjutan di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia. Tahapan dari produksi kompor briket batubara dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut ini:





**Gambar 3. 8** Diagram Alir Penelitian

### 3.2.1 Tahap Penyediaan Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang akan digunakan adalah:

1. Alat penggerus briket batubara
2. Alat pencetak briket batubara
3. *Blower*
4. Pemanas listrik
5. *Grate*
6. Komputer
7. Saringan
8. Termokopel jenis K
9. *Hot Plate*
10. Kompor briket

Prosedur yang dilakukan:

1. Mempersiapkan kompor yang dilengkapi dengan *blower*. Meletakkan briket pemasakan di lapisan ke 1 dan ke 3, sedangkan briket promotor berada di lapisan ke 2 di dalam kompor
2. Mempersiapkan komputer yang digunakan untuk mencatat temperatur dan waktu penyalaan briket pemasakan dengan *software* ADAM 4000-5000 Utility ver. 4.00.06

### 3.2.2 Prosedur Penelitian

Berdasarkan diagram alir penelitian, maka rincian kegiatan penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

#### 3.2.2.1 Persiapan Briket Promotor

Alat yang digunakan:

1. Alat penekan hidrolik
2. Alat penggerus
3. Mal cetakan briket berbentuk bola
4. Saringan

Bahan yang digunakan:

1. Briket biobatu bara
2. Perekat kanji
3. Air demin

Prosedur yang dilakukan:

1. Menggerus batubara dengan alat penggerus
2. Bila menggunakan biomassa, menjadikan bahan biomassa menjadi serbuk dengan alat cacah.
3. Menyaring partikel-partikel hasil penggerusan menggunakan saringan teh dengan diameter 1 mm.
4. Memanaskan air demin menggunakan *hot plate*.
5. Membuat campuran tepung kanji dan air panas hingga kental dan lengket.
6. Membuat sampel massa 40 gram dengan mencampur partikel briket sebanyak 35 gram, larutan kanji sebagai perekat sebanyak 4 gram, dan metanol sebagai oksigenat sebanyak 15% dari berat total.

7. Mencetak partikel-partikel briket menjadi briket promotor yang berbentuk bola dengan *dimples* dan bentuk bola tanpa *dimples* menggunakan mal pencetak dan alat penekan
8. Mengeringkannya di lingkungan tertutup selama beberapa hari ( $\pm 7$  hari).

### 3.2.2.2 Persiapan Pellet Promotor

Alat yang digunakan:

1. Gunting / Pisau
2. Mesin *Crusher*
3. Mesin Penepung
4. *Plastic Wrap*
5. Alat Pencetak
6. Besi Penekan
7. *Cold Press*

Bahan yang digunakan:

Biomassa: serabut kelapa, kayu pohon karet

Prosedur yang dilakukan:

1. Memotong sampel *bagasse* tandan kosong kelapa sawit sehingga memiliki panjang yang seragam, yaitu sekitar 1 cm.
2. Mengeringkan sampel *bagasse*, tandan kosong kelapa sawit, dan serabut kelapa dengan cara menjemur bahan baku di bawah sinar matahari selama 5 jam. Hal ini dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja mesin *crusher* dan *hammer mill*.
3. Memasukkan sampel ke dalam mesin *crusher* untuk mereduksi ukuran partikel sampel.
4. Memasukkan sampel ke dalam mesin penepung untuk menghasilkan bahan dalam bentuk serbuk
5. Memasukkan serbuk biomassa sampel 1 ke dalam alat pencetak.
6. Memasukkan besi penekan kedalam alat pencetak
7. Memompa mesin *cold press* hingga tekanan yang ditunjukkan mencapai 2 ton.
8. Menunggu selama 2 menit untuk mengaktivasi lignin yang terkandung di dalam biomassa
9. Mengeluarkan pelet yang berada di dalam alat pencetak.

10. Mengulangi prosedur 1 sampai 9 untuk semua bahan biomassa

### 3.2.2.3 Pengujian Waktu Penyalaan Promotor

Alat yang digunakan:

1. Kompor briket yang dilengkapi *blower*
2. Komputer
3. *Fire Calorimeter* yang dilengkapi *exhaust fan*
4. Pembakar alkohol
5. Termokopel jenis K

Bahan yang digunakan:

1. Briket pemasakan bentuk bantal
2. Promotor dengan variasi bahan dan bentuk: briket batubara, briket kayu karet-batubara, briket serabut kelapa-batubara, briket kayu karet, briket serabut kelapa, pellet kayu karet, pellet serabut kelapa.

Prosedur yang dilakukan:

1. Menyalakan komputer dan membuka *software* ADAM 4000-5000 Utility ver 4.00.06.
2. Menyalakan *exhaust fan* pada *fire calorimeter*
3. Menyulut briket promotor dengan cara membakarnya dengan menggunakan pembakar alkohol sampai terbentuk bara api
4. Meletakkan 4 briket promotor atau 17 pellet promotor yang membara di antara briket pemasakan pada lapisan ke 2 dalam kompor dan menyalakan *blower*.
5. Meletakkan termokopel di atas/menempel pada permukaan briket pemasakan
6. Mencatat waktu penyalaan briket pemasakan. Waktu penyalaan briket dimulai dari saat diletakkannya briket promotor dalam kompor hingga awal terjadinya lonjakan temperature secara drastis.
7. Melakukan kembali prosedur percobaan 1 sampai 6 untuk variasi bahan promotor lainnya: briket batubara-serabut kelapa, briket batubara-kayu karet, briket serabut kelapa, briket kayu karet, pellet serabut kelapa, pellet kayu karet

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pemilihan Alat dan Bahan

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sampel batubara PT Bukit Asam berjenis sub – bituminous. Pemilihan batubara sub – bituminous sebagai batubara sampel adalah sebagian besar batubara di Indonesia berjenis batubara lignit dan sub – bituminous, dan batubara sub – bituminous memiliki kualitas lebih tinggi dalam segi umur yang lebih tua, persentase karbon yang lebih tinggi, serta kandungan moisture dan abu lebih rendah.

Pengujian di dalam kompor batubara dilengkapi dengan *blower* di bagian bawah, yang berfungsi sebagai suplai aliran udara masuk. Briket pemasakan berada di lapisan ke 1 dan ke 3. Semua briket pemasakan berasal dari PT Bukit Asam berbentuk bantal dengan ukuran 5 x 5 cm. Sedangkan pada lapisan ke 2, diletakkan promotor sebagai pemicu pembakaran seluruh briket pemasakan yang berada pada kompor.

