

**IDENTIFIKASI KARAKTERISTIK SUMBER DAYA  
BIOMASSA DAN POTENSI BIO-PELET DI INDONESIA**

**SKRIPSI**

**HANANI FISAFARANI  
0606076425**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM SARJANA  
DEPOK  
JUNI 2010**

**IDENTIFIKASI KARAKTERISTIK SUMBER DAYA  
BIOMASSA DAN POTENSI BIO-PELET DI INDONESIA**

**SKRIPSI**

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

**HANANI FISAFARANI  
0606076425**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM SARJANA  
DEPOK  
JUNI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Hanani Fisafarani**

**NPM : 0606076425**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 2 Juli 2010**


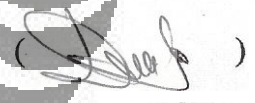


## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Hanani Fisafarani  
NPM : 0606076425  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Identifikasi Karakteristik Sumber Daya Biomassa dan  
Potensi Bio-Pelet di Indonesia

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 : Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA (  )  
Pembimbing II : Ir. Dijan Supramono, M.Sc. (  )  
Penguji : Dr. rer. nat. Ir. Yuswan Muharam, MT (  )  
Penguji : Ir. Praswasti PDK Wulan, MT (  )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 2 Juli 2010

## 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) Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA. selaku dosen pembimbing I dan Ir. Dijan Supramono, M.Sc. selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Orang tua dan seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan yang sangat berarti baik berupa material dan moral;
- (3) Pihak Departemen Pertanian, Puslitbang TekMira, dan Biomaterial LIPI yang telah membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (4) Anin, Nita, Falah, dan Hadi yang telah sangat membantu dan mencurahkan perhatian, kasih sayang, dan kesabarannya sampai saat ini;
- (5) Mang Ijal, Kang Jajat dan semua staff departemen yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini;
- (6) Peby, sebagai teman satu perjuangan Jantai 4 dan pensuplai tandan kosong kelapa sawit.
- (7) Teman-teman angkatan 2006 yang sama-sama saling memberi semangat dalam perjuangan menyelesaikan skripsi masing-masing.

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, 2 Juli 2010

Penulis

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

---

---

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

Nama : Hanani Fisafarani  
NPM : 0606076425  
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:

**Identifikasi Karakteristik Sumber Daya Biomassa dan Potensi Bio-Pelet di  
Indonesia**

berserta 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 : 2 Juli 2010

Yang menyatakan



(Hanani Fisafarani)

## ABSTRAK

Nama : Hanani Fisafarani  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Identifikasi Karakteristik Sumber Daya Biomassa dan Potensi Bio-Pelet di Indonesia

Biomassa merupakan energi alternatif yang dapat menjadi salah satu solusi untuk mengatasi krisis energi di Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi karakteristik sumber daya biomassa dan potensi bio-pelet yang terdapat di Indonesia, untuk mengetahui bahan baku yang dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai bio-pelet. Sumber daya biomassa yang memiliki potensi tinggi untuk dikembangkan di Indonesia antara lain jerami, sekam, kayu kamper, kayu karet, serabut kelapa, tandan kosong kelapa sawit, dan bagas. Analisis yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik tiap biomassa adalah analisis proksimat, ultimat, dan kandungan biopolimer. Tiap bahan baku biomassa dibentuk menjadi pelet silindris dengan diameter 0,8 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Indonesia memiliki potensi sebesar 1238,71 juta GJ/tahun terhadap produksi bio-pelet dari limbah biomassa. Nilai kalor yang paling tinggi adalah serabut kelapa dengan nilai 4161 kal/g, sedangkan temperatur pembakaran tertinggi dimiliki oleh jerami dengan nilai 712 °C.

Kata kunci:  
karakteristik; biomassa; bio-pelet; pembakaran; nilai kalori; temperatur; emisi.

## ABSTRACT

Name : Hanani Fisafarani  
Study Program : Chemical Engineering  
Title : The Identification of Biomass Resources Characteristics  
and Bio-Pellet Potency in Indonesia

Biomass is an alternative energy that could become one of solution to overcome energy deficit in Indonesia. The goal of this research is to identify biomass resources characteristics and bio-pellet potency, so the best feedstock can be used optimally to made bio-pellet fuel. Biomass recources that have high potentials to be developed in Indonesia are rice straw, rice husk, kamper wood, rubber wood, coconut fiber, empty fruit bunches of palm oil, and bagasse. Type of analysis that have been done to acknowledge the characteristics of each biomass are ultimate, proximate and biopolymer analysis. Each biomass will be constructed as a cylindrical biomass pellet with  $d = 0,8$  cm. The result of this research shows that Indonesia has 1238,71 million GJ/year potency for bio-pellet production from waste biomass. Coconut fiber have the highest heating value (4161 cal/g) and rice straw have the highest combustion's temperature (712 °C).

Key words:  
characteristics; biomass; bio-pellet; combustion; heating value; temperature;  
emission.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Biomassa.....	5
2.1.1 Definisi Biomassa.....	5
2.1.2 Sumber Daya Biomassa.....	5
2.1.3 Kandungan Biomassa .....	7
2.1.4 Sifat dan Karakteristik Biomassa .....	11
2.2 Metode Karakterisasi Biomassa .....	15
2.2.1 Metode Analisis <i>Proximate</i> .....	15
2.2.2 Metode Analisis <i>Ultimate</i> .....	17
2.2.3 Metode <i>Scanning Electron Microscoop</i> (SEM).....	18
2.3 Proses Konversi Biomassa .....	18
2.4 Pelet Biomassa.....	19
2.4.1 Kualitas Pelet Biomassa .....	20
2.4.2 Perbandingan Pellet Biomassa di Dunia .....	21
2.5 Proses Produksi Pelet Biomassa .....	21
2.5.1 Mereduksi Ukuran Bahan Baku .....	22
2.5.2 Pengeringan .....	23
2.5.3 Pencampuran .....	23
2.5.4 Persiapan .....	23
2.5.5 Proses <i>Pelletizing</i> .....	24
2.5.6 Pengayakan dan Pendinginan .....	26
2.5.7 Faktor-Faktor yang Perlu Diperhatikan pada Proses Densifikasi .....	27
2.6 Pembakaran Biomassa .....	29
2.6.1 Tahap-Tahap Pembakaran .....	29
2.6.2 Faktor Pengontrol Pembakaran .....	32
2.6.3 Emisi Pembakaran Biomassa .....	33
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>35</b>

3.1	Alat dan Bahan .....	36
3.1.1	Alat dan Bahan Tahap Persiapan Bahan Bakar .....	36
3.1.2	Alat dan Bahan Tahap Pengujian Kandungan Biopolimer .....	36
3.1.3	Alat dan Bahan Tahap Analisis Proksimat dan Ultimat .....	37
3.1.4	Alat dan Bahan Tahap Pengujian Nilai Kalori .....	38
3.1.5	Alat dan Bahan Tahap Konstruksi Pelet Biomassa .....	38
3.1.6	Alat dan Bahan Tahap Pengujian Pembakaran .....	38
3.2	Tahapan Penelitian .....	39
3.2.1	Tahap Preparasi Bahan Baku Biomassa .....	39
3.2.2	Tahap Analisis Biomassa .....	40
3.2.2.1	Pengujian Karakteristik Fisik Biomassa .....	40
3.2.2.2	Pengujian Karakteristik Kimia Biomassa .....	40
3.2.2.3	Analisis Nilai Kalor .....	48
3.2.3	Pembuatan Pelet Biomassa .....	49
3.2.4	Pengujian Pelet Biomassa .....	49
3.2.4.1	Pengujian Densitas Bulk .....	49
3.2.4.2	Pengujian Pembakaran .....	50
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>51</b>
4.1	Hasil Preparasi Biomassa .....	51
4.2	Sifat dan Karakteristik Biomassa .....	51
4.2.1	Morfologi Biomassa .....	51
4.2.2	Komposisi Biomassa .....	54
4.2.3	Nilai Kalor Biomassa .....	58
4.3	Potensi Proses Konversi Biomassa .....	60
4.4	Pelet Biomassa .....	63
4.4.1	Densitas Bulk .....	64
4.5	Potensi Pelet Biomassa di Indonesia .....	66
4.6	Performa Pembakaran Pelet Biomassa .....	68
4.6.1	Profil Temperatur Pembakaran .....	68
4.6.2	Profil Emisi Pembakaran .....	71
4.6.3	Pembakaran pada Furnace Vs Aplikasi pada Kompor Biomassa .....	74
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN .....</b>	<b>76</b>
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>77</b>
	<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>80</b>

## DAFTAR GAMBAR

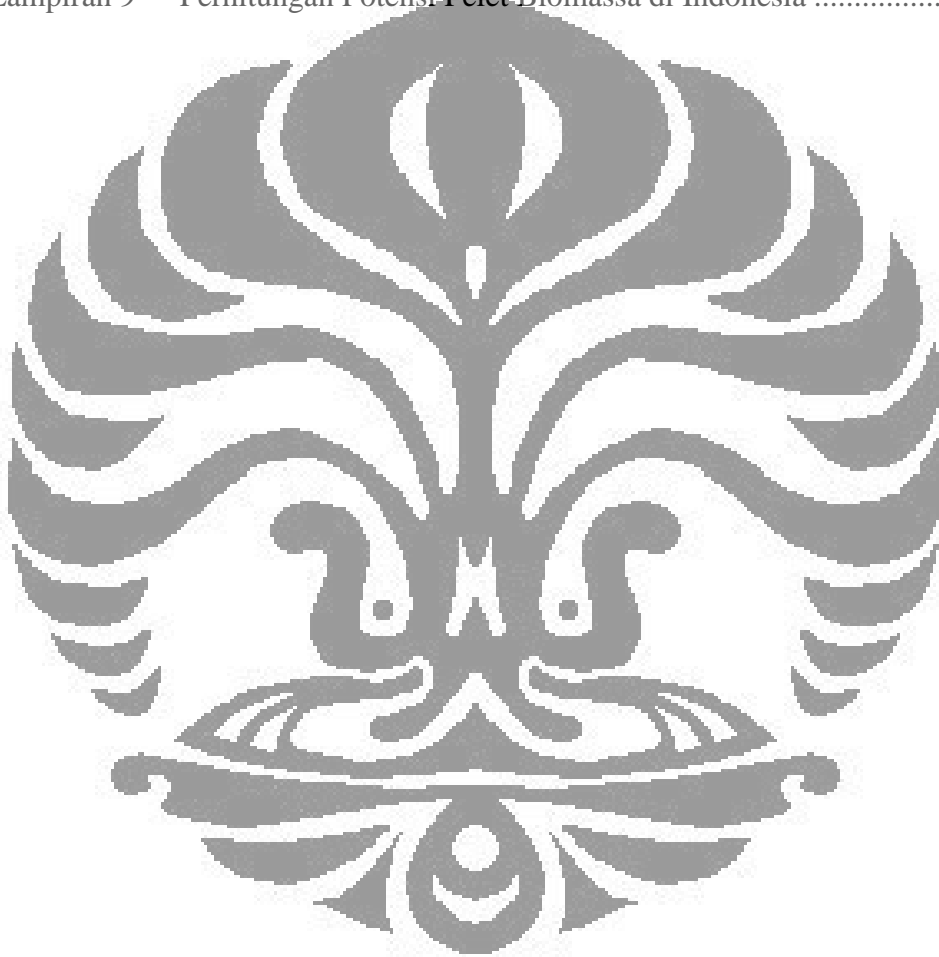
Gambar 2.1.	Contoh biomassa (a) jerami; (b) pohon karet; (c) tebu .....	5
Gambar 2.2.	Potensi biomassa di Indonesia .....	6
Gambar 2.3.	Komposisi lignin, hemiselulosa dan selulosa .....	8
Gambar 2.4.	Struktur selulosa .....	9
Gambar 2.5.	Struktur hemiselulosa .....	10
Gambar 2.6.	Struktur lignin .....	11
Gambar 2.7.	Nilai kalor dari biomassa (LHV dan HHV) sebagai fungsi dari <i>moisture content</i> .....	14
Gambar 2.8.	SEM dari biomassa; a) <i>mallee</i> b) <i>pine chip</i> .....	18
Gambar 2.9.	Bentuk Pelet Biomassa .....	20
Gambar 2.10.	Skema proses produksi pellet biomassa .....	22
Gambar 2.11.	<i>Flat die</i> dan <i>ring die</i> .....	25
Gambar 2.12.	Pembakaran kayu .....	29
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian .....	35
Gambar 3.2.	Mesin <i>cold press</i> .....	49
Gambar 4.1.	Sampel biomassa setelah melalui tahap preparasi bahan baku: (a) jerami, (b) sekam, (c) kayu kamper, (d) kayu karet, (e) serabut kelapa, (f) TKKS, (g) bagas .....	51
Gambar 4.2.	Hasil SEM untuk masing-masing jenis biomassa: (a) jerami, (b) sekam, (c) kayu kamper, (d) kayu karet, (e) serabut kelapa (f) TKKS, (g) bagas .....	52
Gambar 4.3.	Densitas bulk serbuk biomassa (ukuran partikel 1 mm) .....	53
Gambar 4.4.	Hubungan antara kadar karbon dengan HHV .....	59
Gambar 4.5.	Perbandingan antara HHV <sub>percobaan</sub> dengan HHV <sub>teoritis</sub> .....	60
Gambar 4.6.	Pelet Biomassa kiri-kanan: jerami, sekam, kayu kamper, kayu karet, serabut kelapa, TKKS, bagas .....	64
Gambar 4.7.	Cetakan pelet untuk proses densifikasi .....	64
Gambar 4.8.	Hubungan antara Adensitas bulk dengan kandungan air .....	66
Gambar 4.9.	Perbandingan temperatur pembakaran terhadap jenis pelet biomassa .....	69
Gambar 4.10.	Hubungan antara Adensitas bulk dengan temperatur puncak pembakaran .....	70
Gambar 4.11.	Hubungan antara kadar air dengan waktu terjadinya temperatur puncak pembakaran .....	71
Gambar 4.12.	Profil emisi CO <sub>2</sub> terhadap fungsi waktu .....	72
Gambar 4.13.	Profil emisi CO terhadap fungsi waktu .....	73

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Klasifikasi sumber daya biomassa .....	6
Tabel 2.2.	Potensi energi dari limbah biomassa di Indonesia .....	7
Tabel 2.3.	Komposisi biopolimer biomassa .....	8
Tabel 2.4.	Kandungan sulfur dan klorida pada beberapa jenis biomassa .....	12
Tabel 2.5.	Karakteristik biomassa dari tipe bahan bakar biomassa yang berbeda-beda .....	12
Tabel 2.6.	Komposisi unsur dari biomassa .....	13
Tabel 2.7.	Hasil uji analisis proksimat biomassa .....	16
Tabel 2.8.	Contoh hasil uji analisis ultimat biomassa .....	18
Tabel 2.9.	Konversi biomassa menjadi energi .....	19
Tabel 2.10.	Perbandingan 5 pelet biomassa di berbagai negara di dunia .....	21
Tabel 2.11.	Ukuran biomassa yang tepat untuk berbagai jenis sistem pembakaran .....	23
Tabel 2.12.	Emisi dari pembakaran bahan baku biomassa .....	34
Tabel 3.1.	Sampel biomassa .....	39
Tabel 4.1.	Hasil analisis proksimat sampel biomassa setelah perlakuan awal .....	54
Tabel 4.2.	Hasil analisis ultimat sampel biomassa setelah perlakuan awal .....	56
Tabel 4.3.	Hasil analisis kandungan biopolimer biomassa .....	57
Tabel 4.4.	Nilai Kalor Biomassa .....	58
Tabel 4.5.	Rekomendasi tipe proses konversi untuk tiap jenis biomassa .....	61
Tabel 4.6.	Densitas bulk pelet biomassa .....	65
Tabel 4.7.	Potensi Pelet Biomassa di Indonesia .....	67
Tabel 4.8.	Perbandingan pembakaran pelet kayu kamper pada furnace dan kompor biomasa .....	75

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan Densitas dan Massa.....	77
Lampiran 2	Hasil Analisa Proksimat dan Ultimat.....	78
Lampiran 3	Hasil Analisa Nilai Kalori.....	79
Lampiran 4	Hasil Analisa Kandungan Biopolimer .....	80
Lampiran 5	Perhitungan Nilai Kalori Teoritis.....	81
Lampiran 6	Data Temperatur Pembakaran Pelet Biomassa .....	82
Lampiran 7	Data Kalibrasi CO dan CO <sub>2</sub> .....	85
Lampiran 8	Pengolahan Data Emisi Pembakaran .....	87
Lampiran 9	Perhitungan Potensi Pelet Biomassa di Indonesia .....	90



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tidak dapat kita pungkiri bahwa sebagai makhluk hidup, kita tidak akan dapat lepas dari energi. Di Indonesia, kebutuhan dan ketergantungan energi sangat tinggi dikarenakan populasi penduduk, jumlah pabrik, perkantoran, dan industri yang sangat besar (Susilaningih dkk., 2008). Sampai saat ini, bahan bakar yang sering digunakan dalam rumah tangga adalah bahan bakar fosil seperti LPG dan minyak tanah, karena bahan bakar fosil ini memiliki nilai bakar (*heating value*) yang cukup tinggi dan mudah terbakar. *Energy Information Administration* (EIA) memperkirakan bahwa pemakaian energi dunia untuk waktu mendatang hingga tahun 2025 masih didominasi oleh bahan bakar dari fosil: minyak, gas alam dan batubara (Kedepatian Bidang Kajian Lemhannas RI, 2006). Namun pada kenyataannya, bahan bakar fosil memiliki sifat tidak dapat diperbaharui dan proses terbentuknya memerlukan waktu jutaan tahun. Oleh karena itulah, kita harus mencari alternatif energi lainnya sebagai solusi permasalahan krisis energi yang melanda bangsa ini.