Pada penelitian ini, promotor divariasikan bahan dan bentuknya: briket bola batubara, briket bola biobatubara, briket bola biomassa, dan pellet biomassa. Sedangkan jenis-jenis biomassa yang digunakan terdiri dari dua jenis, yaitu dari serabut kelapa dan kayu pohon karet. Pemilihan ini berdasarkan penelitian dari Fisafarani (2010), di mana dipilih bahan biomassa yang memiliki kandungan *volatile matter* paling tinggi dan *bulk density* yang paling rendah. Nantinya akan dibandingkan waktu penyalaan pada kompor dengan berbagai jenis promotor tersebut terhadap pengaruh bentuk (briket dan pellet) serta pengaruh bahan (batubara, biobatubara, biomassa).

Semua variasi promotor tersebut ditambahkan oksigenat berupa metanol sebelum disulut. Alasan penambahan oksigenat pada promotor adalah pada saat terjadi devolatilisasi, terbentuk awan volatil yang menghalangi masuknya oksigen dari luar, sehingga proses penyalaan menjadi sulit. Oksidator menyediakan oksigen internal saat proses devolatilisasi berlangsung. Oksigen internal yang berada dalam briket akan bereaksi dengan carbon di dalam briket, sehingga terjadi reaksi oksidasi antara briket dan oksidator, yang digunakan untuk menaikkan

temperatur briket dan menurunkan energi aktivasi pembentukan  $\text{CO}_2$ . Semakin rendah energi aktivasi suatu briket, maka briket tersebut semakin mudah untuk menyala.

Sedangkan untuk oksigennya sendiri digunakan methanol. Hal ini berdasarkan rasio atom oksigen terhadap atom karbon pada metanol yang lebih besar, yaitu 1:1, dibanding rasio C:O pada oksigenat dietil eter yang sebelumnya digunakan, yaitu sebesar 1:4. Dengan ini, diharapkan dengan jumlah yang sama, oksigenat dapat menyediakan oksigen internal lebih banyak, terutama saat proses devolatilisasi berlangsung. Selain itu, volatilitas dari dietil eter lebih tinggi daripada volatilitas metanol. Hal ini dapat terlihat dari titik didih dietil eter yang lebih rendah, yaitu sebesar  $36.4^\circ\text{C}$ , sedangkan titik didih metanol sebesar  $64.7^\circ\text{C}$  (Aylward, 1999) pada kondisi ruangan. Dengan demikian, metanol dapat tertahan lebih lama pada bagian dalam promotor dibanding dietil eter.

*Blower* diletakkan pada bagian bawah kompor briket batubara. Hal ini dilakukan untuk menciptakan *forced updraft* pada aliran udara, sehingga timbul turbulensi udara pembakaran untuk mempercepat penyalaan dan pembakaran briket batubara dalam kompor.

#### 4.2 Penyulutan Awal Promotor

Sebelum promotor diuji di dalam kompor briket batubara, promotor disulut terlebih dahulu dengan alat pembakar alkohol. Penyulutan dilakukan hingga terbentuk bara api di permukaan briket atau pellet promotor. Dari pengamatan pada penelitian ini, waktu penyulutan yang dibutuhkan tiap jenis promotor berbeda-beda. Secara umum, penyulutan pellet memerlukan waktu lebih cepat, yaitu  $\pm 3$  menit. Sedangkan untuk briket, waktu penyulutan hingga terbentuk bara api adalah  $\pm 7$  menit. Hal ini salah satunya disebabkan oleh posisi peletakan promotor di atas pembakar alkohol. pellet diletakkan secara horizontal sehingga pemanasan merata di sepanjang selimut dari struktur silinder pellet tersebut. Hal ini berbeda dengan penyulutan pada briket. Penyulutan pada promotor berbentuk bola hanya terfokus pada ujung briket sehingga hanya membuat titik bara api di sekitar ujung struktur bola briket.

Selain itu, berdasarkan *bulk density* seperti terlihat pada Tabel 4.1, pellet memiliki densitas *bulk* yang lebih rendah dibanding briket pada umumnya. Seperti

dijelaskan sebelumnya, densitas berbanding terbalik dengan porositas suatu bahan. Dengan meningkatnya porositas pada permukaan briket, maka peluang terbentuknya *turbulent boundary layer* pada permukaan briket menjadi lebih besar. Hal ini mengakibatkan banyak resirkulasi udara yang akan terjadi pada pori-pori permukaan, sehingga pembentukan bara menjadi jauh lebih cepat.

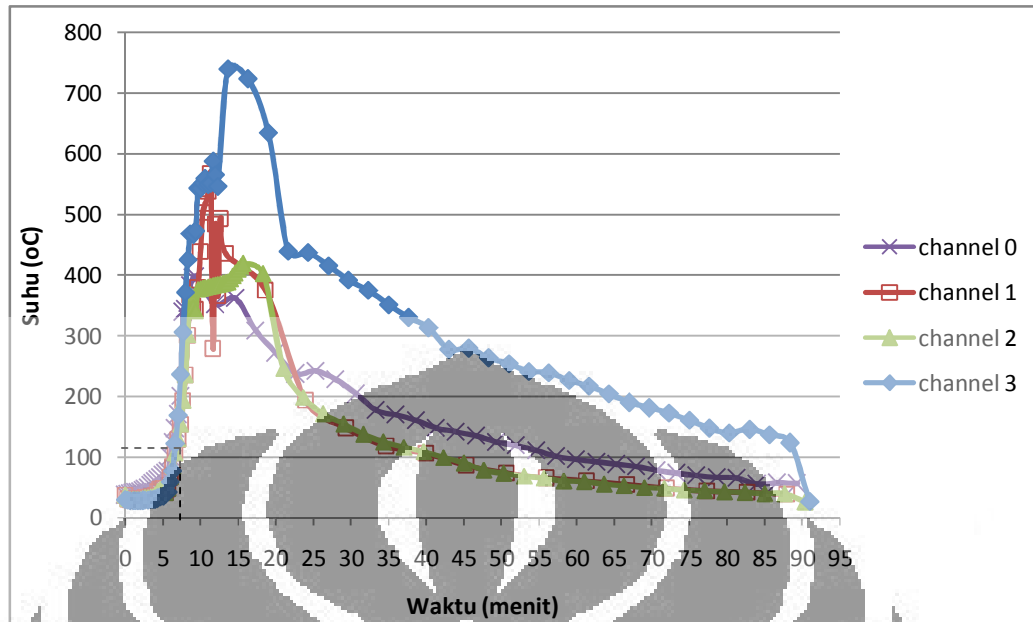
Tabel 4. 1 Perbandingan *Bulk Density* Briket dan Pellet

| Jenis Promotor        | <i>Bulk Density</i> (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------|--|
| Briket Batubara       | 611                                      |
| Pellet Kayu Karet     | 174                                      |
| Pellet Serabut Kelapa | 147                                      |

#### 4.2 Pengukuran Waktu Penyalaan

Waktu penyalaan Sedangkan waktu penyalaan (Wig) adalah waktu mulai batubara masuk sampai nyala api pada saat tercapainya temperatur penyalaan (Koestoer dkk., 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 hal. 102).

Dalam penelitian ini, waktu penyalaan ditandai ketika terjadinya lonjakan suhu yang drastis. Secara umum, pengukuran *ignition time* dilakukan dengan cara berikut. Dalam hal ini, penulis mengambil contoh pengukuran *ignition time* pada variasi briket batubara sebagai promotor. Gambar 4.1 di bawah ini menunjukkan profil temperatur briket pemasakan pada kompor di setiap waktu selama  $\pm 90$  menit. Profil suhu semua *channel* pada setiap variasi promotor dapat dilihat lebih lengkap pada lampiran.



**Gambar 4. 1** Profil Temperatur Briket Pemasakan pada Semua Channel pada Kompor dengan Penggunaan Briket Batubara sebagai Promotor

Untuk mengetahui *ignition time* yang terjadi pada promotor, maka dilakukan pengukuran temperatur dengan menggunakan termokopel. Termokopel yang digunakan sebanyak 4 buah, termokopel pertama (channel 0) digunakan untuk mengukur temperatur pada bagian di bawah lapisan ke 1 kompor, termokopel kedua hingga ketiga (channel 1 dan 2) digunakan untuk mengukur temperatur pada bagian bawah briket pemasakan di lapisan ke 3 yang berada di atas promotor, sehingga dapat diketahui *ignition time* dari briket pemasakan tersebut. Sedangkan termokopel 4 diletakkan di lapisan paling atas (channel 3) digunakan untuk mengetahui temperatur dari briket pemasakan bentuk bantal pada lapisan paling atas..

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa *ignition time* yang terjadi pada channel 1-3 memiliki waktu yang berbeda-beda. Hal tersebut disebabkan karena suplai udara yang berasal dari *blower* pada bagian bawah kompor, tidak merata pada seluruh bagian kompor. Oleh karena itu untuk mengetahui *ignition time* yang terjadi digunakan termokopel lebih dari satu.

Dari grafik, dapat dilihat bahwa pada awal pengujian, suhu cenderung konstan dan tidak ada tanda penyalaan. Hal ini dikarenakan proses perambatan panas membutuhkan cukup lama hingga terlihat bara api pada briket pemasakan



lapisan atas. Namun, setelah sekitar menit ke 7, terjadi lonjakan temperature yang drastis pada briket. Waktu inilah yang dijadikan patokan *ignition time* dari briket, yang ditunjukkan dengan Gambar 4.1. Setelah mencapai temperatur maksimum, temperatur briket turun seiring dengan dimulainya perambatan panas ke bagian briket lain dari briket pemasakan. Penurunan temperatur yang terjadi secara gradual disebabkan oleh habisnya material bahan bakar itu sendiri, sehingga panas yang dihasilkan akan terus menurun.

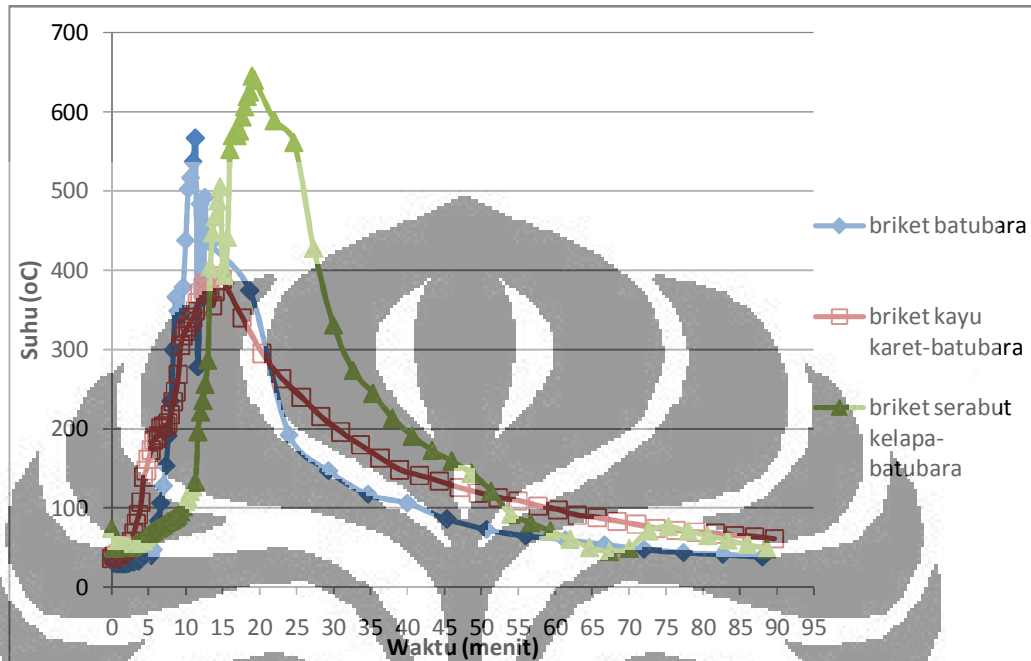
Pada chanel 3 terlihat bahwa temperatur tertinggi yang dihasilkan tidak melebihi  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Hal tersebut disebabkan pada saat briket pemasakan bentuk bantal mulai menyala, briket promotor dan briket pemasakan pada lapisan paling atas telah melewati proses pembakaran. Oleh karena itu, briket promotor dan briket pemasakan akan mengalami penurunan temperatur yang disebabkan berkurangnya massa total dari briket tersebut. Briket pemasakan yang terletak di lapisan paling bawah akan terbakar paling terakhir karena perpindahan panas yang dapat terjadi untuk lapisan bawah adalah hanya dengan perpindahan secara radiasi dan konduksi, tidak seperti pada briket pemasakan yang berada pada lapisan paling atas yang dapat mengalami perpindahan panas secara konduksi radiasi dan konveksi. Konveksi tidak dapat terjadi atau terjadi kurang signifikan karena *driving force* untuk terjadinya konveksi, yaitu aliran udara dari *blower (forced updraft)* mengalir ke atas kompor. Hal tersebut mengakibatkan temperatur pembakaran yang dihasilkan oleh briket pemasakan yang berada pada lapisan paling bawah lebih rendah.

Pada bab ini akan dibandingkan dan dianalisis waktu nyala promotor berdasarkan beberapa parameter, yaitu berdasarkan pengaruh bahan pada briket promotor; pengaruh komposisi biomassa pada briket promotor; serta pengaruh penggunaan briket dan pellet.