Salah satu alternatif yang sangat menarik adalah biomassa karena sifatnya yang dapat diperbaharui. Pada awalnya, penggunaan energi untuk masyarakat pedesaan sektor rumah tangga didominasi oleh penggunaan biomassa (*solid fuels*) melalui pembakaran langsung (tanpa diolah terlebih dahulu) yang berasal dari siklus biologis dan terbarukan (seperti limbah kayu, pertanian, dll). Selain itu, potensi dalam mengaplikasikan biomassa di Indonesia juga cukup besar. Hal ini dapat ditinjau dari ketersediaan biomassa di Indonesia yang melimpah tetapi belum dimanfaatkan secara optimal terutama untuk limbah biomassa. Produksi biomassa di Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 123,5 juta ton per tahun dan setara dengan sekitar 1455,97 juta GJ/tahun. Sumber biomassa tersebut terutama berasal dari limbah tanaman padi sebesar 705 juta GJ/tahun, limbah kayu perkebunan karet sekitar 46,45 juta GJ/tahun, limbah tebu 91,19 sebesar 70,65 juta GJ/tahun, limbah kelapa sawit dengan jumlah 247,15 juta GJ/tahun, limbah

kelapa sebesar 162,3 juta GJ dan sisanya sebesar 214,19 GJ/tahun berasal dari limbah kelapa, limbah industri kayu, dan limbah cair pabrik tapioka (ZREU, 2000).

Namun, apabila biomassa tersebut hanya dibakar langsung maka akan timbul permasalahan, seperti nilai bakar yang rendah, nilai densitas bulk yang rendah, serta kadar emisi polutan yang tinggi. Untuk menyelesaikan masalah tersebut dan memperoleh hasil yang optimal, biomassa tersebut harus diolah terlebih dulu dengan memperhatikan faktor-faktor yang berpengaruh pada segi pembakaran. Karakteristik pembakaran biomassa sebagian besar dipengaruhi oleh komposisi dari bahan baku yang digunakan (Ohman, 2006). Namun, permasalahannya adalah tiap biomassa memiliki perbedaan karakteristik yang cukup signifikan dan memerlukan proses yang berbeda. Tanpa mengetahui karakteristik dari tiap biomassa, seperti komposisi dan sifat, maka kita juga tidak akan tahu proses apa yang optimal untuk jenis biomassa tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu identifikasi untuk mengetahui karakteristik dari biomassa tersebut.

Untuk proses pembakaran langsung, proses densifikasi juga perlu dilakukan untuk memperoleh pelet biomassa dengan densitas bulk dan nilai bakar yang lebih tinggi, emisi yang rendah, porositas yang rendah, serta penggunaan yang praktis terutama dalam hal transportasi dan penyimpanannya. Pada proses densifikasi, lignin memiliki peran yang sangat penting, yaitu sebagai perekat biomassa (Ohman, 2006). Bahan baku dengan kadar lignin yang rendah dapat ditanggulangi dengan menambahkan zat perekat tambahan seperti minyak sayur dan kanji.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi karakteristik sumber daya biomassa di Indonesia sehingga dapat diketahui jenis proses yang optimal untuk mengkonversi biomassa menjadi energi, serta mengidentifikasi potensi bio-pelet di Indonesia. Hal ini dilakukan agar diperoleh pelet biomassa dengan kualitas yang lebih baik, yaitu memiliki nilai bakar yang optimal dan dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif menggantikan bahan bakar fosil seperti LPG dan minyak tanah.

## 1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana mengidentifikasi jenis biomassa di Indonesia yang optimal untuk diproses menjadi bahan bakar dan bagaimana cara mengidentifikasi potensi bio-pelet di Indonesia sehingga didapatkan bio-pelet dengan nilai kalor dan temperatur pembakaran yang optimal.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi karakteristik sumber daya biomassa dan potensi bio-pelet yang terdapat di Indonesia, untuk mengetahui bahan baku yang dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai bio-pelet sehingga didapatkan bio-pelet dengan nilai kalor dan temperatur pembakaran yang optimal.

## 1.4 Batasan Masalah

Masalah yang dibahas dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan bahan baku biomassa berupa jerami, sekam padi, serbuk gergaji kayu kamper, kayu pohon karet, serabut kelapa, tandan kosong kelapa sawit dan ampas tebu (bagas).
2. Untuk mengetahui komposisi kandungan biomassa, dilakukan analisis proksimat, ultimat, dan kandungan biopolimer
3. Pelet biomassa dibentuk silindris
4. Uji pembakaran dilakukan pada sebuah pelet
5. Pengidentifikasian konsentrasi emisi gas CO<sub>2</sub> dilakukan dengan analisis Gas Chromatography dan konsentrasi emisi gas CO dilakukan dengan *portable CO-detektor*.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam makalah ini adalah sebagai berikut :

### BAB 1 : PENDAHULUAN

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

### BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA



Menjelaskan tentang berbagai aspek yang berkaitan dengan biomassa, pelet biomassa, proses pengolahan biomassa dari bahan mentah hingga menjadi pelet dan karakteristik biomassa yang mempengaruhi proses tersebut, sproses pembakaran serta karakteristik biomassa yang mempengaruhi proses tersebut, serta pengujian emisi.

**BAB 3 : METODE PENELITIAN**

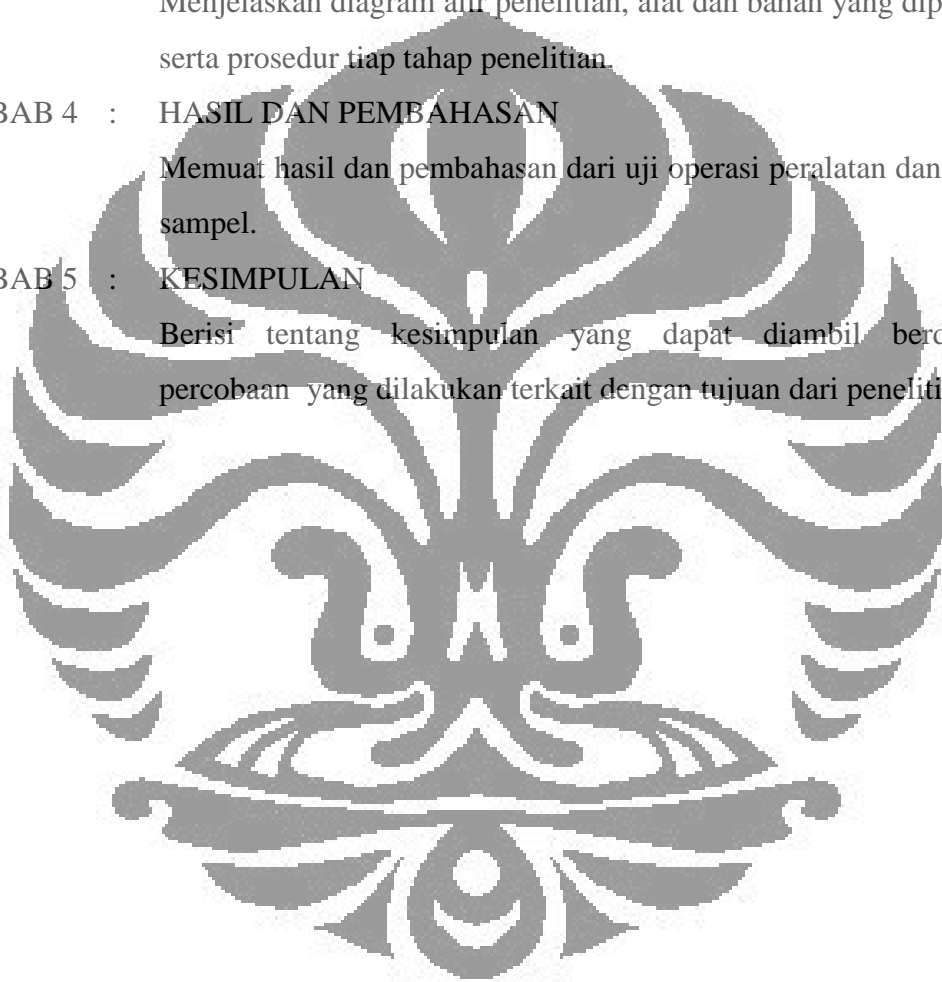
Menjelaskan diagram alir penelitian, alat dan bahan yang diperlukan, serta prosedur tiap tahap penelitian.

**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

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Biomassa

##### 2.1.1 Definisi 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.



(a) (b) (c)  
Gambar 2.1. Contoh biomassa (a) jerami; (b) pohon karet; (c) tebu

##### 2.1.2 Sumber Daya Biomassa

###### 2.1.2.1 Klasifikasi Sumber Daya Biomassa

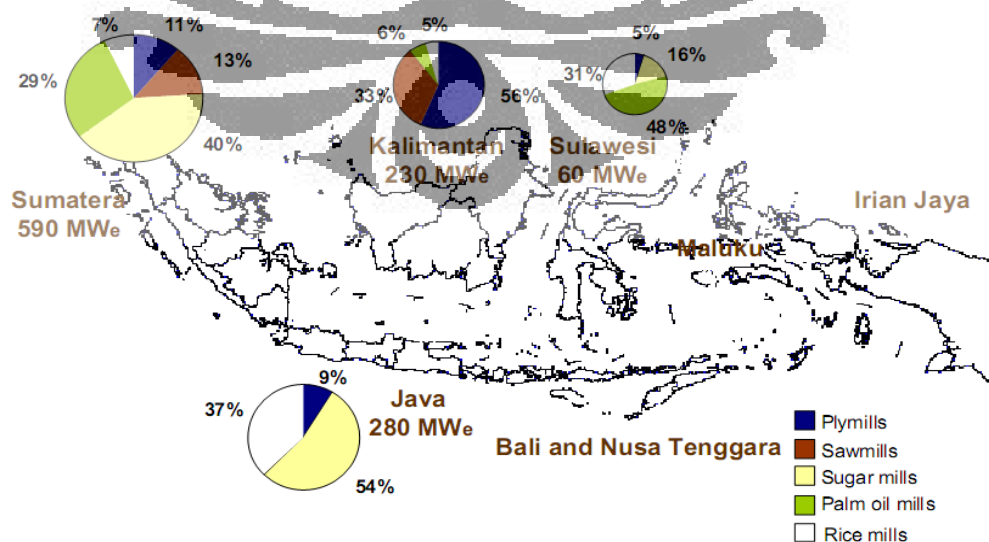
Sumber daya biomassa dapat diklasifikasikan menjadi empat bagian menurut sektor *supplier*, yaitu hutan, pertanian, industri, dan sampah. Untuk penjelasan lebih detail lagi dapat di lihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1. Klasifikasi sumber daya biomassa (www.eubia.org)

Sektor supplier	Tipe	Contoh
Hutan	Hutan khusus penghasil bahan baku biomassa	Penanaman pohon yang memiliki waktu rotasi cenderung singkat (contoh: <i>willow</i> , <i>poplar</i> , <i>eucalyptus</i> )
	Hasil hutan	Balok kayu dan ranting
Pertanian	Lignoselulosic kering	Tanaman <i>Herbaceous</i> (contoh: <i>miscanthus</i> , <i>reed</i> , <i>canarygrass</i> , <i>giant reed</i> )
	Minyak, gula dan starch energy crops	Minyak untuk metilester (contoh: <i>rape seed</i> , bunga matahari)
		Gula untuk etanol (contoh: <i>sugar cane</i> , <i>sweet sorghum</i> ) Starch crops untuk etanol (contoh: jagung, gandum)
	Residu pertanian	Jerami, ranting-daun dari <i>vineyards</i> dan pohon buah
Zat sisa makhluk hidup	Kotoran hewan, basah dan kering	
Industri	Sisa industri	Sampah kayu industri, sawdust dari sawmills
		Sampah dari industri kertas
Sampah	Lignocellulosic kering	Sampah dari taman dan kebun (contoh: rumput, daun, ranting)
	Sampah yang telah terkontaminasi	Limbah kayu yang telah rusak
		Fraksi organik dari limbah padat dari perkotaan
		<i>Biodegradable landfilled waste</i> , <i>landfill gas</i> Lumpur saluran air

### • Sumber Daya Biomassa di Indonesia

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 2.2. Potensi biomassa di Indonesia (ZREU, 2000)

Pada Gambar 2.2 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 2.2.** Potensi energi dari limbah biomassa di Indonesia

Sumber Biomassa	Limbah	Rasio Limbah (%)	LHV (MJ/kg)	Jumlah Limbah (Juta ton/Tahun)	Potensi Energi (Juta GJ/Tahun)	Crude Oil Equivalent ( $10^6$ toe/Tahun)
Tebu	Bagas	32	8,31	8,5	70,64	1,70
	Daun dan Pucuk Tebu	30	15,81	1,3	20,55	0,49
Kelapa Sawit	TKKS	27	8,16	12,9	105,26	2,53
	Serat	15	11,34	6,7	75,98	1,82
	Tempurung	9	18,83	3,5	65,91	1,58
Pohon Karet	Limbah Kayu Karet			2,8	46,45	1,11
Kelapa	Serabut		16,23	6,7	108,74	2,61
	Tempurung	16	17,93	3	53,79	1,29
Padi	Sekam Padi	23	12,69	13,5	171,32	4,11
	Jerami	40	10,9	49	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>123,5</b>	<b>1455,97</b>	<b>34,94</b>

Sumber: FAO 1998; NREL 2008; ZREU 2000

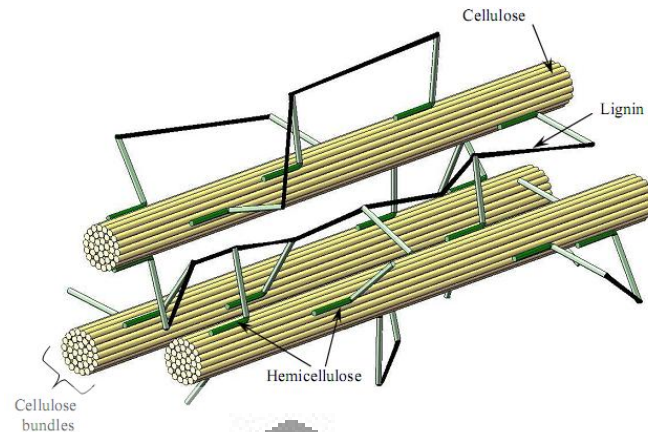
### 2.1.3 Kandungan Biomassa

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

Selulosa  $(C_6H_{10}O_5)_x$

Hemiselulosa  $(C_5H_8O_4)_y$

Lignin  $(C_9H_{10}O_3(CH_3O)_{0.9-1.7})_z$



Gambar 2.3. Komposisi lignin, hemiselulosa dan selulosa (Shaw, 2008)

Komposisi senyawa-senyawa pokok di atas bervariasi untuk tiap spesies tanaman. Biasanya, biomassa 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 2.3. Komposisi biopolimer biomassa

Jenis Biomassa	Selulosa (%wt)	Hemiselulosa (%wt)	Lignin (%wt)
Olive Residue <sup>a</sup>	23,21	35,62	34,98
Sekam Padi <sup>b</sup>	24,3	27,22	12,59
Cron Stalk <sup>b</sup>	34,51	24,87	14
Bagas <sup>c</sup>	30	23	22
Tandan Kosong Kelapa Sawit <sup>d</sup>	59,7	22,1	18,1
Jerami <sup>e</sup>	33,4	28,2	7,4
Karet <sup>f</sup>	44	33,4	22,1
Hardwood <sup>g</sup>	49,8	33,2	17
Softwood <sup>g</sup>	40,1	26,7	33,2

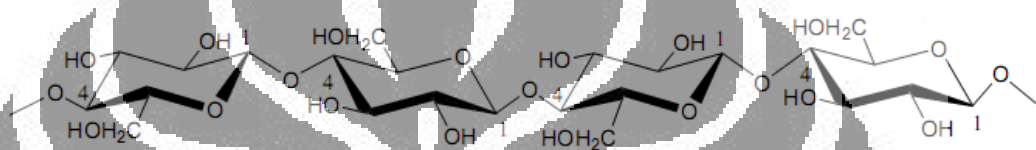
Sumber: <sup>a</sup>Uzun, 2007; <sup>b</sup>Zhang, 2009; <sup>c</sup>Dawson, 2005; <sup>d</sup>Snell, 2005; <sup>e</sup>He, 2008; <sup>f</sup>Alhasan 2010; <sup>g</sup>Ranzi 2008;

## 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.

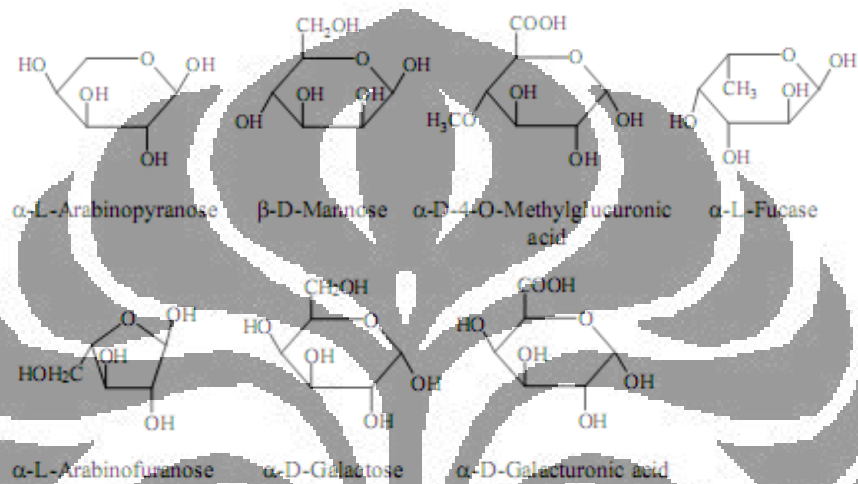
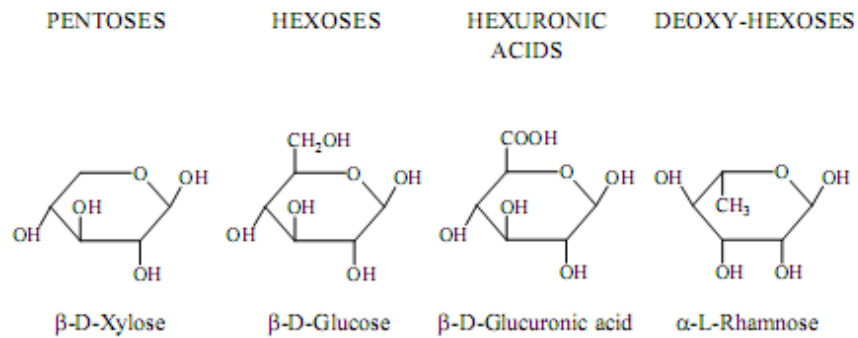
Sebagai karbohidrat, sifat kimia selulosa memiliki kesamaan dengan sifat kimia alkohol. Oleh karena itu, selulosa dapat membentuk turunan alkohol seperti ester, eter, dll. Selulosa juga memiliki ikatan hidrogen yang kuat sehingga molekul-molekul pelarut mengalami kesulitan untuk melakukan penetrasi terhadap molekul selulosa sehingga selulosa sukar larut dalam pelarut biasa seperti air.