### **4.3 Pengaruh Bahan pada Briket Promotor Terhadap *Ignition Time***

Percobaan ini dilakukan dengan tujuan membandingkan waktu dan suhu nyala dengan divariasikannya bahan pembentuk pada briket promotor. Pada analisis ini, variasi bahan yang diamati adalah briket dengan batubara, campuran

batubara-kayu karet, dan campuran batubara-serabut kelapa. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4. 2 Komparasi Profil Temperatur Briket Pemasakan Terhadap Waktu untuk Variasi Bahan Briket Promotor

Pada grafik, terlihat bahwa briket dengan berbahan campuran kayu karet-batubara memiliki waktu nyala yang paling cepat dibanding bahan lain, yaitu sebesar 6.33 menit. Hal ini disebabkan oleh adanya kandungan *volatile matter* yang tinggi (69.76%) pada kayu karet dibanding pada batubara dan serabut kelapa (Fisafarani, 2010). 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). 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, 2000) dan mengakibatkan pembakaran menjadi lebih sempurna dan efisien (Singh dkk., 2009). Membesarnya porositas *char* ini akan berperan saat di mana kandungan *volatile matter* sudah terbakar habis dan mulai terjadi pembakaran pada permukaan *char* (Seo dkk., 2010)

*Bulk density* dari tiap briket juga menjadi faktor penentu lamanya waktu ignisi. Berdasarkan data *bulk density* tiap jenis briket seperti terlihat pada Tabel 4.2, densitas briket berbahan kayu karet-batubara lebih kecil dari briket berbahan batubara.

Tabel 4. 2 *Bulk Density* Briket Berbagai Bahan

| Jenis Briket            | <i>Bulk Density</i> (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------------|--|
| Batubara                | 611                                      |
| Kayu Karet-Batubara     | 489                                      |
| Serabut Kelapa-Batubara | 459                                      |

Seperti dijelaskan sebelumnya, densitas berbanding terbalik dengan porositas suatu bahan, sehingga *flux volatile matter* yang keluar dari permukaan tidak terlalu besar (Scott dkk., 2006). *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 (Grotkjær dkk., 2003). Selain itu, hal ini dapat mengakibatkan juga pengurangan panas yang dapat diterima oleh permukaan partikel. Bila ini terjadi, ignisi bahan bakar padat akan terhambat. Dalam hal ini, kayu karet memiliki *bulk density* yang lebih kecil dari batubara, sehingga fluks *volatile matter* dari permukaan partikel kayu karet tidak besar.

Namun, dapat dilihat juga pada grafik bahwa briket berbahan campuran batubara-serabut kelapa memiliki waktu nyala yang paling lama di banding tiga bahan lainnya, yaitu sebesar 10.33 menit. Dilihat dari kandungan *volatile matter* dan *bulk density*-nya, serabut kelapa memiliki *volatile matters* lebih banyak dibanding batubara dan paling kecil *bulk density*-nya. Namun, serabut kelapa juga memiliki kandungan lignin yang sangat tinggi dibanding biomassa kayu karet, yaitu sebesar 59.4% (Justiz-Smith, 2008). Lignin dikenal memiliki sifat *humectant*, yaitu cenderung dapat mengikat air dan membuat formulasi tetap lembab (Fisafarani, 2010). Hal ini nantinya dapat meningkatkan *moisture content* pada briket yang mengandung serabut kelapa. Dengan meningkatnya *moisture*

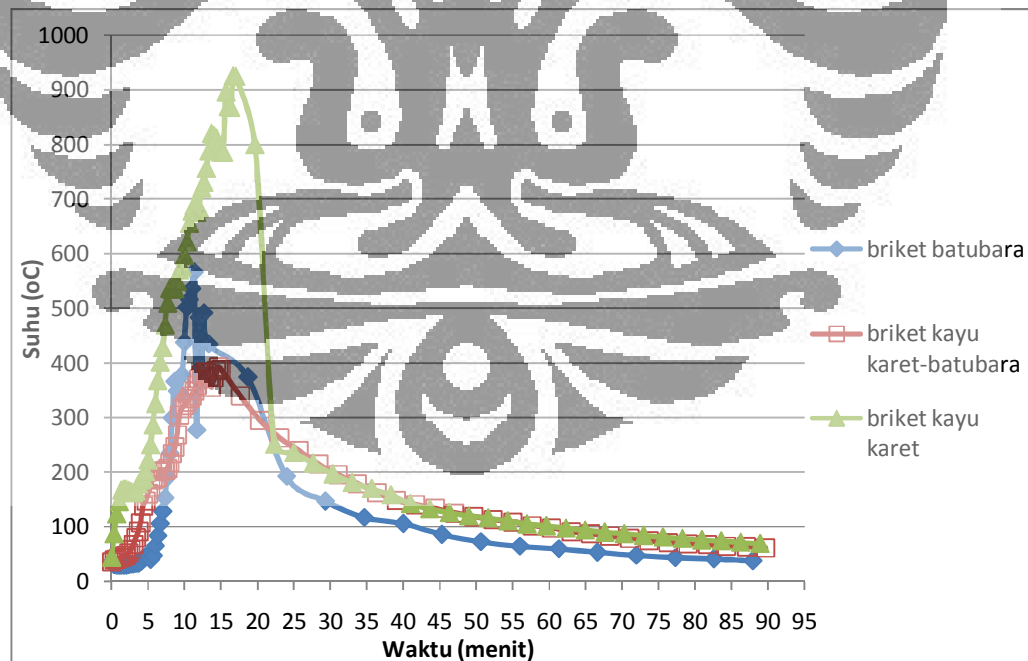
*content* pada briket, ignisi menjadi terhambat karena kandungan air yang cukup banyak pada permukaan briket harus diuapkan terlebih dahulu dengan panas dari sekitar, baru kemudian briket dapat mengalami devolatilisasi dan menyala.

#### 4.4 Pengaruh Komposisi Biomassa pada Briket Promotor Terhadap *Ignition Time*

Pada bagian ini akan membahas pengaruh komposisi tiap jenis biomassa terhadap waktu penyalaan dari briket promotor. Variasi komposisi yang dibandingkan dalam penelitian ini adalah berdasarkan persentase berat dari biomassa yang digunakan: 0%; 50%; dan 100%.

##### 4.4.1 Pengaruh Komposisi Kayu Karet

Berdasarkan Gambar 4.3, dapat dilihat bahwa semakin banyak kayu karet yang terkandung dalam briket, semakin banyak kandungan *volatile matter* pada briket, sehingga semakin cepat waktu ignisi yang dibutuhkan.



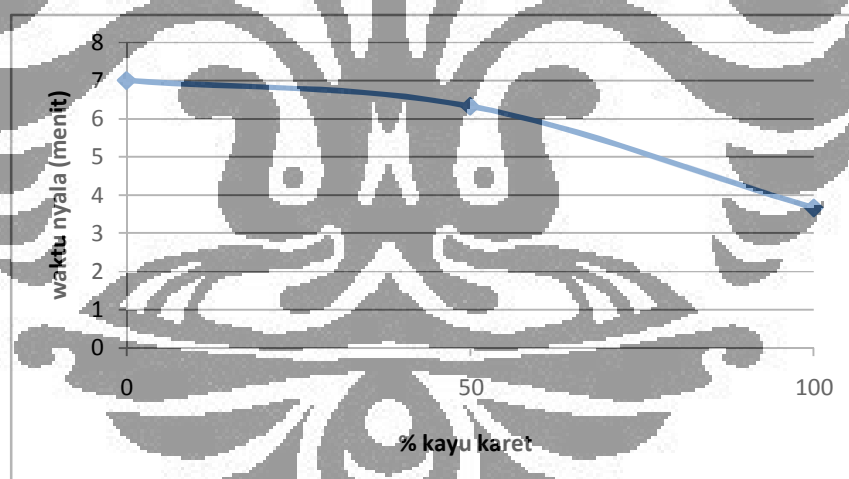
Gambar 4. 3 Komparasi Profil Temperatur Briket Pemasakan Terhadap Waktu untuk Variasi Komposisi Kayu Pohon Karet pada Briket Promotor

Dari grafik di atas, waktu nyala untuk setiap variasi komposisi briket diringkas pada Tabel 4.3.

**Tabel 4. 3 Waktu Nyala Berdasarkan Variasi Komposisi Kayu Karet pada Briket Promotor**

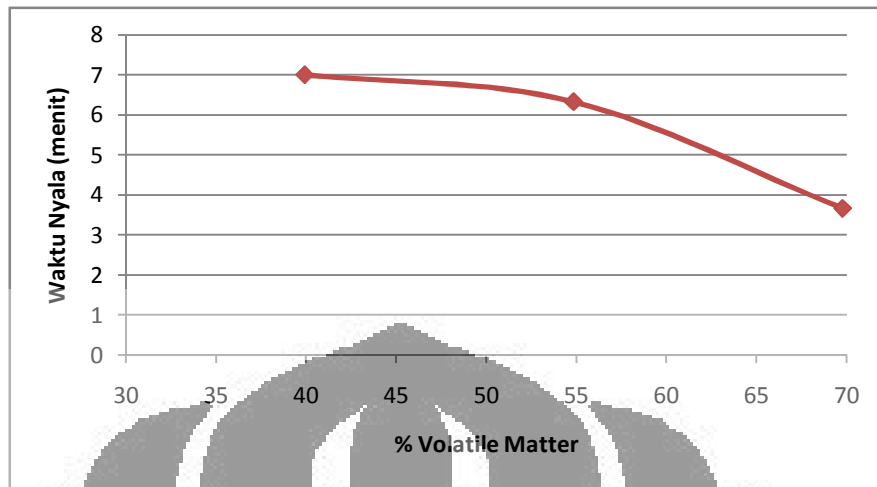
| Komposisi Briket (%) |          | Waktu Nyala (menit) |
|----------------------|----------|---------------------|
| Kayu Karet           | Batubara |                     |
| 0                    | 100      | 7                   |
| 50                   | 50       | 6.33                |
| 100                  | 0        | 3.67                |

Dari tabel di atas, suatu grafik diplot antara pengaruh komposisi kayu karet terhadap waktu nyala yang dibutuhkan promotor, seperti terlihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4. 4 Pengaruh Persentase Kayu Karet Terhadap Waktu Nyala**

Selain itu, dari komposisi serabut kelapa pada briket promotor juga diplot data antara kandungan lignin pada serabut kelapa dan pengaruhnya terhadap waktu nyala. Penentuan kandungan lignin berdasarkan penelitian Justiz-Smith (2008) dan asumsi bahwa batubara tidak mengandung lignin.



Gambar 4. 5 Pengaruh Kandungan *Volatile Matter* pada Kayu Karet terhadap Waktu Nyala

Dengan meningkatnya kandungan kayu karet pada briket, 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). Selain itu, dengan semakin banyaknya kandungan *volatile matter* pada briket, *bulk density* pada briket akan berkurang juga, seperti terlihat pada Tabel 4.4. Semakin kecil *bulk density*, maka semakin besar porositasnya, sehingga dapat mempercepat ignisi briket.

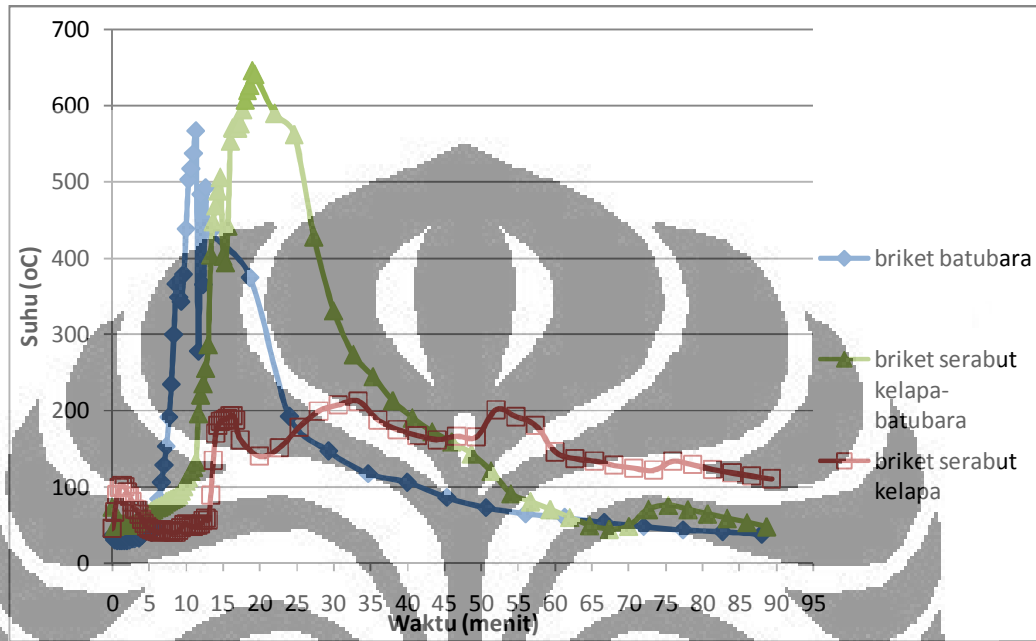
Tabel 4. 4 Densitas Briket dengan Berbagai Komposisi Kayu Karet

| Komposisi Briket (%) |          | <i>Bulk Density</i> (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|----------|--|
| Kayu Karet           | Batubara |  |
| 0                    | 100      | 611                                      |
| 50                   | 50       | 489                                      |
| 100                  | 0        | 306                                      |

#### 4.4.2 Pengaruh Komposisi Serabut Kelapa

Tidak seperti kayu karet, semakin banyak serabut kelapa, waktu ignisi yang dibutuhkan menjadi semakin lama. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Penyebab semakin lamanya waktu ignisi dengan semakin banyaknya serabut kelapa adalah karena kandungan lignin yang tinggi pada serabut kelapa.