Gambar 2.4. 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: xyloza, mannose, glukosa, galaktosa, arabinosa, dan sejumlah kecil rhamnosa, asam glukoroat, asam metal glukoronat, dan asam galaturonat. Xyloza adalah salah satu gula C-5 dan merupakan gula terbanyak kedua di biosfer setelah glukosa. Kandungan hemiselulosa di dalam biomassa lignoselulosa berkisar antara 11% hingga 37 % (berat kering biomassa). 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 2.5.



Gambar 2.5. Struktur Hemiselulosa (Shaw, 2008)

### C. Lignin

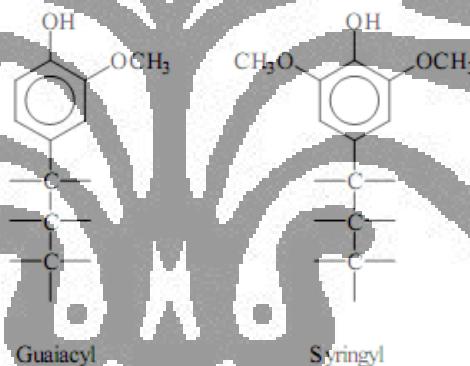
Lignin adalah molekul kompleks yang tersusun dari unit *phenylpropane* yang terikat di dalam struktur tiga dimensi. Lignin adalah material yang paling kuat di dalam biomassa. Lignin memiliki titik leleh yang cukup rendah yaitu  $140^{\circ}\text{C}$ . Zat ini sangat resisten terhadap degradasi, baik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

Kegunaan dari lignin cukup banyak, antara lain:

- **Dispersants:** ketika ter-adsorb pada partikel yang halus, muatan zat kimia dari lignin membuat gaya tolak elektrostatis yang menghalangi proses koagulasi.
- **Binders:** Lignin dapat membentuk jaringan kimia dan fisika terhadap molekul disekitarnya



- **Sequesterants:** Hidroksil, sulfonik, dan karboksil merupakan kelompok zat kimia ion logam kompleks yang terkandung dalam lignin
- **Passivators:** memberikan lapisan yang memiliki sifat resisten terhadap korosi
- **Emulsifikasi:** gaya tolak elektrostatis dan aksi pelapisan pada tetesan kecil dapat menstabilkan emulsi
- **Humectants:** lignin dapat mengikat air dan membuat formulasi tetap lembab
- **Cement additives:** lignin dapat mencegah aglomerasi selama proses penggilingan
- **Drilling muds:** meningkatkan ketebalan dan daya dispersi



Gambar 2.6. Struktur lignin (Shaw, 2008)

#### 2.1.4 Sifat dan Karakteristik Biomassa

Setiap biomassa memiliki perbedaan sifat dan karakteristik yang dapat mempengaruhi performa sebagai bahan bakar di dalam proses pembakaran. Sifat dan karakteristik yang paling penting terkait dengan konversi dari biomassa meliputi kandungan air, kandungan abu, kandungan zat volatil, komposisi elemen, nilai bakar, dan densitas bulk. Dalam mendefinisikan sifat dari biomassa, merupakan hal yang sangatlah penting untuk mengetahui bahwa biomassa terdiri dari air, abu, dan zat bebas abu. Contoh sifat dan karakteristik berbagai macam biomassa kering dapat dilihat dari tabel 2.4 dan 2.5 berikut.



**Tabel 2.4.** Kandungan sulfur dan klorida pada beberapa jenis biomassa (Quaak dkk, 1999)

<i>Biomass Material</i>	<i>Sulfur</i>	<i>Chlorine</i>
Maize	0.05	1.48
Wood	0.01	0.01
Bark	0.05	0.02
Straw	0.07	0.49
Grass	0.18	0.88

**Tabel 2.5.** Karakteristik biomassa dari tipe bahan bakar biomassa yang berbeda-beda (Quaak dkk, 1999)

<i>Type</i>	<i>LHV<sub>v</sub> (kJ/kg)</i>	<i>MC<sub>w</sub> (%)</i>	<i>AC<sub>d</sub> (%)</i>
Bagasse	7,700–8,000	40–60	1.7–3.8
Cocoa husks	13,000–16,000	7–9	7–14
Coconut shells	18,000	8	4
Coffee husks	16,000	10	0.6
<i>Cotton residues</i>			
Stalks	16,000	10–20	0.1
Gin trash	14,000	9	12
<i>Maize</i>			
Cobs	13,000–15,000	10–20	2
Stalks			3–7
<i>Palm-oil residues</i>			
Fruit stems	5,000	63	5
Fibers	11,000	40	
Shells	15,000	15	
Debris	15,000	15	
Peat	9,000–15,000	13–15	1–20
Rice husks	14,000	9	19
Straw	12,000	10	4.4
Wood	8,400–17,000	10–60	0.25–1.7
Charcoal	25,000–32,000	1–10	0.5–6

#### A. *Moisture Content*

*Moisture content* dari biomassa adalah kuantitas dari air di dalam materi dan diekspresikan sebagai persentase dari berat materi tersebut. Berat ini juga dapat disebut dengan basis basah, pada sebuah basis kering, dan juga pada basis kering dan bebas abu. Jika *moisture content* ditentukan oleh basis basah, maka berat air diekspresikan sebagai persentasi terhadap jumlah air, abu, dan zat kering dan bebas abu. Biomassa memiliki kandungan yang beragam dengan jarak yang luas (pada basis basah). Hal ini dilihat pada sekam yang hanya memiliki *moisture content* kurang dari 10 % hingga limbah hutan yang memiliki *moisture content* 50-70%.

## B. Kandungan Abu

Komponen anorganik dapat dinyatakan dengan cara yang sama seperti halnya *moisture content* (pada basis basah, basis kering, dan basis kering dan bebas abu). Namun, umumnya kandungan abu dinyatakan dalam basis kering. Total kandungan abu di dalam dan biomassa dan komposisi kimia dari abu tersebut merupakan dua hal yang sama pentingnya.

## C. Kandungan Zat Volatil

Zat volatil mengacu kepada bagian dari biomassa yang terlepas ketika biomassa dipanaskan (pada temperatur 400°-500°C). Selama proses pemanasan ini, biomassa terdekomposisi menjadi gas volatil dan arang padat. Secara umum, biomassa memiliki kandungan zat volatil yang tinggi (hingga 80%), dimana batu bara memiliki kandungan zat volatil yang rendah yaitu kurang dari 20%.

## D. Komposisi Unsur

Komposisi dari komponen organik bebas abu relatif beragam. Komponen mayoritas yang ada dalam biomassa adalah karbon, oksigen, dan hidrogen. Sebagian besar, biomassa juga mengandung bagian kecil dari nitrogen. Tabel berikut ini menunjukkan jumlah rata-rata komposisi unsur di dalam biomassa.

Tabel 2.6. Komposisi unsur dari biomassa (Quaak dkk, 1999)

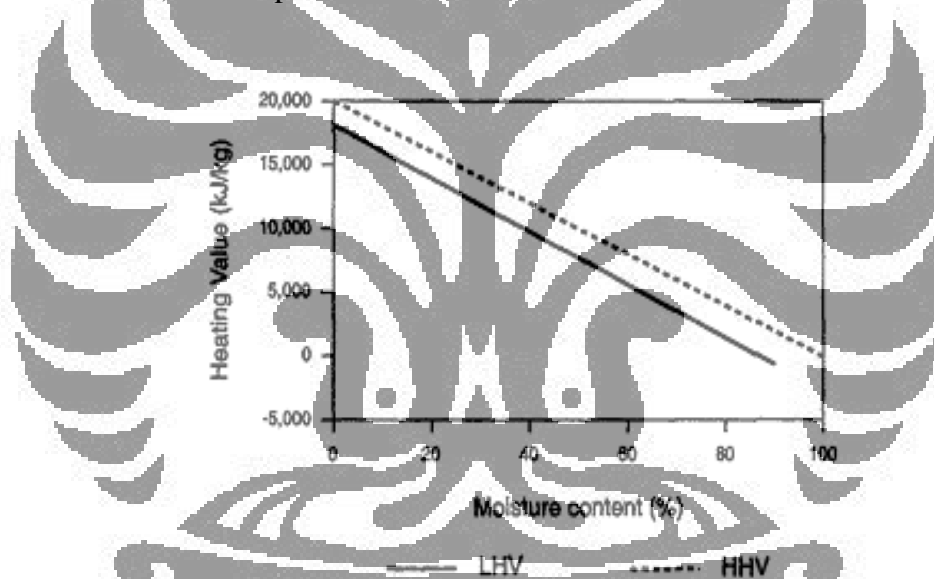
Unsur	Simbol	% Berat (basis kering dan bebas abu)
Karbon	C	44 - 51
Hidrogen	H	5,5 - 6,7
Oksigen	O	41 - 50
Nitrogen	N	0,12 - 0,6
Sulfur	S	0,0 - 0,2

## E. Nilai Kalor

Nilai kalor dari bahan bakar merupakan indikasi energi ikatan kimia di dalam bahan bakar tersebut sesuai dengan lingkungan standar. Standardisasinya meliputi temperatur, fasa air, dan produk pembakaran (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dll). Kondisi standar ini sudah tersedia secara luas di literatur pada perhitungan nilai kalor. Energi ikatan kimia di dalam bahan bakar dinyatakan dengan nilai kalor dari bahan bakar dalam energi (J) per jumlah materi (kg).

Secara umum, nilai bakar dapat dibedakan menjadi dua, yaitu LHV (*lower heating value*) dan HHV (*high heating value*). LHV merupakan nilai bakar ketika air (H<sub>2</sub>O) berada fasa gas, sedangkan HHV merupakan nilai bakar ketika air tersebut berada dalam fasa cair. Untuk semua jenis biomassa, nilai dari HHV pada basis kering dan bebas abu (HHV<sub>daf</sub>) adalah 20.400 kJ/kg ( $\pm$  15%).

Biomassa selalu mengandung beberapa air yang akan dilepaskan sebagai uap ketika dipanaskan. Hal ini menandakan bahwa beberapa dari panas dilepaskan selama reaksi kimia diabsorb dengan proses evaporasi. Untuk alasan ini, nilai bakar netto (LHV) akan menurun selama *moisture content* meningkat. Gambar 2.5 mengilustrasikan hubungan antara nilai bakar (LHV dan HHV) terhadap *moisture content*.



Gambar 2.7. Nilai kalor dari biomassa (LHV dan HHV) sebagai fungsi dari *moisture content* (Quaak, 1999)

Beberapa penelitian sebelumnya telah menyimpulkan suatu persamaan dalam menentukan harga HHV suatu bahan bakar (Channiwala, 1992):

$$\text{HHV (kJ/g)} = 0.3491C + 1.1783 H - 0.1034 O - 0.0211 A + 0.1005 S - 0.0151 N \quad (2.1)$$

Dalam percobaan biasanya yang kita dapatkan adalah nilai HHV. Dengan adanya persamaan 2.1 kita dapat menghitung nilai HHV bila data ultimat dan proksimat sudah tersedia.

Persamaan 2.2 merupakan persamaan untuk menentukan LHV suatu bahan bakar (Phyllis, 1995):

$$\text{LHV}_{\text{ar}} = \text{HHV}_{\text{ar}} - 2.442 \cdot \{8.936 \text{ H}/100 (1-w/100) + w/100\} \quad (2.2)$$

## F. Densitas Bulk

Densitas bulk menunjukkan perbandingan massa pelet terhadap volume. Serupa dengan moisture content, densitas bulk biomassa juga menunjukkan variasi yang cukup ekstrem, dari sekam dengan densitas 150-200 kg/m<sup>3</sup> hingga kayu padat dengan densitas 600-900 kg/m<sup>3</sup>.

## 2.2 Metode Karakterisasi Biomassa

Banyak metode yang dapat digunakan untuk mengkarakterisasi biomassa. Namun, dua metode yang paling sering digunakan untuk mengidentifikasi komposisi kimia biomassa adalah analisis *ultimate* dan analisis *proximate*. Analisis *ultimate* menganalisis seluruh elemen komponen biomassa, padat atau gas dan analisis *proximate* menganalisis hanya *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. Kemudian, untuk mengetahui bentuk morfologi dari biomassa, kita dapat menggunakan uji SEM. Selain itu, kita juga perlu mengetahui kandungan biopolimer dari

### 2.2.1 Metode Analisis *Proximate*

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

dan sistem *handling* abu pada tungku. Parameter-parameter tersebut digambarkan dibawah ini.

**Tabel 2.7.** Hasil uji analisis proksimat biomassa

<b>Biomassa</b>	<b>Kadar Air (%wt)</b>	<b>Kadar Abu (%wt)</b>	<b>Kadar Zat Volatil (%wt)</b>	<b>Fixed Carbon (%wt)</b>
Olive Residue <sup>a</sup>	8,83	5,12	68,73	17,3
Tempurung Kelapa Sawit <sup>b</sup>	12	3,5	68,62	16,3
Serabut Kelapa Sawit <sup>b</sup>	31,84	6,35	48,61	13,2
Tandan Kosong Kelapa Sawit <sup>b</sup>	58,6	2,92	30,44	8,04
Sekam Padi <sup>b</sup>	8,2	13,2	58,9	13,2
Bagas <sup>b</sup>	50,73	1,43	41,98	5,86
Jerami <sup>b</sup>	10	10,39	60,7	18,9

Sumber: <sup>a</sup>Uzun, 2007; <sup>b</sup>Laohalidanond, 2006

#### **A. Fixed Carbon:**

*Fixed carbon* merupakan bahan bakar padat yang tertinggal dalam tungku setelah bahan yang mudah menguap didistilasi. Kandungan utamanya adalah karbon tetapi juga mengandung hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen yang tidak terbawa gas. *Fixed carbon* memberikan perkiraan kasar terhadap nilai panas biomassa.

#### **B. Kandungan Zat Volatil (Volatile Matter):**

Bahan yang mudah menguap dalam biomassa adalah metana, hidrokarbon, hydrogen, karbon monoksida, dan gas-gas yang tidak mudah terbakar, seperti karbon dioksida dan nitrogen. Bahan yang mudah menguap merupakan indeks dari kandungan bahan bakar bentuk gas didalam biomassa. Kandungan bahan yang mudah menguap berkisar antara 20% hingga 35%.

Bahan yang mudah menguap:

- Berbanding lurus dengan peningkatan panjang nyala api, dan membantu dalam memudahkan penyalaan biomassa
- Mengatur batas minimum pada tinggi dan volum tungku
- Mempengaruhi kebutuhan udara sekunder dan aspek-aspek distribusi

- Mempengaruhi kebutuhan minyak bakar yang mungkin diperlukan untuk penyalaan awal

### C. Kadar abu:

Kandungan abu dipengaruhi pada tipe tanaman dan kontaminasi tanah di mana tanaman tumbuh.

Abu:

- Mengurangi kapasitas *handling* dan pembakaran
- Meningkatkan biaya *handling*
- Mempengaruhi efisiensi pembakaran dan efisiensi *boiler*
- Menyebabkan penggumpalan dan penyumbatan

### D. Kandungan Air:

Kandungan air dalam biomassa harus diminimalisasi, di-*handling* dan disimpan bersama-sama biomassa.

Kadar air:

- Meningkatkan kehilangan panas, karena penguapan dan pemanasan berlebih dari uap
- Membantu pengikatan partikel halus pada tingkatan tertentu
- Membantu radiasi transfer panas

## 2.2.2 Metode Analisis *Ultimate*

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

Persamaan 2.3-2.5 menunjukkan hubungan antara analisis proximat dan analisis ultimat. Sehingga dengan persamaan ini, kita dapat mengetahui nilai analisis ultimat dengan mengetahui nilai analisis proximat terlebih dahulu.

$$\%C = 0.97C + 0.7(VM - 0.1A) - M(0.6 - 0.01M) \quad (2.3)$$

$$\%H = 0.036C + 0.086 (VM - 0.1A) - 0.0035M^2(1 - 0.02M) \quad (2.4)$$

$$\%N_2 = 2.10 - 0.020VM \quad (2.5)$$

Dimana

C = % fixed carbon

M = %kadar air

A = %abu

VM = %zat volatil

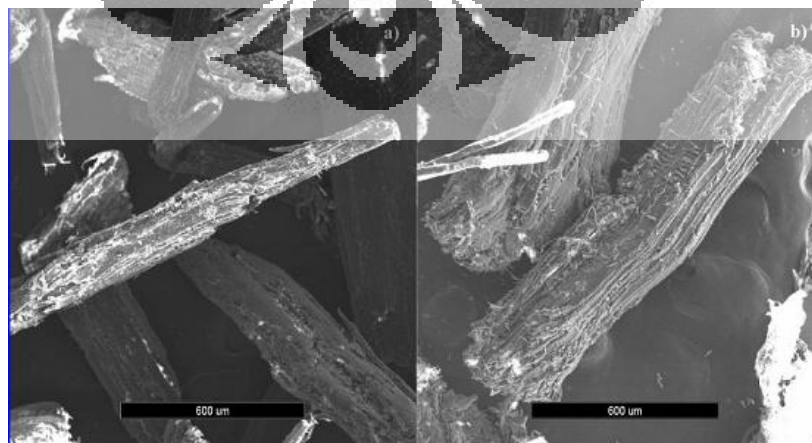
**Tabel 2.8.** Contoh hasil uji analisis ultimat biomassa (Parikh, 2004)

Biomassa	C (%daf)	H (%daf)	O (%daf)	N (%daf)	S (%daf)
Olive Residue <sup>a</sup>	49,08	5,59	44,19	1,14	0
Tempurung Kelapa Sawit <sup>b</sup>	53,78	7,2	36,3	0	0,51
Serabut Kelapa Sawit <sup>b</sup>	50,27	7,07	36,28	0,42	0,63
Tandan Kosong Kelapa Sawit <sup>b</sup>	48,79	7,33	40,18	0	0,68
Sekam Padi <sup>c</sup>	45	5,8	48	0,93	0,2
Bagas <sup>d</sup>	44,1	5,26	44,4	0,19	-
Jerami <sup>e</sup>	35,97	5,28	43,08	0,17	0

Sumber: Uzun, 2007; <sup>b</sup>Li, 2007; <sup>c</sup>Teng, 1998; <sup>d</sup>Jorapur, 1997; <sup>e</sup>Parikh, 2005

### 2.2.3 Metode *Scanning Electron Microscop* (SEM)

Metode SEM dapat kita gunakan untuk mengetahui bentuk morfologi biomassa. Dengan melihat hasil uji SEM, kita dapat mengetahui kerapatan dari suatu biomassa. Biomassa dengan struktur yang rapat menandakan bahwa biomassa tersebut memiliki densitas yang cukup tinggi, sedangkan biomassa dengan struktur yang renggang menandakan bahwa biomassa tersebut memiliki densitas yang rendah. Gambar 2.8 berikut ini merupakan contoh hasil dari uji SEM.