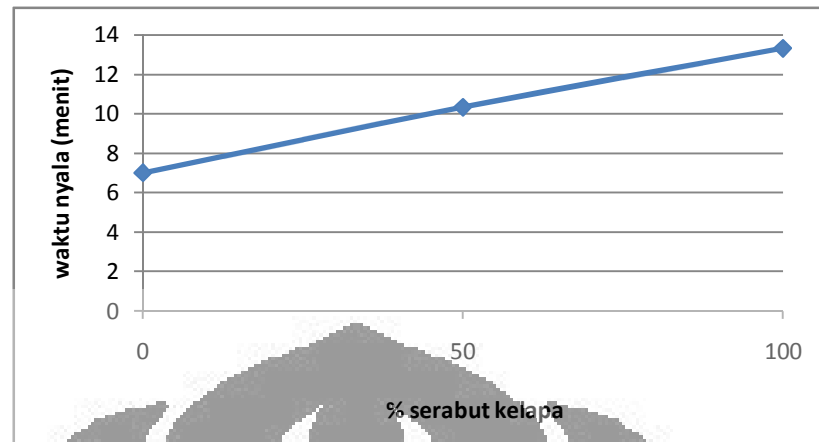
**Gambar 4. 6** Komparasi Profil Temperatur Briket Pemasakan Terhadap Waktu untuk Variasi Komposisi Kayu Serabut Kelapa pada Briket Promotor

Dari grafik di atas, waktu nyala untuk setiap variasi komposisi briket diringkas pada Tabel 4.5.

**Tabel 4. 5 Waktu Nyala Berdasarkan Variasi Komposisi Serabut Kelapa pada Briket Promotor**

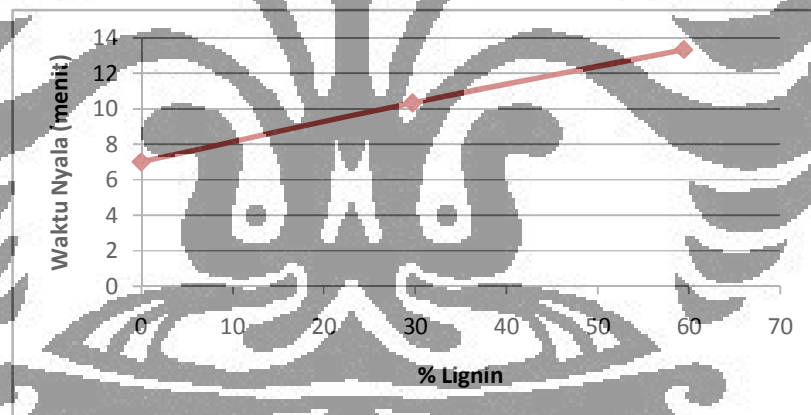
| Komposisi Briket (%) |          | Waktu Nyala (menit) |
|----------------------|----------|---------------------|
| Serabut Kelapa       | Batubara |                     |
| 0                    | 100      | 7                   |
| 50                   | 50       | 10.33               |
| 100                  | 0        | 13.33               |

Dari tabel di atas, suatu grafik diplot antara pengaruh komposisi serabut kelapa terhadap waktu nyala yang dibutuhkan promotor, seperti terlihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Pengaruh Persentase Serabut Kelapa Terhadap Waktu Nyala

Selain itu, dari komposisi serabut kelapa pada briket promotor juga diplot data antara kandungan lignin pada serabut kelapa dan pengaruhnya terhadap waktu nyala. Penentuan kandungan lignin berdasarkan penelitian Justiz-Smith (2008) dan asumsi bahwa batubara tidak mengandung lignin.



Gambar 4. 8 Pengaruh Kandungan Lignin pada Serabut Kelapa terhadap Waktu Nyala

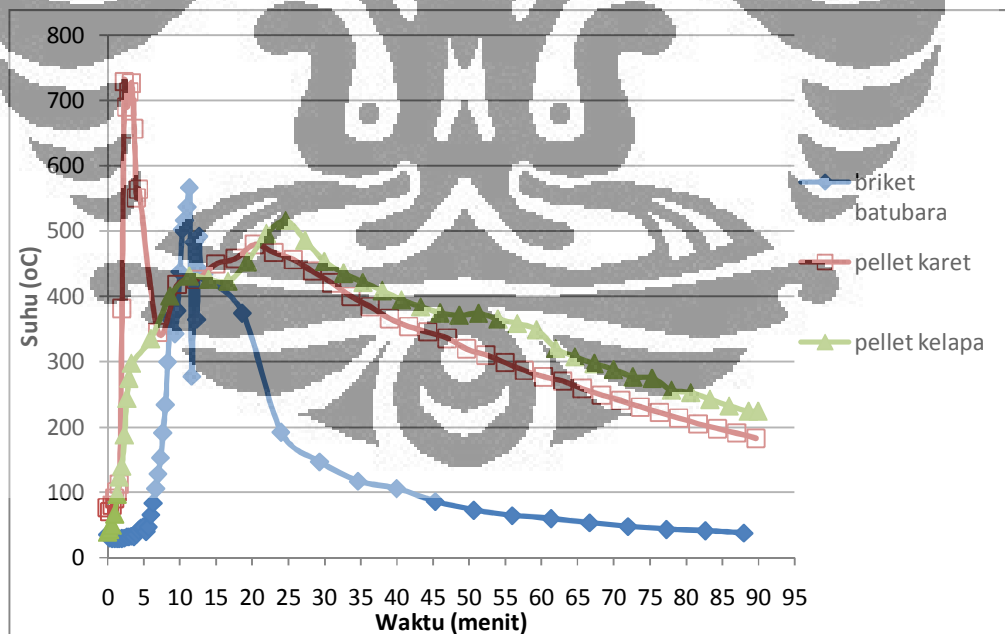
Dengan meningkatnya kandungan serabut kelapa pada briket, kandungan lignin pada briket menjadi lebih banyak. Lignin dikenal memiliki sifat *humectant*, yaitu cenderung dapat mengikat air dan membuat formulasi tetap lembab (Fisafarani, 2010). Hal ini nantinya dapat meningkatkan *moisture content* pada briket yang mengandung serabut kelapa. Dengan meningkatnya *moisture content* pada briket, ignisi menjadi terhambat karena kandungan air yang cukup banyak



pada permukaan briket harus diupkan terlebih dahulu dengan panas dari sekitar, baru kemudian briket dapat mengalami devolatilisasi dan menyala.

#### 4.5 Pengaruh Penggunaan Pellet Sebagai Promotor Terhadap *Ignition Time*

Tujuan dari percobaan ini adalah melihat pengaruh bentuk promotor yang digunakan terhadap waktu dan suhu nyala yang dihasilkan. Variasi yang dibandingkan adalah bentuk promotor yang terdiri dari pellet dan briket. Pellet yang digunakan terbuat dari dua jenis bahan biomassa, yaitu pellet dari serabut kelapa dan pellet dari kayu pohon karet. Parameter yang dijaga konstan pada perbandingan antara pellet dengan briket adalah luas permukaan dari briket dan pellet promotor. Luas permukaan merupakan salah satu parameter yang penting dalam menentukan seberapa optimum suatu perpindahan panas dari satu permukaan padatan ke permukaan lainnya. Semakin besar luas permukaan pada suatu benda, semakin besar laju perpindahan panas yang terjadi dari benda tersebut.



**Gambar 4. 9** Komparasi Profil Temperatur Briket Pemasakan Terhadap Waktu untuk Variasi Bentuk Promotor

Dari Gambar 4.9, dapat dilihat bahwa promotor jenis pellet memerlukan waktu nyala yang jauh lebih cepat dibandingkan promotor briket batubara. Hal ini ditunjukkan oleh grafik bahwa pellet dari bahan kayu pohon karet hanya memerlukan waktu sekitar 1.67 menit untuk meningkatkan suhu secara drastis. Sedangkan promotor pellet dari serabut kelapa memerlukan waktu sekitar 2.1 menit. Peningkatan waktu nyala ini sangat signifikan dibandingkan dengan waktu nyala yang dibutuhkan promotor berbentuk briket dari batubara, seperti terangkum pada Tabel 4.6 .

**Tabel 4. 6** Waktu Nyala Berdasarkan Variasi Bentuk dan Bahan Promotor

| Bentuk Promotor | Bahan Pembentuk Promotor | Waktu Ignisi (Menit) |
|-----------------|--------------------------|----------------------|
| Briket          | Batubara                 | 7                    |
| Pellet          | Kayu Pohon Karet         | 1.67                 |
|                 | Kelapa                   | 2.1                  |

Hal ini dapat terjadi karena struktur pellet yang berbentuk silindris. Dengan bentuk ini, bara yang dapat terbentuk dari hasil penyulutan awal promotor menjadi lebih luas. Ketika disulut, pellet diletakkan secara horizontal sehingga pemanasan merata di sepanjang selimut dari struktur silinder pellet tersebut. Hal ini berbeda dengan penyulutan pada briket. Penyulutan pada promotor berbentuk bola hanya terfokus pada ujung briket sehingga hanya membuat titik bara api di sekitar ujung struktur bola briket. Dengan luas bara api yang lebih luas, perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi dari bara api pada promotor ke permukaan briket pemasakan di sekitarnya akan menjadi lebih tinggi. Ini sesuai dengan persamaan umum yang menyatakan suatu laju perpindahan panas berikut.

$$q = h_{tr} A (T_1 - T_2) \quad (4.1)$$

Di mana,      q      = laju perpindahan kalor  
                    $h_{tr}$     = koefisien perpindahan kalor  
                   A      = luas permukaan benda  
                    $T_1 - T_2$  = perbedaan suhu antara benda yang bertukaran panas

**Universitas Indonesia**

Selain itu, ukuran tiap unit pellet lebih kecil daripada ukuran tiap unit briket. Dengan ukuran yang lebih kecil, perpindahan panas ke dalam massa pellet berlangsung lebih cepat dibandingkan perpindahan panas yang harus terjadi ke dalam massa briket. Sifat pellet ini sangat membantu perpindahan panas konduksi secara internal.

Peranan biomassa yang terkandung di dalam pellet promotor juga dapat berperan dalam mempercepat waktu nyalanya. Seperti dijelaskan sebelumnya, biomassa, dalam hal ini serabut kelapa dan kayu pohon karet, memiliki kandungan *volatile matter* yang lebih tinggi, yaitu sebesar 62.64% pada serabut kelapa dan 69.76% pada kayu pohon karet (Fisafarani, 2010). Sedangkan kandungan *volatile matter* pada batubara hanya 32.4% (Rahardjo, 2008). Semakin banyak kandungan *volatile matter*, semakin cepat waktu nyala yang dibutuhkan karena adanya energi panas yang dilepaskan seiring dengan lepasnya *volatile matter* dari permukaan. Hal ini memungkinkan untuk terjadi karena ketika *volatile matter* terlepas, uap *volatile matter* akan terlebih dahulu dibanding permukaan padatan batubara. Energi panas dari pembakaran *volatile matter* ini dapat memicu ignisi lainnya pada permukaan secara radiasi (Chigier, 1981). 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, 2000) dan mengakibatkan pembakaran menjadi lebih sempurna dan efisien (Singh dkk., 2009). Membesarnya porositas *char* ini akan berperan saat di mana kandungan *volatile matter* sudah terbakar habis dan mulai terjadi pembakaran pada permukaan *char*.

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan briket bio-batubara, briket biomassa, dan pellet biomassa adalah:

1. Waktu nyala yang dibutuhkan briket pemasakan dengan promotor briket batubara yang memiliki *dimples* dan oksigenat adalah 7 menit.
2. Pengaruh penggunaan bahan biomassa pada briket promotor adalah
  - a. Briket promotor dengan bahan campuran batubara-kayu karet dapat mereduksi waktu nyala yang dibutuhkan hingga selama 6.33 menit. Hal ini karena kayu karet memiliki kandungan *volatile matter* yang lebih banyak dan porositas yang lebih besar dari batubara.
  - b. Briket promotor dengan bahan campuran batubara-serabut kelapa memerlukan waktu nyala yang lebih lama dari batubara, yaitu selama 10.33 menit. Hal ini karena serabut kelapa memiliki kandungan lignin yang tinggi yang bersifat *humectant*.
3. Pengaruh komposisi biomassa pada briket promotor adalah
  - a. Semakin banyak kandungan kayu karet pada briket promotor, semakin cepat waktu nyala yang dibutuhkan. Dengan komposisi 100% kayu karet, waktu nyala yang dibutuhkan adalah 3.67 menit. Hal ini karena kandungan *volatile matter* pada briket menjadi semakin tinggi.
  - b. Semakin banyak kandungan serabut kelapa pada briket promotor, semakin lama waktu nyala yang dibutuhkan. Dengan komposisi 100% serabut kelapa, waktu nyala yang dibutuhkan adalah 13.33 menit. Hal ini karena kandungan lignin pada briket menjadi semakin tinggi, sehingga meningkatkan kandungan *moisture* pada briket.
4. Pengaruh penggunaan pellet sebagai promotor adalah:

Dengan menggunakan promotor dalam bentuk pellet, waktu nyala yang dibutuhkan dapat dipercepat secara signifikan karena memiliki porositas yang lebih besar dan bara api yang lebih luas setelah penyulutan. Pellet kayu

karet membutuhkan waktu 1.67 menit untuk menyala, sedangkan pellet serabut kelapa membutuhkan 2.1 menit.