**Gambar 2.8.** SEM dari biomassa; a) *mallee* b) *pine chip* (Garcia-Perez, 2008)

### 2.3 Proses Konversi Biomassa

Saat ini, sudah ada beberapa teknologi maju yang dapat mengkonversi biomassa menjadi energi. Diantaranya adalah pembakaran langsung, gasifikasi, pirolisis, fermentasi, dan *anaerobic digestion*. Ringkasan proses konversi ini dapat dilihat pada Tabel 2.9 di bawah ini.

**Tabel 2.9.** Konversi biomassa menjadi energi (Energy Efficiency and Environmental News, 1991)

Tipe	Deskripsi	Keterangan
Pembakaran langsung (termokimia)	Menggunakan biomassa dengan kandungan air yang rendah untuk menghasilkan panas yang dapat digunakan secara langsung atau mentransfer panas ke fluida kerja, contoh: uap	Emisi yang dihasilkan memiliki nilai yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan batubara
Gasifikasi (termokimia)	Konversi dari biomassa menjadi sebuah gas karter berenergi melalui oksidasi parsial pada temperatur tinggi	Nilai Btu yang rendah; produk intermediet untuk produksi syngas; 5lbs biomassa kering = 1,5 kWh energi listrik + 30.000 Btu energi panas
Pirolisis (termokimia)	Dekomposisi anaerobik dari biomassa yang dipanaskan hingga suhu 300-500 °C atau tekanan atmosferik terhadap biocrude hingga terkonversi secara katalitik menjadi <i>gasoline</i>	1 ton biomassa kering menjadi 75 – 100 gal <i>gasoline</i>
Fermentasi (biokimia)	Ragi mengkonversi gula menjadi etanol; gula tersedia di tanaman padi-padian dan gula; lignin di lignocellulosic biomassa harus dipecahkan terlebih dahulu sebelum selulosa dan hemiselulosa terkonversi menjadi gula fermentasi	Panas eksternal yang diperlukan; mendistilasi dan memproses 1 gal etanol memerlukan 50.000 Btu; 1 gal etanol memiliki 80.250 Btu; 1 ton lignocellulosic menghasilkan 100 gal ethanol
<i>Anaerobic Digestion</i> (biokimia)	Proses multi tahap dimana biomassa dikonversikan menjadi biogas (metana + CO <sub>2</sub> ) dengan menggunakan bakteri yang memproduksi enzim	Proses panas dihasilkan oleh bakteri

### 2.4 Pelet Biomassa

Sebenarnya, Pelet telah diproduksi sejak seabad yang lalu. Dengan menggunakan panas dan tekanan maka pelet kecil berbentuk silindris 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 biomassa adalah:

- memiliki densitas minimal 40lbs/ft<sup>3</sup>
- 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 2.9. Bentuk pelet biomassa (www.pelheat.com)

#### 2.4.1 Kualitas Pelet Biomassa

Kualitas dari pelet yang dihasilkan dapat dilihat pada dua faktor, yaitu ketahanan mekanis dan moisture content.

##### A. Ketahanan Mekanis

Ketahanan mekanis secara sederhana dapat dinyatakan dalam seberapa rapat pelet tersebut dan seberapa baik pelet terbentuk. Pelet yang memiliki densitas lebih tinggi, tentunya lebih kuat dibandingkan dengan pelet dengan densitas rendah. Kelebihan pelet dengan densitas lebih tinggi yaitu, ketahanan pelet lebih tinggi ketika transportasi, dan kerja pelet lebih efisien pada pembakar pelet.

Pelet dengan kualitas yang baik juga memiliki permukaan yang halus dengan tidak ada atau sedikit retakan ketika keluar dari penggilingan pelet. Jika terdapat retakan atau mengalami pertambahan luas, maka hal tersebut dikarenakan terlalu banyak jumlah air di dalam pelet atau kompresi yang buruk ketika proses penggilingan pelet. Pelet yang berkualitas memiliki

bentuk seperti crayon yang bersinar setelah proses pendinginan. Untuk menguji kualitas pelet, dapat dilakukan dengan cara menyentakkan pelet dengan permukaan keras untuk melihat apakah pelet tersebut remuk atau hancur dengan mudahnya dan kemudian terpisah. Panjang dari pelet tidak terlalu penting, namun apabila pelet terlalu panjang yaitu di atas 1 inch (2,54 cm), maka pelet dapat menyebabkan kerusakan di dalam pembakar.

## B. Moisture Content

Semakin rendah nilai moisture content, maka semakin besar energi yang dihasilkan pada pembakar pelet. Pelet yang berkualitas memiliki nilai moisture content di bawah 10%. Pelet dengan nilai moisture content di atas 10% akan tetap dapat terbakar, namun memiliki efisiensi yang rendah.

### 2.4.2 Perbandingan Pellet Biomassa di Dunia

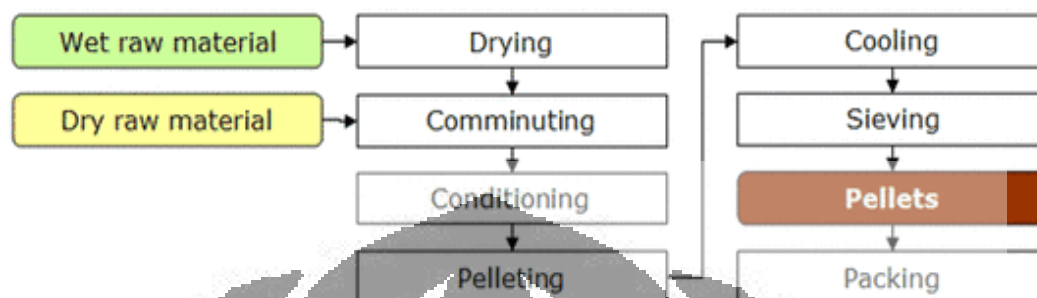
Sebelumnya, pellet biomassa telah diproduksi pada beberapa negara dengan ukuran yang berbeda dan bahan baku yang berbeda pula. Tabel berikut ini menunjukkan perbandingan pellet biomassa pada berbagai negara.

Tabel 2.10. Perbandingan 5 pellet biomassa di berbagai negara di dunia

Negara	Bahan Baku	d	Panjang	Kadar Air	Densitas	Nilai Kalor	Ash
Rusia	100% Pine wood	8 mm	10mm - 30mm	<7.5%	1.1-1.4 MT/m <sup>3</sup>	4600 kcal/kg - 4800 kcal/kg	<1.5 %
Hongkong	100% Bamboo sawdust	6 mm	10mm - 30mm	<7.5%	>1.3 MT/m <sup>3</sup>	4200 kcal/kg - 4500 kcal/kg	1.1% - 2%
China	100% Hard wood sawdust	6 mm	10mm - 30mm	<7.5%	>1.3 MT/m <sup>3</sup>	4200 kcal/kg - 4500 kcal/kg	1.1% - 2%
Sri Lanka	100% Coconut shell	~	~	<5%	~	18000 kJ/Kg	<0.5 %
Ukraina	100% Softwood	6 mm	~	7%	~	17700 kJ/kg	0.49 %

## 2.5 Proses Produksi Pelet Biomassa

Untuk menghasilkan pelet biomassa yang memiliki kualitas yang baik, tahapan prosesnya dapat ditunjukkan oleh Gambar 2.10 di bawah ini.



Gambar 2.10. Skema proses produksi pelet biomassa (www.eubia.org)

### 2.5.1 Mereduksi Ukuran Bahan Baku

Ukuran biomassa yang benar merupakan salah satu kunci yang menjamin pembakaran yang efisien. Ukuran biomassa yang tepat, sesuai dengan sistem pembakaran yang digunakan, dapat membantu pembakaran, mengurangi kehilangan abu dan efisiensi pembakaran yang lebih baik. Ukuran biomassa diperkecil dengan penggilingan/*crushing* dan penghancuran/*pulverizing*. Penggilingan awal biomassa ekonomis digunakan untuk unit yang lebih kecil, terutama untuk unit *stoker-fired*. Pada sistem *handling* biomassa, penggilingan dilakukan untuk biomassa dengan ukuran di atas 6 atau 4 mm. Peralatan yang umum digunakan untuk penggilingan adalah *rotary breaker*, *roll crusher* dan *hammer mill*. Sebelum penggilingan, biomassa sebaiknya diayak terlebih dahulu, sehingga hanya biomassa yang kelebihan ukuran yang diumpungkan ke penggiling, sehingga dapat mengurangi konsumsi daya pada alat penggiling. Hal-hal praktis yang direkomendasikan pada penggilingan biomassa adalah:

- Penggunaan ayakan untuk memisahkan partikel kecil dan halus untuk menghindarkan terbentuknya partikel yang sangat halus pada penggilingan.
- Penggunaan pemisah magnetis untuk memisahkan potongan besi dalam biomassa yang dapat merusak alat penggiling.

**Tabel 2.11.** Ukuran biomassa yang tepat untuk berbagai jenis sistem pembakaran (UNEP, 2006)

No.	Jenis Sistem Pembakaran	Ukuran (dalam mm)
1	<i>Hand Firing</i> (a) <i>Natural draft</i> (b) <i>Forced draft</i>	25-75 25-40
2	<i>Stoker Firing</i> (a) <i>Chain grate</i> i) <i>Natural draft</i> ii) <i>Forced draft</i> (b) <i>Spreader Stoker</i>	25-40 15-25 15-25
3	<i>Pulverized Fuel Fired</i>	75% dibawah 75 mikron
4	<i>Fluidized bed boiler</i>	< 10 mm

### 2.5.2 Pengeringan

Untuk memproduksi pelet berkualitas tinggi persentase kelembaban dari bahan baku yang digunakan harus berada dalam rentang nilai 10-20%. Sebagian besar pelet berkualitas tinggi dihasilkan dengan nilai *moisture content* 15%. Jika bahan baku yang digunakan memiliki nilai *moisture content* di atas 20%, maka bahan baku tersebut perlu untuk dikeringkan terlebih dahulu.

### 2.5.3 Pencampuran

Proses pencampuran ini dilakukan apabila pelet yang ingin dihasilkan berasal dari beberapa bahan baku. Salah satu fungsi dari proses pencampuran ini adalah untuk meningkatkan sifat pengikat dari biomassa tersebut. Beberapa biomassa memiliki sifat pengikat yang rendah dan akan bermasalah ketika proses densifikasi. Selain itu, kita juga dapat menurunkan nilai *moisture content* dengan cara mencampurkan biomassa dengan *moisture content* yang tinggi dan biomassa dengan *moisture content* yang rendah. Apabila kita melakukan proses pencampuran ini, maka kita tidak memerlukan proses pengeringan lagi.

### 2.5.4 Persiapan

Untuk menghasilkan pelet berkualitas tinggi, bahan baku biomassa harus memenuhi beberapa kriteria. Beberapa zat aditif juga perlu ditambahkan untuk meningkatkan kualitas dari pelet yang ingin dihasilkan.

### A. Kualitas Pengikat

Pengikat berfungsi sebagai lem yang dapat menyatukan pelet dan menghasilkan sinar yang lembut. Beberapa biomassa telah memiliki jumlah lignin yang cukup untuk dijadikan pengikat ketika proses produksi pelet. Namun, apabila biomassa yang digunakan tidak memiliki pengikat yang cukup, maka zat aditif yang berfungsi sebagai pengikat perlu untuk ditambahkan. Salah satu pengikat yang mudah dicari dan dapat digunakan adalah minyak sayur.

### B. *Steam Conditioning*

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, materi seperti kayu memiliki lignin alami yang cukup untuk berfungsi sebagai pengikat. Lignin tersebut akan meleleh di bawah panas dan tekanan dari proses produksi. Untuk meningkatkan produktivitas skala besar, maka perlu dilakukan *steam conditioning* sebelum proses produksi pelet. Pada proses ini, bahan baku akan dikontakkan dengan steam kering dan air untuk mendapatkan temperatur yang sesuai sehingga kandungan air yang ada di dalam biomassa dapat mengaktifkan lignin sebagai perekat alami pelet dan untuk mendapatkan kekuatan yang dimiliki pelet. Proses *steam conditioning* ini hanya digunakan untuk produksi skala besar karena biaya dan risiko yang cukup tinggi.

## 2.5.5 Proses *Pelletizing*

### A. Prinsip Dasar Proses Densifikasi

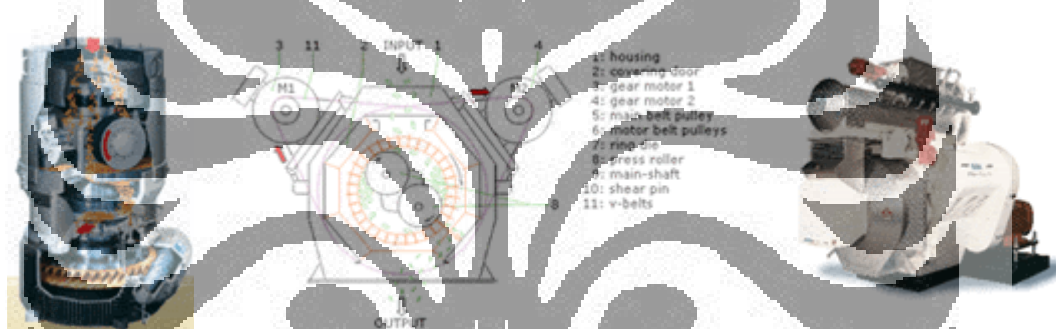
Proses pengolahan bahan baku biomassa menjadi pelet menggunakan prinsip dasar densifikasi. Proses ini mengakibatkan naiknya nilai kalorifik volumetri suatu bahan bakar, mengurangi biaya transportasi, dan dapat membantu meningkatkan penggunaan bahan bakar di daerah terpencil. Sesuai dengan prinsip dasar dari pengompakan, teknologi pembuatan pelet biomassa dapat dibagi menjadi:

1. Pengompakkan dengan tekanan tinggi
2. Pengompakkan dengan tekanan sedang diiringi dengan pemanasan
3. Pengompakkan dengan tekanan rendah menggunakan perekat/pengikat

Pada semua teknik pengompakkan tersebut digunakan material padat sebagai bahan baku awal. Jika partikel ditekan dengan tekanan tinggi maka tidak dibutuhkan perekat. Kekuatan dari pengompakkan tersebut disebabkan oleh adanya gaya Van der Waals, atau *interlocking*. Komponen alami dari material, yaitu lignin akan teraktivasi oleh tingginya tekanan sehingga menjadi perekat alami. Namun, beberapa material tetap membutuhkan perekat meskipun dilakukan pengompakkan dengan tekanan tinggi.

### B. Milling (Pelletizing)

Setelah tahap persiapan, partikel dipindahkan menggunakan *conveyor* ke sebuah pelet *mill*, dimana pelet akan dipotong-potong sesuai dengan panjang yang diinginkan. Ada dua macam pelet press, yaitu *flat die* dan *ring die press*.



Sumber: Amandus Kahl, Salmatec; Sprout Matador

Gambar 2.11. Flat die dan ring die

### C. Teknologi Pelletizing

Terdapat beberapa teknologi yang umum digunakan dalam proses pelletizing, antara lain:

- *Piston Press*

Teknologi ini banyak digunakan di India dan seringkali dikenal sebagai teknologi penekan dan pencetak. Biomassa dimasukkan ke dalam mesin pencetak diiringi menggunakan penekan dengan tekanan sangat tinggi sehingga menekan biomassa menjadi pelet. Mesin ini mempunyai kapasitas 700 kg/jam dan dibutuhkan daya sebesar 25 kW. Alat penekan bergerak sekitar 270 kali per menit pada proses ini.

- ***Screw Press***

Pada teknologi ini, bahan baku biomassa dihancurkan secara kontinu oleh alat penghancur lalu dimasukkan ke dalam alat pencetak dengan dilakukan pemanasan untuk mengurangi terjadinya friksi. Berikut merupakan kekurangan dan kelebihan dari teknologi *screw press*:

1. Produk dihasilkan secara kontinu dan pellet mempunyai ukuran yang seragam
2. Permukaan luar pelet dilapisi dengan karbon sehingga memudahkan dalam penyalaan awal api dan pembakaran. Hal ini juga melindungi pelet dari kelembaban udara luar.
3. Mesin lebih sederhana dibandingkan dengan *piston press*
4. Besar daya yang dibutuhkan lebih besar daripada *piston press*.

- ***Hydrolic Piston Pres***

Perbedaan teknologi ini dengan *mechanical piston press* adalah bahwa energy yang dibutuhkan oleh *piston* ditransmisikan dari mesin elektrikal melalui sistem tekan tinggi hidrolik. Mesin ini cukup sederhana tetapi produk yang dihasilkan lebih sedikit. Pelet yang dihasilkan mempunyai densitas kurang dari  $1000 \text{ kg/m}^3$  karena tekanan maksimal yang digunakan adalah 40-315 kg/h. Mesin ini dapat mentoleransi *moisture content* yang lebih tinggi daripada yang biasa diperbolehkan yaitu 15% untuk *mechanical piston press*.

### 2.5.6 Pengayakan dan Pendinginan

Pada tahap ini, pelet dibersihkan dan dipisahkan dari pengotor-pengotor. Selanjutnya pelet perlu didinginkan pada temperatur ruang karna setelah proses penghancuran, pelet akan sangat panas ( $90\text{-}100^\circ\text{C}$ ). Hal ini membuat lignin menjadi perekat alami yang menambah kekuatan pelet, dan berkontribusi untuk tetap menjaga kekuatan dan kualitas pelet selama penyimpanan dan distribusi. Pelet yang telah bersih dan siap kemudian dipindahkan ke tempat penyimpanan atau pengemasan.

### 2.4.7 Faktor-Faktor yang Perlu Diperhatikan pada Proses Densifikasi

Untuk proses densifikasi biomassa, perlu diketahui faktor-faktor yang dapat mempengaruhi proses pembuatan pelet biomassa. Untuk teknologi pembuatan pelet yang berbeda, parameter yang harus dipenuhi oleh suatu bahan baku juga berbeda. Berikut ini akan dijelaskan tentang pengaruh ukuran partikel, kandungan air, temperatur bahan baku, temperatur mesin pencetak, dan penambahan zat aditif pada proses pembuatan pelet.

#### A. Pengaruh Ukuran Partikel

Ukuran dan bentuk partikel bahan baku biomassa sangat berpengaruh pada proses densifikasi. Telah disepakati bahwa material biomassa dengan ukuran 6-8 mm memberikan hasil yang paling baik. Meskipun teknologi *screw press* yang menggunakan tekanan tinggi (1000-1500 bar) dapat diaplikasikan pada material biomassa berukuran besar, proses pembuatan pelet tidak akan berjalan lancar dan penyumbatan dapat terjadi di bagian awal proses. Partikel biomassa yang lebih besar tidak akan terhancurkan dengan baik dan akan bertambah dan terakumulasi di bagian masuk dan steam yang dihasilkan akibat temperatur yang tinggi (sesuai dengan perputaran penghancur, panas yang dihasilkan dari alat pencetak, dan juga jika material dipanaskan terlebih dahulu) seputar mesin mulai terkondensasi dan terbentuk gumpalan sehingga menyebabkan terjadinya penyumbatan.

Untuk menghindari hal tersebut, seringkali partikel yang lebih besar dihancurkan terlebih dulu sehingga didapatkan ukuran partikel yang bervariasi. Adanya variasi pada ukuran partikel meningkatkan dinamik susunan partikel saat pengompakkan dan berkontribusi kepada kekuatan statis yang tinggi.

#### B. Pengaruh Kadar Air

Persentase kadar air pada bahan baku biomassa yang masuk ke mesin pengepres merupakan faktor yang sangat penting. Secara umum, disimpulkan bahwa saat kadar air biomassa 8-10%, pelet akan mempunyai kadar air 6-8%. Pada kadar air demikian, pelet bersifat kuat dan bebas pecah/retak serta proses



pembuatan pelet akan berjalan lancar. Akan tetapi, bila kadar air kurang dari 10%, pelet akan bersifat lemah dan rapuh.

Pada proses pembuatan pelet, air juga bertindak sebagai perekat dengan menguatkan ikatan pada pelet. Pada bahan baku biomassa, air membantu terjadinya ikatan Van der Waals dengan meningkatkan area kontak partikel. Kenyataannya, berhasil tidaknya proses pengompakkan bergantung pada kadar air yang dimiliki oleh bahan baku biomassa. Jumlah kadar air yang tepat mengakibatkan terjadinya ikatan alami dari komponen *lignocelulosic*.

### C. Pengaruh Temperatur Biomassa

Dengan memvariasikan temperatur biomassa, maka densitas, kekuatan, kadar air pada pelet juga akan bervariasi. Di alat penghancur, temperatur tidak tetap konstan tapi bertambah. Friksi internal dan eksternal mengakibatkan pemanasan lokal dan material akan mengalami perekatan alami. Juga dapat diasumsikan bahwa kadar air yang terkandung pada material membentuk steam pada tekanan tinggi yang kemudian dapat menghidrolisis hemiselulosa dan lignin dalam biomassa menjadi karbohidrat dengan molekul rendah, produk lignin, polimer gula dan turunan lainnya. Produk-produk ini bila dikaitkan dengan panas dan tekanan pada alat pencetak, bertindak sebagai perekat *adhesive*. Temperatur tidak boleh lebih tinggi daripada temperatur dekomposisi biomas yaitu sekitar 30°C.

### D. Pengaruh Temperatur Alat Pencetak

Adanya baling-baling penghancur pada teknologi *screw press* mengakibatkan terjadi panas pada alat pencetak. Hal ini memberikan 2 keuntungan. Mesin dapat beroperasi dengan konsumsi daya yang lebih rendah dan umur manfaat dari alat pencetak akan lebih panjang. Temperatur alat pencetak harus dijaga pada rentang 280-290 °C. Jika temperatur alat pencetak lebih tinggi, friksi antara bahan baku dengan dinding alat pencetak akan menurun menyerupai pengompakkan yang terjadi pada tekanan yang lebih rendah yang menghasilkan hasil densifikasi yang lemah. Sebaliknya, temperatur rendah akan membutuhkan tekanan dan daya yang lebih tinggi sedangkan laju produksi menurun.

## E. Pengaruh Penambahan Zat Aditif

Proses pembuatan pelet tidak dapat menambah nilai kalori dari bahan baku biomassa yang digunakan. Untuk menaikkan nilai kalori dan kemampuan pembakaran dari suatu pelet biasanya digunakan zat aditif tambahan seperti batubara dan arang. Telah disebutkan sebelumnya bahwa hanya teknologi *screw press* yang dapat mengakibatkan terjadinya karbonisasi. Tergantung oleh kualitas bubuk arang atau batubara, bermacam formulasi dapat dilakukan untuk hasil yang berbeda.

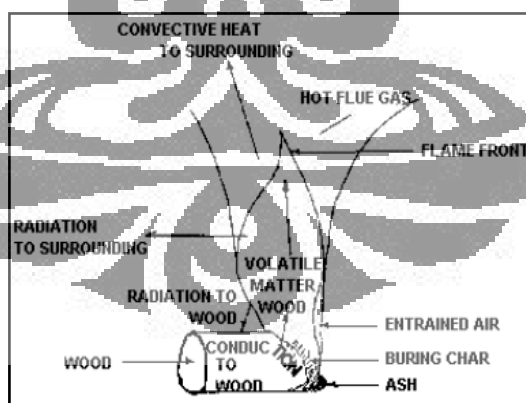
## 2.6 Pembakaran Biomassa

### 2.6.1 Tahap-Tahap Pembakaran

Pembakaran biomassa dapat terbagi ke dalam tiga tahap, yaitu:

- Pengerinan kandungan air dalam biomassa
- Pelepasan zat-zat volatil yang terkandung dalam biomassa (devolatilisasi)
- Pembakaran gas volatil yang keluar dari biomassa
- Pembakaran arang

Skema prosesnya dapat dilihat dari Gambar 2.12 berikut.



Gambar 2.12. Pembakaran kayu

### A. Pengerinan

Pada tahap ini dilakukan pengerinan pada biomassa sehingga air yang terkandung dalam biomassa akan keluar dan membentuk uap air. Lamanya tahap ini tergantung pada tingkat kandungan air dalam biomassa. Semakin

tinggi kandungan air yang terdapat di dalam biomassa, maka akan semakin lama pula waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeringan ini.

## B. Devolatilisasi

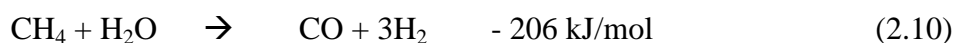
Biomassa pada umumnya mempunyai kadar volatil yang tinggi sehingga pembakarannya dimulai pada temperatur yang rendah. Proses devolatilisasi pada biomassa umumnya terjadi pada temperatur rendah dan hal ini mengindikasikan bahwa biomassa mudah dinyalakan dan dibakar, meskipun pembakaran yang diharapkan terjadi sangat cepat dan bahkan sulit dikontrol. Bentuk umum dari persamaan devolatilisasi adalah sebagai berikut:



Karena kadar volatil yang tinggi pada biomassa, maka pengetahuan detail pada proses devolatilisasi menjadi sangat penting. Selama proses devolatilisasi, kandungan volatil akan keluar dalam bentuk gas. Umumnya gas-gas yang keluar selama proses devolatilisasi dapat dikelompokkan kedalam gas yang dapat diembunkan dan gas permanen. Masuk dalam kelompok gas permanen utama selama proses devolatilisasi adalah CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub>. Komposisi gas selama devolatilisasi tergantung pada jenis bahan yang digunakan.

## C. Pembakaran Zat Volatil

Biomassa mengandung komponen penyusun yang sangat kompleks dimana zat-zat volatil yang ada di dalamnya berbed untuk tiap jenis biomassa. Berikut ini merupakan reaksi pembakaran sederhana dari zat volatil yang seringkali terjadi pada proses pembakaran biomassa.

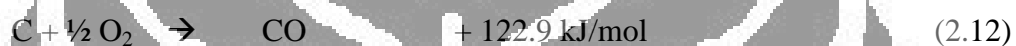


Panas yang dihasilkan oleh reaksi eksotermis sangat penting dalam pelepasan zat volatil dan penyalan api pada arang (karbon).

#### D. Pembakaran Arang

Setelah devolatilisasi akan terjadi oksidasi bahan bakar padat (arang). Laju pembakaran arang tergantung pada konsentrasi oksigen, temperatur gas, bilangan Reynolds, ukuran dan porositas arang. Kenaikan konsentrasi oksigen dalam gas menimbulkan laju pembakaran bahan bakar padat yang lebih tinggi. Temperatur pembakaran bahan bakar padat yang lebih tinggi menaikkan laju reaksi dan menyebabkan waktu pembakaran bahan bakar padat yang lebih singkat. Kecepatan gas yang tinggi pada permukaan akan menaikkan laju pembakaran bahan bakar padat, terutama disebabkan karena laju perpindahan massa dari oksigen ke permukaan partikel yang lebih tinggi.

Densitas pelet juga mempengaruhi waktu pembakaran arang. Semakin besar densitas pelet maka waktu pembakaran arang akan semakin lama.



Arang karbon bereaksi dengan oksigen pada permukaan partikel membentuk karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), tetapi secara umum CO merupakan produk utama, selain itu juga permukaan arang karbon juga bereaksi dengan gas karbon dioksida dan uap air.

Reaksi (2.12) merupakan reaksi oksidasi, reaksi (2.13) merupakan reaksi ketika tidak terdapat uap air dalam campuran, sedangkan reaksi (2.14) dan (2.15) merupakan reaksi reduksi yang pada umumnya berlangsung lebih lambat dari pada reaksi oksidasi dan untuk proses pembakaran yang menjadi perhatian penting adalah reaksi oksidasi. Akan tetapi ketika konsentrasi oksigen habis, barulah reaksi reduksi ini merupakan faktor penting. Pembakaran karbon sangat bergantung pada temperatur bahan bakar. Pada temperatur yang lebih rendah, oksigen akan menyelimuti permukaan karbon, diserap dan bereaksi disana. Produk utama dari reaksi permukaan ini adalah CO<sub>2</sub> pada temperatur di bawah sekitar 800 K dan CO pada temperatur lebih

tinggi. Sehingga, pada reaksi (2.12) dapat terjadi secara baik jika temperatur permukaan dari karbon sekitar 800K sampai 4000K.

### 2.6.2 Faktor Pengontrol Pembakaran

Faktor-faktor penting yang mempengaruhi pembakaran adalah;

#### A. Sifat Fisika dan Kimia

Fraksi komposisi selulosa, hemiselulosa, dan lignin mempengaruhi pembakaran (Dibahas dalam subbab 2.1.3). Lignin mempunyai nilai kalori yang paling besar. Bila sebuah biomassa mempunyai kandungan lignin yang tinggi maka diperkirakan nilai kalori biomassa tersebut juga tinggi.

#### B. Kadar Air

Semakin tinggi kadar air dalam biomassa menyebabkan temperatur pembakaran menurun dan kadar  $H_2O$  meningkat. Dengan semakin tingginya kadar air juga mengakibatkan biomassa lebih sulit dibakar sehingga terjadi pembakaran tidak sempurna dan terbentuk CO yang tinggi di awal proses pembakaran.

#### C. Ukuran dan Bentuk Bahan Bakar

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

#### D. Penyediaan Udara Primer dan Sekunder

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.

#### E. Rasio Bahan Bakar / Udara

Rasio bahan bakar / udara memainkan peranan penting dalam reaksi pembakaran. Pembakaran yang sempurna terjadi pada kondisi stoikiometri. Adapun pengaruh dari kondisi pembakaran dengan campuran kaya biomassa dapat dilihat dari peningkatan kadar CO khususnya di bagian depan ruang bakar. Semakin besar laju alir biomassa ke ruang bakar menyebabkan kadar H<sub>2</sub>O meningkat tetapi tidak menyebabkan kenaikan kadar CO<sub>2</sub> dengan semakin tingginya laju alir biomassa menyebabkan temperatur pembakaran tidak terlalu tinggi.

#### 2.6.3 Emisi Pembakaran Biomassa

Emisi yang dapat dihasilkan dari pembakaran biomassa dalam kompor dan dapat menyebabkan polusi udara antara lain adalah: karbon monoksida, partikulat, sulfur oksida, nitrogen oksida, dan hidrokarbon. Konsentrasi emisinya, secara kurang-lebih untuk berbagai sistem dan bahan bakar dapat dilihat dari tabel 2.12 berikut.

##### A. Emisi dari Pembakaran Tidak Sempurna

Bila pembakaran tidak berjalan dengan efisien, sejumlah hidrokarbon dan karbon monoksida tidak terbakar dan terdapat pada gas hasil pembakaran. Pada temperatur yang rendah, konsentrasi CO semakin tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi oksidasi CO menurun dengan penurunan temperatur. Penelitian lain menunjukkan bahwa konsentrasi CO semakin besar seiring dengan besarnya kandungan abu dalam biomassa walaupun temperatur pembakaran tetap konstan. Hal ini menunjukkan bahwa CO tidak hanya bergantung pada temperatur pembakaran tetapi juga pada kandungan biomassa.

##### B. Emisi dari Komponen Inorganik

Konsentrasi partikulat matter yang dihasilkan saat pembakaran berkaitan erat dengan besarnya kandungan abu dalam biomassa. Semakin besar kandungan abu maka partikulat matter (PM<sub>1.0</sub>) yang dihasilkan juga makin besar. Selain itu komponen K, Na, S, dan Cl juga memberikan kontribusi pada banyaknya PM<sub>1.0</sub> yang dihasilkan.

Tabel 2.12. Emisi dari pembakaran bahan baku biomassa

System/Fuel	Estimated thermal efficiency	Fuel used to deliver 1 GJ of useful energy	Particulates grams per kg fuel burned	Sulphur oxides grams per kg fuel burned	Nitrogen oxides grams per kg fuel burned	Hydrocarbons grams per kg fuel burned	Carbon monoxide grams per kg fuel burned
<b>Industrial (&gt;20kW)</b>							
Wood	70	89 kg	6	0.6	4	4	5
Bituminous coal	80	43 kg	65	18	8	0.5	1
Residual oil	80	33 lit.	3	42	8	0.1	0.6
Distillate oil	90	31 lit.	0.3	41	3	0.1	0.7
Natural gas	90	28 m <sup>3</sup>	---	---	---	---	---
<b>Residential (&gt;5kW)</b>							
<u>Heating stoves</u>							
Wood	59	130 kg	21	0.2	1.4	50	130
Anthracite coal	65	49 kg	1	4	5.0	1.3	20
Bituminous coal	65	58 kg	10	30	3.0	10	100
Distillate oil	85	33 lit.	0.4	41	2.5	0.1	0.7
Natural gas	85	30 m <sup>3</sup>	---	---	---	---	---
<u>Cooking stoves</u>							
Wood (tropical)	15	420 kg	9	0.6	0.7	7.5	80
Cow dung (Hawaiian)	15	530 kg	20	6	7.0	7	83
Coal (indian)	20	220 kg	1.2	10	2.0	10	120
Coconut husk	15	480 kg	35	7	7.0	7	110
Natural gas	80	32 m <sup>3</sup>	---	---	---	---	---

Source: Smith (1997)

Wood, 15% moisture (dry basis), 16 MJ/kg  
 Bituminous coal, 10% ash, 1% Sulphur, 29.2 MJ/kg  
 Anthracite coal, 0.2% Sulphur, 31.5 MJ/kg  
 Indian coal, 0.5% Sulphur, 23 MJ/kg

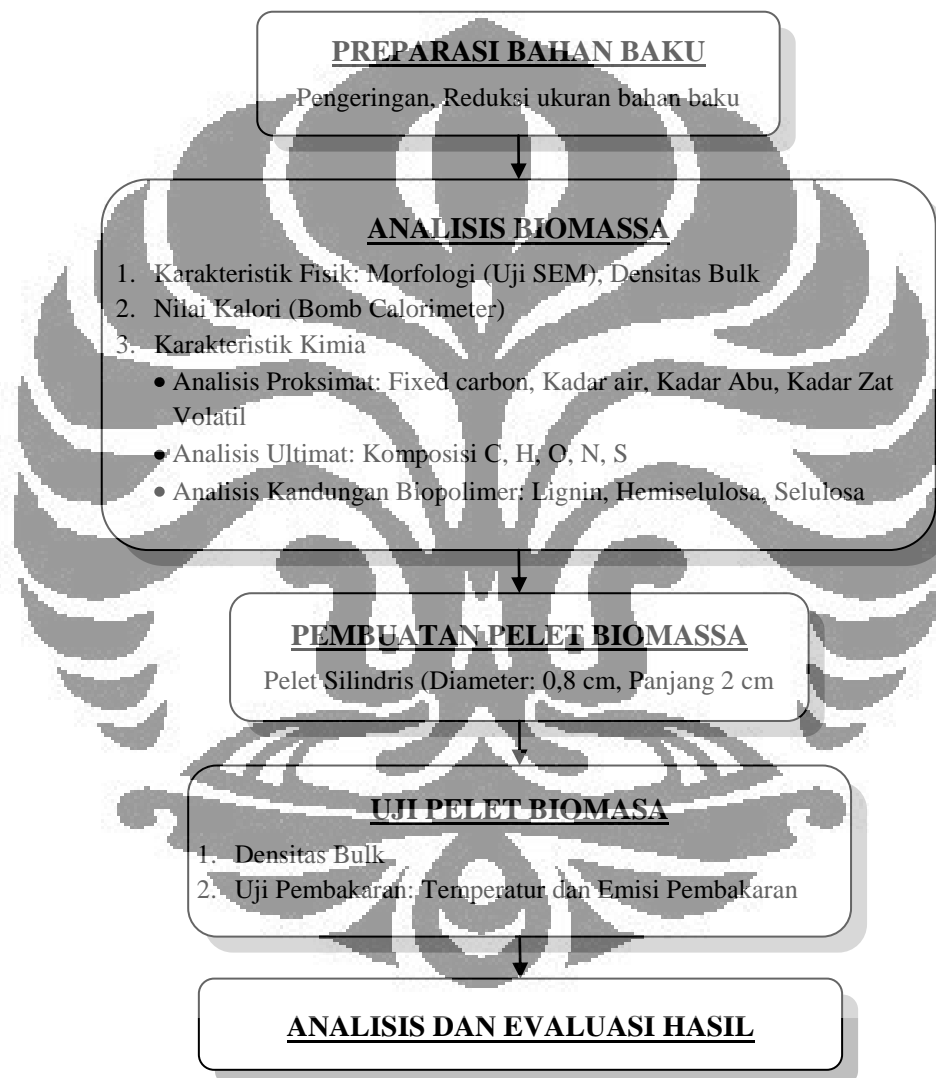
Hawaiian cow dung, 0.3% Sulphur, 15% moisture, 12.5 MJ/kg  
 Coconut husk, 15% moisture (dry basis), 14 MJ/kg  
 Residual oil, .944 specific gravity, 45.9 MJ/kg

\* Excluding natural gas, cooking efficiency and emissions of biomass fuels and coal are based on traditional stoves without any grate.