## 5.2 Saran

1. Pada penelitian ini diperlukan analisis proksimat dan ultimat untuk menentukan lebih detail komposisi yang terkandung pada tiap bahan promotor
2. Perlu adanya modifikasi alat penyulut awal promotor sehingga penyulutan dapat dilakukan lebih aman dan lebih efisien.



## DAFTAR PUSTAKA

- Aylward, Gordon dkk. *SI Chemical Data Book* (4th ed.). Jacaranda. Wiley. 1999
- Balai Besar Teknologi Energi. *Kompur dan Briket Batubara Ramah Lingkungan*. Serpong. 2004
- Balia, L. *Penelitian dan Pengembangan Briket Batubara di Indonesia*. Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral RI. 2006
- Belkin, Harvey E. dan Tewalt, Susan J. *Geochemistry of Selected Coal Samples from Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, and Papua, Indonesia*. 2007
- Chigier, Norman. *Energy, Combustion, and Environment*. Amerika Serikat. McGraw Hill Inc.
- Choi, J., Jeon, W.P. and Choi, H., Mechanism of drag reduction by dimples on a sphere, *Phys. Fluids*, 18, 2006.
- Dava J., *Interactive Aerospace Engineering and Design*, McGraw-Hill Education, 2000.
- Davies, T.W. dan Beer, J.M., Flow in the wake of bluff-body flame stabilizers, *Proceedings of 13<sup>th</sup> Symposium (International) on Combustion*, pp 631-638, 1971.
- Demirbas, Ayhan dkk. *Briquetting Properties of Biomass Waste Materials*. Turkey. 2004.
- Devnarain, P. B. dkk. *Production of Activated Carbon from Suth African Sugarcane Bagasse*. Durban. 2002
- European Biomass Industry Association. [www.eubia.org](http://www.eubia.org). 1 Maret 2009. 12:05 WIB.
- F. A. and Cleary, E., *Carbonaceous fuel briquettes with an oxidizer salt for ignition enhancement*, UK Pat. Appl. GB 2,315,278, 28 Jan 1998, Appl. 96/15,039, 17 Jul 1996, 12 pp., 1998.
- Fisafarani, Hanani. "Identifikasi Karakteristik Sumber Daya Biomasa dan Pengembangan Pelet Biomasa di Indonesia." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI. Depok. 2010
- Hasibuan, Frengky. "Peningkatan Kualitas Penyalaan Briket Batubara Melalui Penambahan Oksidator." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI. Depok. 2006
- International Energy Agency. *World Energy Outlook 2009*. Paris. 2009

- Lau, C.W., and Niksa, S., The combustion of individual particles of various coal types, *Combustion and Flame*, vol. 90, pp. 45-70, 1992.
- Lu, Gaoking. *Experimental Study on Combustion and Pollutant Control of Biobriquette*. Japan. 2000
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006.
- Purwanto, Widodo Wahyu dkk. *Biomass Waste and Biomass Pellets Characteristics and Their Potential in Indonesia*. Depok. 2010
- Rahardjo, Bambang Suwondo. *Research and Development on Biomass Fluidized-Bed Gasification*. 2008
- R. A, Koestoer, dkk. *Studi Tentang Batubara Indonesia: Potensi, Teknologi, dan Prospek Pemanfaatannya* (Depok: Laboratorium Perpindahan Kalor FTUI, 1997)
- Shaw M.D., dkk. *Physicochemical Characteristics of Densified Untreated and Steam Exploded Poplar Wood and Wheat Straw Grinds*. Biosystems Engineering. 2009. pp 1-10.
- Saptoadi, Harwin. *The Best Biobriquette Dimension and its Particle Size*. Yogyakarta. 2006
- Sari, Sandra Dwi. "Efek Kecepatan Superfisial Udara Pembakaran dan Tinggi Chimney Terhadap Waktu Penyalaan Kompor Briket Batubara." Skripsi. Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007
- Scott, S.A. dkk. *The devolatilisation of particles of a complex fuel, (dried sewage sludge) in a fluidised bed*. University of Cambridge, UK. 2006
- Senneca, Osvalda. *Kinetics of pyrolysis, combustion and gasification of three biomass fuels*. Naples, Italy. 2006
- Seo, Myung Won dkk. 2010. *Gasification Characteristics of Coal/Biomass Blend in a Dual Circulating Fluidized Bed Reactor*. Republic of Korea
- Setiawan, Bambang. 2006. *Kebijakan Umum Pemanfaatan Batubara dan Rancangan Undang-Undang Mineral dan Batubara*. www.esdm.go.id
- Singh dkk. 2009. *Biobriquettes-an Alternative Fuel for Sustainable Development*.
- Smoot, L.D. *Fossil Fuel Combustion: A Source Book*. pp. 653-781. Eds. Bartok, W. and Sarofim, A.F., Wiley-Interscience. 1991
- Suminar, Ratna. *Pengaruh Variasi Loading dan Bentuk Briket Promotor Terhadap Waktu Penyalaan Kompor Briket Batubara*. Depok. 2008
- Suprpto, Muhammad. *Innovative Financing to Promote Bio Coal Briquette as An Alternative Fuel in Indonesia*. Bonn, 2005.

Tilman, David. *Firing Sawdust and Tire-Derived Fuel with Coal at Willow Island Generating Station*. Pao Alto. 2001

Tim Kajian Batubara Nasional. *Batubara Indonesia*. 2006

Tsay, Ming Tseh. *Characterization of rice husk ash-supported nickel catalysts prepared by ion exchange*. 2000

W. Bartok, A. F. Sarofim. *Fossil fuel Combustion: A source Book* (Wiley-Interscience, 1991)

Wilaipon, Patomsok, *Density Equation of Bio-Coal Briquettes and Quantity of Maize Cob in Phitsanulok, Thailand*. Thailand, 2008

Williams, A, Pourkashanian, M, Jones, J.M. *Combustion and Gasification of Coal*. Department of Fuel and Energy, Leeds, UK, Edited by N.Skorupska. Taylor & Francis. 2000

ZREU (Zentrum fur Rationell Energieanwendung and Umwelt GmbH), 2000. *Biomass in Indonesia-Business*.