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri atas tahap preparasi bahan baku, tahap analisis biomassa, tahap konstruksi biomassa, tahap pengujian pelet biomassa, serta tahap analisis dan evaluasi data. Alur penelitian ditunjukkan oleh bagan di bawah ini



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian



### 3.1 Alat dan Bahan

Pada tahap perancangan, tidak dibutuhkan peralatan maupun bahan penelitian sehingga yang dijabarkan di bawah ini hanya alat dan bahan yang dibutuhkan pada tahap preparasi dan pengujian.

#### 3.1.1 Alat dan Bahan Tahap Persiapan Bahan Bakar

Peralatan:

- Mesin *crusher*
- Mesin penepung
- Cetakan pelet
- Alat pemotong kayu

Bahan:

- Limbah kehutanan: ranting pohon karet
- Limbah Industri: *Sawdust* kayu kamper
- Limbah Pertanian: sekam padi, jerami, residu tebu, residu kelapa (serabut kelapa), dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS)

#### 3.1.2 Alat dan Bahan Tahap Pengujian Kandungan Biopolimer

Peralatan:

- Oven
- Gelas filter IG3
- Cawan petri ukuran kecil
- Pipet mohr 10 mL
- Labu takar 50 mL
- Labu takar 100 mL 2 buah
- Gelas ukur 100 mL
- Gelas ukur 50 mL
- Gelas ukur 250 mL
- Beaker glass 50 mL
- Stirer plate
- Mini magnetie stirer
- Cawan petri penyangga ukuran medium
- Erlenmeyer 300 mL
- Erlenmeyer 500 mL
- Alumunium foil
- Sarang besi autoklaf
- Pompa vakum
- Sarung tangan tahan panas
- Penjepit
- Gelas pengaduk

Bahan:

- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72%
- Aquades
- Air panas
- NaOH pure pellets 17,5 gram

- Asam asetat glasial 100%

### 3.1.3 Alat dan Bahan Tahap Analisis Proksimat dan Ultimat

Peralatan:

- Botol timbang
- Muffle furnace
- Carbolite furnace
- Cawan porselen
- Cawan silika tertutup (volume 10 – 20 mL, diameter 25 – 35 mm, tinggi 30 – 35 mm)
- Oven Pengering
- Neraca analitik
- Eksikator
- Stopwatch
- Sudip
- Pipa U
- Flowmeter
- Satu unit furnace Leckho
- Combustion boat platina 25 x 5 x 5 mm
- Combustion tube, fused silica
- Rangkaian penyerap CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O
- Satu unit alat destilasi
- Labu Kjeldahl
- Pemanas Listrik
- Buret Schelbach 25 mL
- Piala gelas 400 mL
- Pipet gondok 25 mL
- Labu semprot
- Alat destruksi
- Cawan perahu
- Pengait cawan
- Pendingin tegak
- Kertas saring berabu
- Kertas saring whatman no. 42
- Spektrofotometer serapan atom
- Corong panjang
- Erlenmeyer 300 mL
- Labu ukur 250 mL
- Penangas listrik

Bahan:

- Oksigen murni
- Pereaksi dalam combustion tube: kasa CuO, kasa perak, dan platina quartz wool 25%
- Pereaksi penyerap CO<sub>2</sub>, berupa padatan natron asbes dan Mg(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> anhidrat
- Pereaksi penyerap H<sub>2</sub>O, yaitu anhidrat Mg(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>
- Serat kaca (*glass wool*)

- Larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat
- Larutan HCl 0,1 N
- Larutan HCl 2:3
- Larutan HNO<sub>3</sub> 1:7
- Larutan BaCl<sub>2</sub> 10%
- Larutan NaOH 30%
- Larutan H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 5%
- Larutan standar Fe 1000 ppm
- Hablur terusi (CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O)
- Hablur selenium
- Hablur K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- Hablur KMnO<sub>4</sub>
- Indikator campuran merah metil 0,125% dengan biru metil 0,083% (1:1) atau MM:MB

### 3.1.4 Alat dan Bahan Tahap Pengujian Nilai Kalori

Peralatan:

- 1 unit aromatic diabatic calorimeter
- Botol semprot 300 mL
- Cawan kalorimeter
- Gelas kimia 400 mL
- Kawat nikrom

Bahan:

- Sampel biomassa

### 3.1.5 Alat dan Bahan Tahap Konstruksi Pelet Biomassa

Peralatan:

- Besi pengepress
- Cetakan pelet
- Mesin pengepress
- Heater

Bahan:

- Serbuk sampel biomassa

### 3.1.6 Alat dan Bahan Tahap Pengujian Pembakaran

Peralatan:

- *Furnace*
- GC TCD
- Termokopel
- Bejana
- Timbangan

Bahan:

- Pelet biomassa
- Air

## 3.2 Tahapan Penelitian

### 3.2.1 Tahap Preparasi Bahan Baku Biomassa

Tahap preparasi merupakan tahap persiapan sampel sedemikian rupa sehingga menjadi suatu contoh yang siap diuji, dianalisis, dan dilakukan proses peletisasi. Tahap preparasi bahan baku biomassa meliputi beberapa tahap, antara lain:

1. Menyediakan bahan baku biomassa yang akan dijadikan sampel untuk diidentifikasi, yaitu:
  - Limbah kehutanan: ranting pohon karet
  - Limbah industri: *sawdust* kayu kamper
  - Limbah Pertanian: sekam padi, jerami, residu tebu, serabut kelapa, dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS)
2. Memberikan label dan nomor kepada tiap sampel biomassa

**Tabel 3.1.** Sampel biomassa

No. Sampel	Jenis Biomassa
1	Jerami
2	Sekam
3	<i>sawdust</i> kayu kamper
4	Ranting kayu karet
5	Serabut kelapa
6	Tandan kosong kelapa sawit (TKKS)
7	Ampas batang tebu (bagas)

3. Memotong sampel 4 (ranting kayu karet), 6 (tandan kosong kelapa sawit), dan 7 (ampas batang tebu) sehingga memiliki panjang yang seragam, yaitu sekitar 1 cm.
4. Mengeringkan sampel 4 (ranting kayu karet), 6 (tandan kosong kelapa sawit), dan 7 (bagas) dengan cara menjemur bahan baku di bawah sinar matahari selama 5 jam. Hal ini dilakukan karena untuk mengoptimalkan kinerja mesin *crusher* dan *hammer mill*.
5. Memasukkan sampel ke dalam mesin *crusher* untuk mereduksi ukuran partikel sampel.

6. Memasukkan sampel ke dalam mesin penepung untuk menghasilkan bahan dalam bentuk serbuk
7. Menyimpan tiap serbuk sampel biomassa ke dalam *plastic wrap* dan memberi label nama pada tiap sampel.

### 3.2.2 Tahap Analisis Biomassa

Tahap ini merupakan tahap yang cukup vital dimana akan dilakukan identifikasi karakteristik dari sampel biomassa yang digunakan. Dengan mengetahui karakteristik kandungan tiap sampel biomassa, dapat diketahui jenis proses dan produk akhir apa yang sesuai untuk tiap sampel biomassa.

#### 3.3.2.1 Pengujian Karakteristik Fisik Biomassa

##### A. Pengujian Densitas Bulk Biomassa

Langkah yang dilakukan untuk pengujian nilai densitas bulk dari biomassa adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan wadah dengan volume 100 ml
2. Menimbang massa kosong wadah tersebut
3. Memasukkan sampel ke dalam wadah hingga penuh
4. Menimbang massa wadah yang telah berisi sampel
5. Menghitung *bulk density* sampel dengan membagi massa sampel (massa wadah yang telah berisi sampel dikurangi dengan massa wadah) dengan volume wadah

##### B. Morfologi Biomassa

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan tenaga dari luar yaitu Laboratorium CMFD di Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, dengan alat *Scanning Electron Microscop* (SEM).

#### 3.2.2.2 Pengujian Karakteristik Kimia Biomassa

Pada tahap ini dilakukan tiga analisis utama yaitu analisis ultimate, analisis proximate, serta analisis kandungan biopolimer. Analisis ultimate dilakukan untuk menunjukkan persen berat dari *fixed carbon*, bahan mudah menguap, abu, dan

kadar air. Analisis proximate dilakukan untuk *ultimate* menentukan berbagai macam kandungan kimia unsur-unsur seperti karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, dll. Analisis kandungan biopolimer dilakukan untuk mengetahui kandungan ekstraktif, holoselulosa, hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Analisis ultimat dan proksimat dilakukan di laboratorium pengujian Teknologi Mineral dan Batubara, sedangkan untuk analisis kandungan biopolimer dilakukan di laboratorium Biomaterial LIPI.

### Analisis Proksimat

#### A. Penetapan Kadar Air

Metode: ISO 11722 ASTM D. 3173

Prinsip penentuan kadar air adalah menghitung kehilangan massa sampel biomassa setelah dipanaskan pada suhu dan waktu standar. Langkah kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menimbang 1 gram sampel 1 ke dalam botol timbang yang telah diketahui massa kosongnya
2. Memanaskan sampel ke dalam oven pada suhu 105<sup>0</sup>C selama 1 jam
3. Mendinginkan sampel ke dalam eksikator dan menimbang sampai massanya konstan
4. Menghitung kadar air dengan rumus:

$$\text{kadar air} = \frac{\text{massa sampel} - \text{massa kering}}{\text{massa sampel}} \times 100\%$$

(3.1)

5. Mengulangi tahap 1 – 4 untuk sampel 2, 3, 4, 5, 6, dan 7

#### B. Penetapan Kadar Abu

Metode: ISO 1171 ASTM D. 3174

Prinsip penentuan kadar abu adalah mengabukan sampel biomassa pada kondisi standar sampai tercipta pengabuan sempurna. Langkah kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menimbang 1 gram sampel 1 ke dalam cawan porselen yang telah diketahui massa kosongnya

2. Memanaskan sampel pada suhu rendah (400 °C), kemudian perlahan-lahan menaikkan suhu hingga (800 °C)
3. Melakukan pengabuan sampai sempurna selama 4 jam
4. Mendinginkan pada eksikator dan menimbanginya
5. Menghitung kadar abu dengan rumus

$$Kadar\ abu = \frac{massa\ abu}{massa\ sampel} \times 100\%$$

(3.2)

6. Mengulangi tahap 1 – 5 untuk sampel 2, 3, 4, 5, 6, dan 7

### C. Penetapan Kadar Zat Terbang

Metode: ISO 562

Prinsip penentuan kadar zat terbang adalah memanaskan sampel biomassa tanpa oksidasi pada kondisi standar, kemudian melakukan koreksi terhadap kadar air. Langkah kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menimbang 1 gram sampel ke dalam cawan silika yang telah diketahui massa kosongnya
2. Memanaskan sampel ke dalam *carbolite furnace* pada suhu 900 °C selama 7 menit (waktu diukur dengan menggunakan *stopwatch*)
3. Mendinginkan sampel ke dalam eksikator dan menimbanginya hingga massanya konstan
4. Menghitung kadar zat terbang dengan rumus:

$$Kadar\ zat\ terbang = \left[ \frac{massa\ yang\ hilang}{massa\ sampel} \times 100\% \right] - kadar\ air$$

(3.3)

5. Mengulangi tahap 1 – 4 untuk sampel 2, 3, 4, 5, 6, dan 7

### D. Penetapan Kadar Karbon Padat

Untuk menetapkan kandungan kadar karbon padat dapat diperoleh berdasarkan perhitungan berikut ini:

Kadar karbon padat = 100% - kadar air – kadar abu – kadar zat terbang

(3.4)

## Analisis Ultimat

### A. Penetapan Kadar Karbon dan Hidrogen

Metode: ISO 625 ASTM D.3178

Prinsip penentuan kadar karbon dan hidrogen adalah mengoksidasikan biomassa dalam combustion tube. Gas hasil oksidasi dialirkan melalui penyerap air dan karbondioksida, kemudian ditetapkan secara gravimetri.

Langkah kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Meyalakan alat dengan cara menekan tombol on.
2. Menyiapkan rangkaian penyerap, dirangkaikan pada combustion tube dan memeriksanya jangan sampai ada kebocoran.
3. Membiarkan rangkaian penyerap selama 15 menit, kemudian menimbangya dan menghubungkan dengan pipa pembakar.
4. Menimbang 0,1 gram biomassa dan memasukkannya ke dalam *combustion boat* yang telah diketahui massanya.
5. Memasukkan combustion boat ke dalam pipa pembakar pada bagian yang dingin dari furnace 1 yang telah dipanaskan pada suhu 850 – 900 °C.
6. Mengalirkan gas oksigen dengan laju 50 – 100 mL/menit dan membiarkan furnace 1 bergerak sampai tepat di atas sampel.
7. Mematikan motor penggerak dan membiarkan furnace 1 tepat di atas sampel dan membiarkannya selama 45 menit.
8. Mengembalikan furnace 1 pada posisi semula, menjalankan kembali motor dan melanjutkan mengalirkan gas oksigen selama 15 menit
9. Memisahkan rangkain penyerap dari pipa pembakar dan mendinginkannya pada suhu kamar, kemudian menimbangya.
10. Menghitung kadar hidrogen dan kadar karbon dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kadar hidrogen} = \frac{\text{massa } H_2O \times 11,19}{\text{massa sampel}} \quad (3.5)$$

$$\text{Kadar karbon} = \frac{\text{massa } CO_2 \times 27,289}{\text{massa sampel}} \quad (3.6)$$



## B. Penetapan Kadar Nitrogen

Metode: ISO 332 ASTM D.3179

Prinsip penentuan kadar nitrogen adalah mendestruksi biomassa dengan asam sulfat pekat dengan katalis campuran selen dan  $\text{KMnO}_4$  sehingga terbentuk ammonium sulfat. Dengan menambahkan hidroksida alkali, amoniak yang dilepaskan ditampung dengan  $\text{H}_3\text{BO}_3$  membentuk  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3$  dan dapat ditetapkan secara titrimetri. Langkah kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menimbang 1 gram sampel ke dalam labu Kjedhal yang berisi 10 gram  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , 0,7 gram terusi, dan 0,3 gram selen. Kemudian dibubuhi dengan 25 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat, digoyang hingga homogen.
2. Mendestruksi sampai larutan berwarna hijau jernih. Jika sampel bekadar abu tinggi, larutan akan berwarna hijau keruh.
3. Mendinginkan dan membubuhi sedikit hablur  $\text{KMnO}_4$ , kemudian larutan didestruksi kembali hingga hijau jernih.
4. Mendinginkan dan memasukkan ke dalam alat destilasi sambil dibilas.
5. Menambahkan air supaya tidak membeku, menyiapkan 25 mL larutan  $\text{H}_3\text{BO}_3$  5% sebagai penampung dan alat destilasi dinyalakan.
6. Menambahkan  $\text{NaOH}$  setelah mendidih atau  $\text{KOH}$  30% sedikit demi sedikit hingga larutan berwarna hitam coklat dan destilasi diteruskan.
7. Amoniak yang terbentuk ditampung dalam 25 mL larutan  $\text{H}_3\text{BO}_3$  5% yang telah disiapkan dan dibubuhi indikator MM:MB
8. Setelah volume penampung mencapai 250 mL atau larutan berwarna ungu maka destilasi dihentikan.
9. Melakukan titrasi dengan larutan  $\text{HCl}$  0,1 N sampai titik akhir berwarna hijau.
10. Melakukan analisis blanko
11. Menghitung kadar nitrogen dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kadar nitrogen} = \frac{(\text{VHCl}_{\text{contoh}} - \text{VHCl}_{\text{blanko}}) \times N_{\text{peniter}} \times 0,014}{\text{massa sampel}} \times 100\% \quad (3.7)$$

### C. Penetapan Kadar Belerang

Metode: ASTM D.4239

Prinsip penetapan kadar belerang adalah meleburkan sampel pada suhu tinggi hingga membentuk SO<sub>3</sub>. Pada proses pembakaran, SO<sub>3</sub> ditangkap kemudian dianalisis dengan alat leckho. Sehingga didapatkan kadar belerang total. Langkah kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menimbang 0,25 gram contoh batubara dalam cawan perahu
2. Memasukkan cawan perahu yang berisi sampel ke dalam furnace yang telah diset suhunya dan telah dialiri oleh gas oksigen
3. Mencatat hasil yang diperoleh pada komputer
4. Melakukan pengerjaan duplo

### D. Penetapan Kadar Oksigen

Untuk menetapkan kandungan kadar karbon padat dapat diperoleh berdasarkan perhitungan berikut ini:

$$\%O = 100\% - \%C - \%H - \%N - \%S \quad (3.8)$$

## Analisis Kandungan Biopolimer

### A. Penetapan Kadar Lignin

Metode: TAPPI TM T222 OM88

Langkah kerja yang dilakukan dalam penentuan kadar lignin adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan gelas filter IG3 kosong dan cawan ukuran kecil ke dalam oven minimal 3 jam sebelum pengujian
2. Memasukkan gelas IG3 kosong dan cawan tersebut ke dalam desikator sekitar 30 menit
3. Menimbang gelas IG3 kosong dan mengukur kadar air bagas bebas ekstraktif
4. Menyiapkan labu takar ukuran 50 mL dan membuat larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72%
5. Memasukkan sampel bebas ekstraktif sebanyak 0,5 gram ke dalam beaker glass ukuran 50 mL

6. Memasukkan 7,5 mL larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72% ke dalam beaker glass
7. Melakukan pengadukan dengan menggunakan magnetic stirer dan memasang angka 10 pada stirer plate selama 4 jam pada suhu kamar
8. Memasukkan sampel yang telah diaduk ke dalam erlenmeyer ukuran 300 mL
9. Menambahkan 280 mL akuades ke dalam erlenmeyer
10. Menutup erlenmeyer dengan aluminium foil rangkap dua dan di autoklaf dengan suhu 121 °C selama 15 menit
11. Menyaring langsung dengan menggunakan gelas filter IG3
12. Mencuci dengan air panas masing-masing 100 mL
13. Mengeringkan gelas IG3 yang telah berisi filtrat pada suhu 105 °C selama 16-24 jam
14. Mendinginkan dalam desikator selama 30 menit kemudian menimbangnya

#### B. Penetapan Kadar Selulosa

Metode: TAPPI TM T203 OM88

Langkah kerja yang dilakukan dalam penentuan kadar lignin adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan gelas IG3 kosong dalam desikator selama 30 menit
2. Menimbang gelas IG3 kosong
3. Menyiapkan 2 labu takar 100 mL untuk membuat larutan NaOH 17,5% dan asam asetat glasial 10%
4. Memasukkan sampel hasil uji holoselulosa sebanyak 0,5 gram ke dalam beaker glass ukuran 50 mL
5. Menambahkan masing-masing 12,5 mL NaOH 17,5%
6. Meletakkan di atas cawan penyangga yang telah dituang air di stirer plate yang dipasang pada angka 10 selama 30 menit
7. Menambahkan masing-masing 12,5 mL akuades, dan membiarkan selama 5 menit
8. Menyaring dengan menggunakan gelas filter IG3
9. Mencuci dengan akuades selama 3 menit

10. Mencuci dengan 20 mL asam asetat glasial 10%
11. Mencuci masing-masing dengan 500mL air panas
12. Mengeringkan gelas filter IG3 yang telah berisi filter pada suhu 105 °C selama 16-24 jam
13. Mendinginkan dalam desikator selama 30 menit dan kemudian menimbangnya.

### C. Penetapan Kadar Selulosa

Metode: TAPPI TM T223m

Langkah kerja yang dilakukan dalam penentuan kadar hemiselulosa adalah sebagai berikut:

1. Masukkan 1,5 gr  $\pm$  0,1 gr serbuk sampel ke dalam labu distilasi 300
2. Tambahkan parafin untuk mencegah buih/peleupuan dan beberapa potongan benda porous untuk mencegah peleupuan.
3. Menambahkan 100 ml HCl 12% lalu melakukan distilasi.
4. Hasil distilat harus disaring dan dimasukkan ke gelas ukur.
5. Tambahkan 30 ml HCl 12% setiap diperoleh distilat sebanyak 50 ml. Distilasi diakhiri jika sudah diperoleh 360 ml distilat.
6. Pada distilat secara berangsur-angsur dimasukkan larutan floroglusinol – HCl yang sudah disaring (11 gr floroglusinol dalam 1500 ml HCl 12%) sambil diaduk.
7. Diamkan distilat selama 16 jam, hingga endapan hitam dari furfural floroglusinol mengendap didasar gelas ukur.
8. Periksa keasaman larutan dengan kertas aniline asetat, jika masih berwarna merah jambu berarti pengendapan belum sempurna sehingga perlu ditambahkan larutan floroglusinol – HCl lagi dan didiamkan selama 16 jam.
9. Kumpulkan endapan dalam cawan saring yang sudah ditimbang.
10. Endapan dicuci dengan 100 ml aquadest, lalu dikeringkan dalam oven selama  $\pm$  2,5 jam pada suhu 100° - 105°C dan hasilnya ditimbang (a).
11. Berat hemiselulosa/pentosan adalah = (a + 0,0052) f, dimana :  
a = berat furfural floroglusinol dalam gr.

$f = 0,895$  jika berat  $a$  kurang dari  $0,03$  gr.

$0,887$  jika berat  $a$  antara  $0,03 - 0,3$  gr.

$0,882$  jika berat  $a$  lebih besar dari  $0,3$  gr.

12. Kadar hemiselulosa/pentosan dihitung sebagai persen dari berat sampel kering tanur.

$$\text{Kadar hemiselulosa/pentosan} = \frac{\text{Bkt} \times (1 + \text{kadar air})}{\text{Bb}} \quad (3.9)$$

### 3.2.2.3 Analisis Nilai Kalor

Metode yang digunakan pada pengujian nilai kalori adalah ASTM D. 5865. Prinsip yang digunakan dalam menentukan nilai kalori adalah membakar sampel di dalam bomb calorimeter pada kondisi standar. Panas yang dihasilkan dihitung dengan kenaikan suhu setelah pembakaran, dikurangi beberapa nilai koreksi. Langkah kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menimbang 1 gram sampel ke dalam cawan kalorimeter
2. Menghubungkan alat dengan arus listrik 220 V
3. Menekan tombol sumber arus listrik, lalu lampu indikator akan menyala
4. Menjalankan pompa aliran pendingin
5. Mengisi bak kalorimeter (Vessel) dengan air sebanyak 2 liter dengan suhu sesuai skala termometer ( $27^{\circ}\text{C}$ ).
6. Apabila suhu di dalam bak kalorimeter (Vessel) lebih tinggi dari suhu jacket, Heater akan menyala sampai suhu vessel dan suhu jacket setimbang (indikator amperemeter akan menunjukkan skala 6-8A)
7. Membiarkan suhu sampai setimbang 10 – 12 menit
8. Memasukkan bomb calorimeter yang sudah berisi 1 gram sampel kedalam Vessel
9. Menghubungkan tombol arus alat dengan bomb calorimeter sampai lampu indikatornya menyala (*ready to fire*).
10. Menekan tombol fire sampai lampu indikator padam, dan suhu Vessel akan naik seperti yang ditunjukkan pada skala termometer.
11. Membiarkan sampai suhu setimbang selama 25 menit.
12. Setelah selesai melakukan analisis, saklar heater dimatikan dan Bomb diangkat dari Vessel
13. Mematikan alat (mains off)

### 3.2.3 Pembuatan Pelet Biomassa

Pada tahap pembuatan pelet biomassa, prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan serbuk biomassa sampel 1 ke dalam alat pencetak.
2. Memasukkan besi penekan kedalam alat pencetak
3. Menyalakan pemanas dan mengatur temperatur pada suhu 150°C
4. Memompa mesin *cold press* hingga tekanan yang ditunjukkan mencapai 2 ton.
5. Menunggu selama 2 menit untuk mengaktivasi lignin yang terkandung di dalam biomassa
6. Mengeluarkan pelet yang berada di dalam alat pencetak.
7. Mengulangi prosedur 1 – 6 untuk sampel 2,3,4,5,6, dan 7.



Gambar 3.2. Mesin *cold press*

### 3.2.4 Pengujian Pelet Biomassa

#### 3.2.4.1 Pengujian Densitas Bulk

Langkah yang dilakukan untuk pengujian nilai densitas bulk dari pelet biomassa adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan wadah dengan volume 100 ml
2. Menimbang massa kosong wadah tersebut

3. Memasukkan pelet ke dalam wadah hingga penuh
4. Menimbang massa wadah yang telah berisi pelet
5. Menghitung *bulk density* pelet dengan membagi massa pelet (massa wadah yang telah berisi pelet dikurang dengan massa wadah) dengan volume wadah

#### 3.2.4.2 Pengujian Pembakaran

Pada pengujian terhadap performa pembakaran pelet biomassa, parameter yang akan di uji adalah temperatur dan emisi pembakaran. Prosedur dalam pengujian pembakaran adalah sebagai berikut.

1. Melubangi pelet biomassa pada bagian tengah dengan bor berdiameter 1.5 mm
2. Memasukkan sebuah termokopel ke dalam lubang pada pelet biomassa
3. Meletakkan pelet biomassa yang telah terhubung dengan termokopel di atas cawan dan memasukkannya ke dalam *furnace*.
4. Menghubungkan kedua termokopel pada data akuisisi yang telah terhubung ke komputer
5. Mengeset temperatur *furnace* pada 250°C dan menyalakan *furnace*
6. Mencatat temperatur pelet biomassa yang terbakar
7. Menyalakan GC Shimadzu 8 – APT & C-R6A “Detektor TCD”
8. Menyalakan *Portable CO-Detector*
9. Pada selang waktu 5 menit mengukur emisi CO dengan *Portable CO-Detector*
10. Pada selang waktu 10 menit mengambil gas pembakaran sebanyak 1 ml dengan cara mendekatkan *syringe* ke lubang pada bagian atas *furnace*.
11. Menyuntikkan gas dalam *syringe* ke dalam kolom GC
12. Menekan tombol start dan menunggu munculnya peak sekitar 5 – 10 menit
13. Setelah semua peak sudah muncul maka selanjutnya adalah menekan tombol stop dan mengolah data yang keluar.
14. Pengujian dilakukan pada tiap sampel pelet biomassa.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Preparasi Biomassa

Tahap preparasi merupakan tahap persiapan sampel sedemikian rupa sehingga menjadi suatu contoh yang siap diuji, dianalisis, dan dilakukan proses peletisasi. Tahap ini meliputi proses pengeringan dan reduksi bahan baku. Setelah melalui proses pengeringan, tiap bahan baku dimasukkan ke dalam mesin *crusher* dan *hammer mill*. Hasil yang didapatkan adalah biomassa yang berbentuk serbuk dengan ukuran partikel 1 mm.



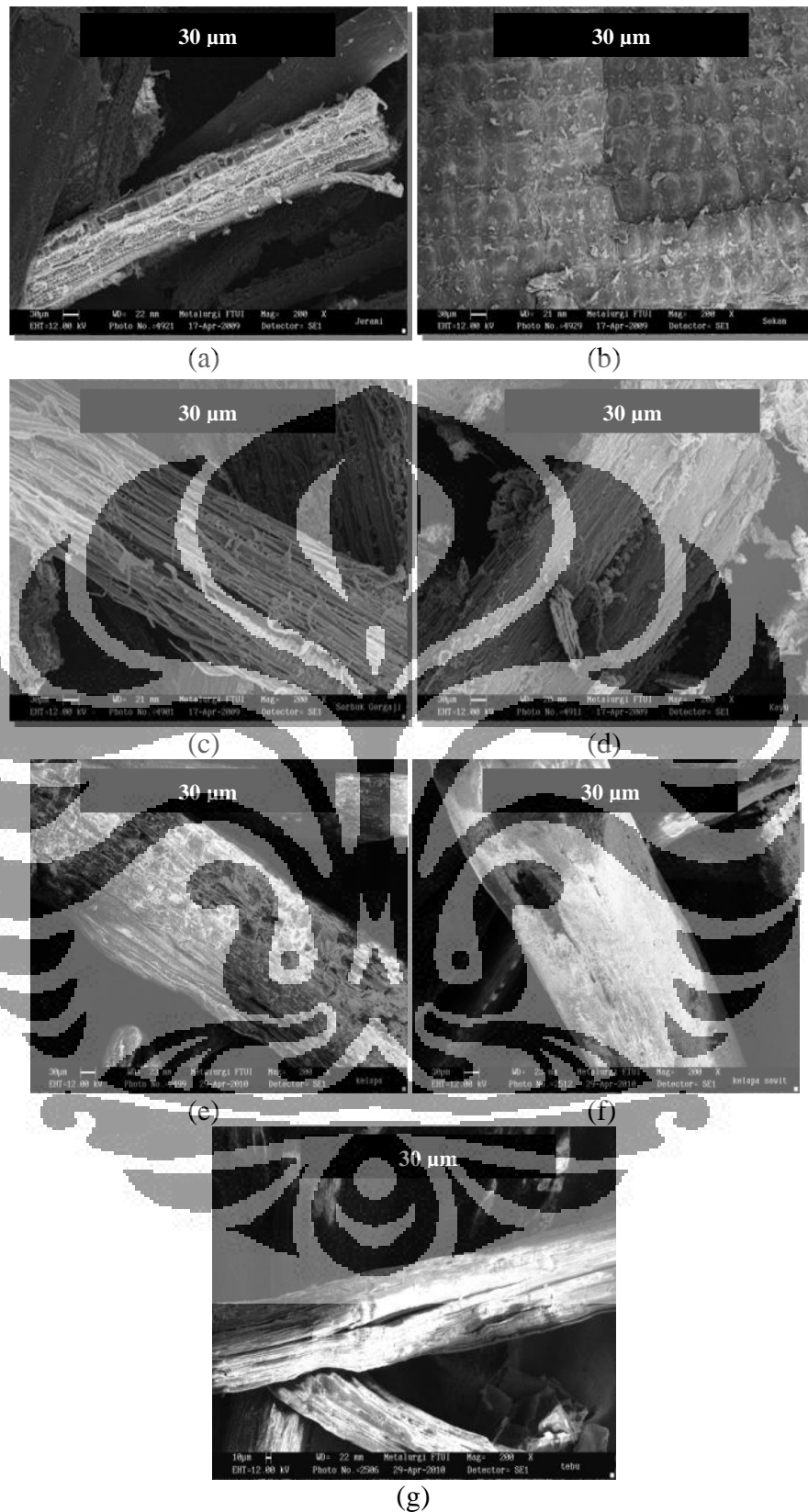
Gambar 4.1. Sampel biomassa setelah melalui tahap preparasi bahan baku: (a) jerami, (b) sekam, (c) kayu kamper, (d) kayu karet, (e) serabut kelapa, (f) TKKS, (g) bagas

#### 4.2 Sifat dan Karakteristik Biomassa

##### 4.2.1 Morfologi Biomassa

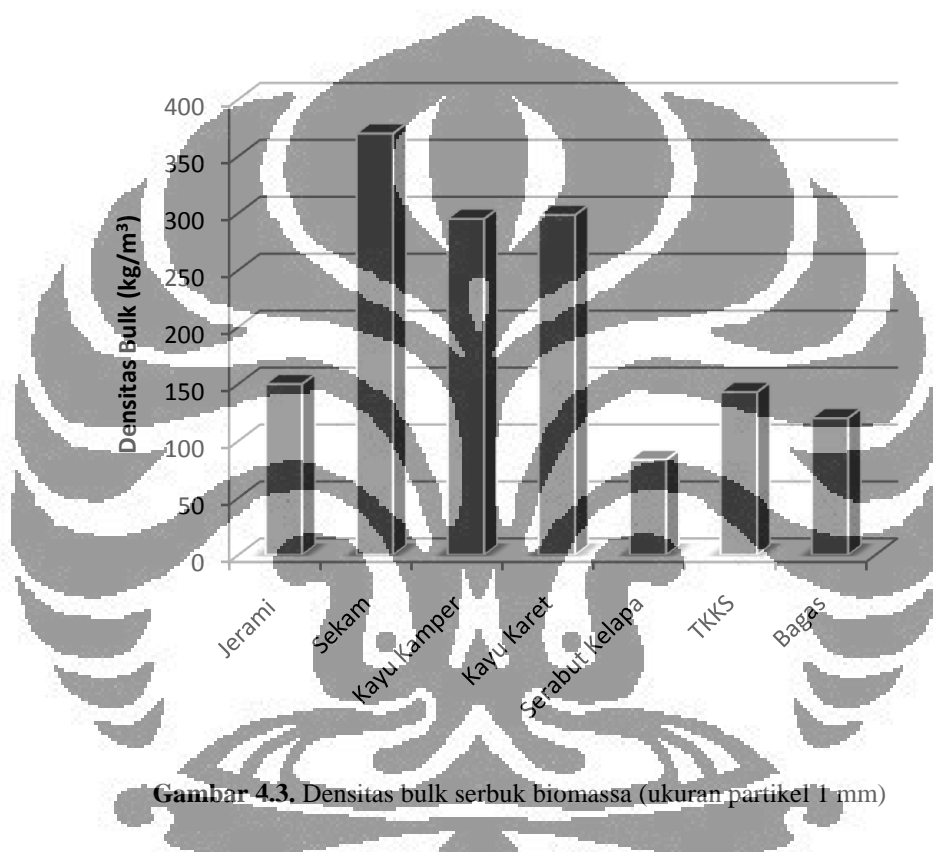
Metode yang dilakukan untuk memperoleh bentuk morfologi dari bahan baku biomassa adalah dengan uji *Scanning Electron Microscope* (SEM). Uji ini dilakukan di laboratorium CMPFA, Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia. Gambar 4.2 berikut ini merupakan hasil dari uji SEM yang telah dilakukan terhadap sampel biomassa dengan perbesaran 200 x.





**Gambar 4.2.** Hasil SEM untuk masing-masing jenis biomassa: (a) jerami, (b) sekam, (c) kayu kamper, (d) kayu karet, (e) serabut kelapa (f) TKKS, (g) bagas

Hasil SEM memperlihatkan struktur serat dari tiap bahan baku biomassa. Dari hasil SEM tersebut, dapat kita lihat bahwa struktur serat yang paling padat adalah sekam, kemudian diikuti oleh kayu karet, kayu kamper, dan jerami. Serabut kelapa, tandan kosong kelapa sawit, dan tebu memiliki struktur yang lebih berpori. Hasil SEM dapat mengidentifikasi *bulk density* awal dari tiap jenis biomassa. Struktur serat yang padat menunjukkan densitas bulk yang tinggi, sedangkan serat yang berpori menunjukkan densitas bulk yang rendah.



Gambar 4.3. Densitas bulk serbuk biomassa (ukuran partikel 1 mm)

Dari Gambar 4.3 di atas, dapat dilihat bahwa densitas bulk yang tertinggi adalah sekam dengan nilai  $370 \text{ kg/m}^3$ , dan yang terendah adalah serabut kelapa dengan nilai  $83,33 \text{ kg/m}^3$ . Hal ini sesuai dengan hasil SEM dari tiap biomassa dimana sekam memiliki struktur serat yang paling padat dan serabut kelapa memiliki struktur serat yang berpori. Nilai densitas bulk awal ini sangatlah berpengaruh terhadap densitas bulk pelet biomassa yang akan dihasilkan setelah proses densifikasi. Densitas bulk awal yang rendah akan membutuhkan energi yang lebih besar untuk menghasilkan densitas bulk pelet yang tinggi.

## 4.2.2 Komposisi Biomassa

### A. Hasil Analisis Proksimat

Analisis proksimat dilakukan untuk mengetahui kandungan air, kadar abu, kandungan zat volatil, dan fixed carbon. Tabel 4.1 di bawah ini merupakan hasil proksimat dari tiap sampel biomassa.

**Tabel 4.1.** Hasil analisis proksimat sampel biomassa setelah perlakuan awal

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

Untuk beberapa sampel biomassa (jerami dan sekam), hasil analisis proksimat yang dilakukan tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan hasil analisis proksimat dari literatur yang ada. Perbedaan ini kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan kondisi tiap sampel biomassa. Perbedaan hasil yang paling signifikan terletak pada sampel TKKS dan bagas, yaitu pada nilai kadar air. Hal ini dikarenakan, sampel yang dianalisis pada percobaan ini adalah sampel yang telah melalui proses pengeringan, sedangkan sampel yang ada pada literatur adalah sampel yang belum melalui proses pengeringan. Pada literatur, diketahui bahwa kadar air TKKS bernilai 58,6% dan bagas bernilai 50,73%. Setelah melalui proses pengeringan, kandungan air pada TKKS dapat diturunkan menjadi 10,45% dan bagas menjadi 8,76%.

Dari Tabel 4.1 di atas, kita ketahui bahwa kandungan air yang tertinggi ada pada kayu kamper (15,52%) dan yang terendah adalah sekam (7,78%). Kandungan air yang paling optimal untuk proses densifikasi adalah 8% – 15%. Kandungan air yang terlalu rendah dan terlalu tinggi akan sulit untuk merekat dan menghasilkan pelet yang rapuh. Sekam tersusun dari palea dan lemma (bagian yang lebih lebar) yang terikat dengan struktur pengikat yang menyerupai kait. Sel-sel sekam yang telah masak mengandung lignin dan silika dalam konsentrasi

tinggi. Kandungan silica diperkirakan berada dalam lapisan luar sehingga permukaannya keras dan sulit menyerap air, mempertahankan kelembaban, serta memerlukan waktu yang lama untuk mendekomposisinya.

Kemudian, kandungan air juga memiliki peranan yang cukup penting pada nilai kalor dari tiap biomassa. Semakin besar kandungan air maka semakin rendah nilai kalornya, karena H<sub>2</sub>O tidak memiliki nilai kalor. Namun, nilai kalor tidak hanya dipengaruhi oleh kandungan air saja. Selain itu, kandungan karbon, hidrogen, dan oksigen yang terdapat pada tiap biomassa.

Sekam memiliki kadar abu yang tertinggi (21,84%), sedangkan kayu kamper memiliki kadar abu yang terendah (1,21%). Hal ini mengindikasikan bahwa ketika pelet dibakar, maka pelet yang terbuat dari sekam akan menghasilkan emisi abu (*ash*) dan partikulat matter yang paling banyak, sedangkan pelet yang terbuat dari kayu kamper menghasilkan emisi abu (*ash*) dan partikulat matter yang paling sedikit. Nilai kadar abu merupakan hal penting dalam perancangan *grate* tungku, volum pembakaran, peralatan kendali polusi dan sistem *handling* abu pada tungku.

Kandungan bahan yang mudah menguap (*volatile matter*) yang tinggi menunjukkan mudahnya penyalaan bahan bakar. Biomassa yang memiliki kandungan zat volatil tertinggi adalah bagas (75,94%), sedangkan yang terendah adalah jerami (56,48%). Hal tersebut menandakan bahwa pelet yang terbuat dari bagas akan lebih mudah untuk terbakar atau lebih cepat untuk terignisi.

Kandungan *Fixed carbon* yang tertinggi terdapat pada serabut kelapa (23,82%), sedangkan yang terendah terdapat pada sekam padi (13,33%). *Fixed carbon* memiliki peran sebagai pembangkit panas selama pembakaran. Maka, semakin banyak kandungan karbon padat menandakan bahwa semakin banyak pula zat yang dapat bereaksi dalam reaksi pembakaran sehingga memungkinkan reaksi pembakaran berjalan dengan lebih baik.

## B. Hasil Analisis Ultimat

Tabel 4.2 menyajikan data kandungan unsur-unsur kimia yang ditentukan dengan menggunakan analisis ultimat. Analisis *ultimate* menentukan berbagai macam kandungan unsur- unsur kimia seperti karbon, hidrogen, oksigen, sulfur,

dll. Analisis ini berguna dalam penentuan jumlah udara yang diperlukan untuk pembakaran dan volum serta komposisi gas pembakaran. Data ini juga sangat penting dalam menentukan nilai kalor tiap sampel biomassa.

**Tabel 4.2.** Hasil analisis ultimat sampel biomassa setelah perlakuan awal

Jenis Biomassa	Carbon	Hidrogen	Nitrogen	Belerang	Oksigen
	(%, adb)	(%, adb)	(%, adb)	(%, adb)	(%, adb)
Jerami	36,48	4,7	0,61	0,09	40,7
Sekam	35,18	4,46	0,15	0,01	38,36
Kayu Kamper	45,67	5,74	0,12	Trace	47,26
Kayu Karet	45,62	5,57	0,72	0,04	43,76
Serabut Kelapa	46,87	5,77	0,04	0,08	43,97
TKKS	44,06	6,06	0,29	0,11	46,05
Bagas	46,1	6,1	0,11	0,17	46,18

Hasil analisis ultimat dari sampel biomassa yang dilakukan, tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan hasil yang diperoleh dari beberapa literatur. Pada literatur, untuk jerami kadar C bernilai 35,97%, kadar O bernilai 43,08%, dan kadar H bernilai 5,28%, sedangkan pada percobaan kadar C bernilai 36,48%, kadar O bernilai 40,7%, dan kadar H bernilai 4,7%. Selain itu untuk sampel TKKS, pada literatur kadar C bernilai 48,79%, kadar O bernilai 40,18% dan kadar H bernilai 7,33%, sedangkan pada percobaan kadar C bernilai 44,06%, kadar O bernilai 46,05%, dan kadar H bernilai 6,06%. Sehingga dapat kita simpulkan bahwa data yang diperoleh pada percobaan ini cukup valid.

Dari data di atas, dapat kita lihat bahwa kandungan nitrogen dan belerang sangat kecil. Hal ini merupakan salah satu keuntungan dari biomassa dibandingkan dengan batubara. Pada biomassa, kandungan nitrogen dan sulfur berada di bawah 1%, sedangkan kandungan nitrogen dan sulfur pada batubara bernilai sampai 3% (ASTM, 1981, *op cit* Wood *et al.*, 1983). Oleh karena itu, apabila dilakukan pembakaran dengan temperatur dan laju alir udara yang sama antara batubara dan biomassa, maka jumlah emisi SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub> pada biomassa memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan batubara.

### C. Kandungan Biopolimer

Tabel 4.3 menyajikan data kandungan lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang dimiliki oleh tiap sampel biomassa.

**Tabel 4.3.** Hasil analisis kandungan biopolimer biomassa

Jenis Biomassa	Lignin (%Dry Base)	Cellulose (%Dry Base)	Hemi- Cellulose (%Dry Base)
Jerami	12,87	40,54	20,80
Sekam	26,11	35,31	22,60
Kayu Kamper	26,01	35,97	20,57
Kayu Karet	22,68	47,89	26,88
Serabut Kelapa	35,57	26,93	25,49
TKKS	18,27	45,38	23,97
Bagas	21,98	39,29	27,63

Dari Tabel 4.3 di atas terlihat bahwa kandungan lignin yang terdapat pada biomassa cukup besar yaitu berada pada rentang 10%-35%. Pada proses densifikasi, lignin yang terkandung pada biomassa bertindak sebagai zat perekat alami. Pada suhu 140°C, lignin akan teraktivasi dan berfungsi secara optimal sebagai zat perekat. Dengan demikian, maka tidak diperlukan lagi perekat tambahan untuk proses densifikasi karena lignin yang terkandung di dalam sampel biomassa sudah cukup untuk menjadi zat perekat. Lignin memiliki rasio dari C:O dan H:O lebih besar dibandingkan dengan fraksi karbohidrat lainnya di dalam biomassa. Hal tersebut yang membuat lignin lebih potensial untuk proses oksidasi.

Pada proses pirolisis, lignin akan menghasilkan senyawa kimia aromatis yang berupa fenol, terutama kresol (Manuel Garcia-Perez, 2009). Pada proses fermentasi, lignin tidak bisa bereaksi dengan enzim, maka lignin tidak akan terkonversi menjadi etanol. Oleh karena itu, lignin hanya akan menjadi residu dengan jumlah yang sangat besar (Zhang, 2008).

Selulosa adalah polimer glukosa (hanya glukosa) yang tidak bercabang. Pada proses pirolisis, selulosa menghasilkan produk perengkahan berupa levoglukosan, 5-hidroksimetilfurfural, hidroasetaldehid, asetol, dan formaldehid. Keberadaan selulosa yang tinggi akan memudahkan dekomposisi dari bahan baku

untuk melepaskan zat volatil *light*-hidrokarbon di bawah suhu 450 °C (Uzun, Basak Burcu, 2007). Pada proses fermentasi, awalnya selulosa akan dihidrolisis menjadi glukosa dengan nilai konversi 80%. Selanjutnya, glukosa akan difermentasi menjadi etanol dengan nilai konversi 95% (Zhang, 2008).

Hemiselulosa tersusun dari bermacam-macam jenis gula. Monomer gula penyusun hemiselulosa terdiri dari monomer gula berkarbon 5 (C<sub>5</sub>) dan 6 (C<sub>6</sub>), misalnya xylosa, mannose, glukosa, galaktosa, arabinosa, dan sejumlah kecil rhamnosa, asam glukoroat, asam metal glukoronat, dan asam galaturonat. Pada proses pirolisis, hemiselulosa akan menghasilkan asam asetat, furfural, dan furan. Pada proses fermentasi, hemiselulosa mulanya akan dihidrolisis menjadi xylosa dengan nilai konversi 70%. Kemudian, xylosa akan difermentasi menjadi etanol dengan nilai konversi 60% (Zhang, 2008).

#### 4.2.3 Nilai Kalor Biomassa

Nilai kalor pada sampel biomassa ditentukan dengan menggunakan alat *bomb calorimeter*. Tabel 4.4 di bawah ini menunjukkan nilai kalor pada tiap sampel biomassa.

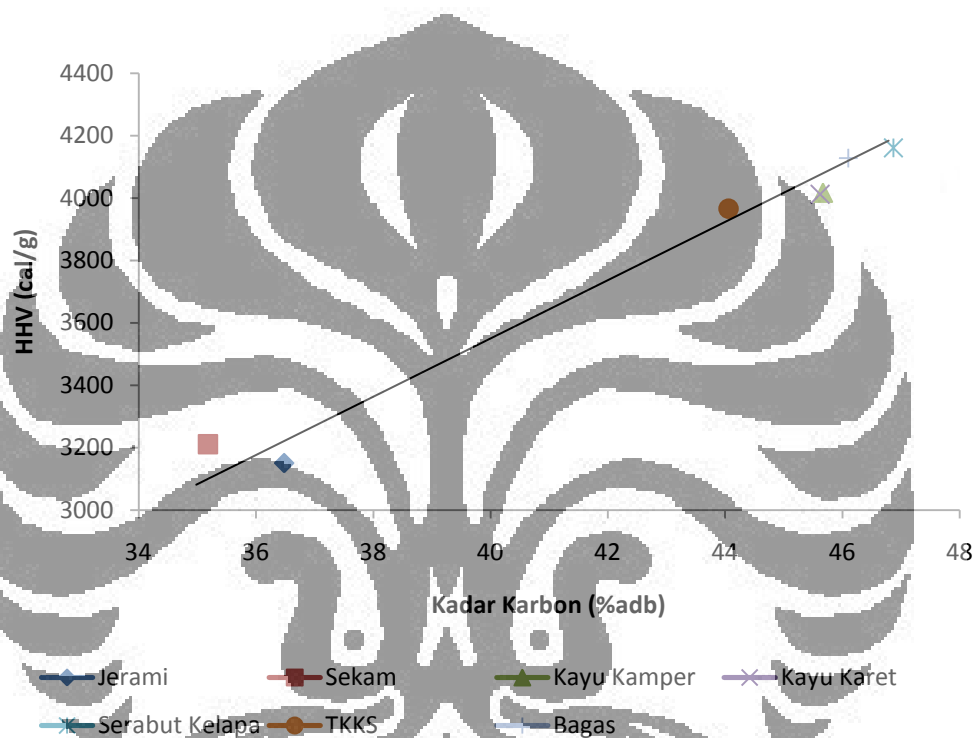
Nilai kalor dari tiap biomassa ini sangat dipengaruhi oleh komponen unsur kimia yang terkandung di dalamnya, terutama kandungan karbon dan hidrogen. Dari tabel di atas, terlihat bahwa nilai kalor yang tertinggi ada pada serabut kelapa dengan nilai 4161 cal/g dan nilai kalor yang terendah adalah jerami dengan nilai kalor 3151 cal/g.

Tabel 4.4. Nilai Kalor Biomassa

Jenis Biomassa	Nilai Kalor (HHV)
	Cal/g, adb
Jerami	3151
Sekam	3211
Kayu Kamper	4017
Kayu Karet	4012
Serabut Kelapa	4161
TKKS	3966
Bagas	4128

Pada Gambar 4.4 di bawah ini, jelas terlihat hubungan antara kadar karbon yang terkandung di dalam biomassa dengan nilai kalor (HHV). Dari kedua

gambar itu terlihat bahwa semakin tinggi kadar karbon yang terkandung di dalam biomassa, maka akan semakin tinggi pula nilai kalor yang terbentuk. Pada reaksi pembakaran, karbon akan dioksidasi dengan oksigen dan menghasilkan energi. Oleh karena itulah mengapa hubungan antara kandungan nilai karbon berbanding lurus dengan nilai kalor. Nilai kalor tidak hanya dipengaruhi oleh kadar karbon, tetapi juga oleh hidrogen, oksigen, sulfur, nitrogen. Namun untuk kasus ini, hal yang paling dominan berpengaruh terhadap nilai kalor adalah kadar karbon.



Gambar 4.4. Hubungan antara kadar karbon dengan HHV

Selain dengan menggunakan alat bomb calorimeter, kita juga dapat memprediksi nilai kalor suatu biomassa dengan menggunakan rumus: (Channiwala, 1992)

$$\text{HHV}(\text{kJ/g}) = 0,3491\text{C} + 1,1783\text{H} - 0,1034 \text{O} - 0,0211 \text{A} + 0,1005 \text{S} - 0,0151 \text{N} \quad (4.1)$$

dimana:

C = kadar karbon (%adb)

S = kadar sulfur (%adb)

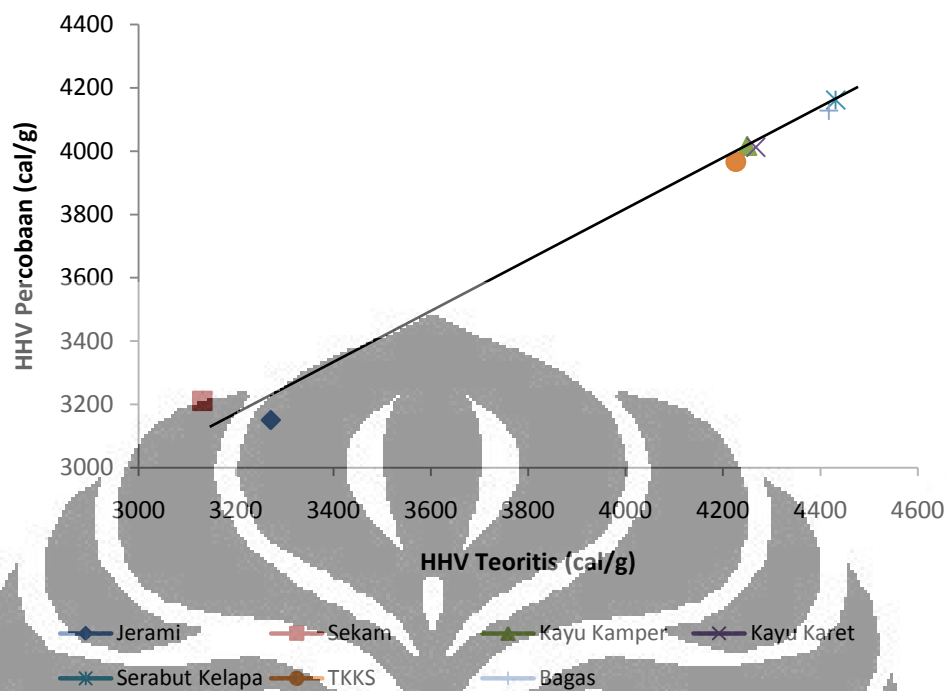
H = kadar hidrogen (%adb)

N = kadar Nitrogen (%adb)

O = kadar oksigen (%adb)

A = kadar abu (%adb)





Gambar 4.5. Perbandingan antara HHV<sub>percobaan</sub> dengan HHV<sub>teoritis</sub>

Dari persamaan 4.1 di atas, dapat kita lihat bahwa nilai kalor dipengaruhi oleh banyaknya unsur C, H, O, S, N, dan kadar ash dalam biomassa. Dengan demikian secara teoritis dapat dilihat bahwa semakin banyak unsur C, H, dan S maka semakin besar nilai kalornya. Namun semakin besar unsur O, N, dan kadar ash maka akan mengurangi nilai kalor.

Dengan persamaan 4.1, kita dapat membandingkan nilai HHV percobaan dan HHV teoritis. Setelah menghitung nilai HHV teoritis, ternyata perbedaannya tidak terlalu signifikan dengan HHV percobaan. Perbedaan antara HHV percobaan dan HHV teoritis hanyalah sebesar  $(5 \pm 3)\%$ , sehingga masih dapat ditoleransi.

### 4.3 Potensi Proses Konversi Biomassa

Setelah melakukan analisa untuk mengetahui komposisi dari tiap biomassa, kita dapat mengetahui karakteristik atau keunikan dari tiap biomassa. Dengan mengetahui hal tersebut, kita juga dapat memprediksi jenis konversi energi apa yang paling sesuai untuk tiap jenis biomassa. Pada bab 3 sudah dijelaskan bahwa

proses konversi biomassa menjadi energi terbagi menjadi 5 bagian besar, yaitu pembakaran langsung, pirolisis, gasifikasi, fermentasi, dan *anaerobic digestion*. Pada sub bab ini akan dianalisa jenis konversi apa yang sesuai untuk diterapkan pada tiap sampel biomassa. Tabel 4.5 di bawah ini menjelaskan mengenai karakteristik tiap sampel biomassa dan jenis konversi yang sesuai.

**Tabel 4.5.** Rekomendasi tipe proses konversi untuk tiap jenis biomassa

Jenis Biomassa	Karakteristik	Potensi Proses
Jerami	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memiliki kadar selulosa yang tinggi</li> <li>• Memiliki kadar abu yang tinggi</li> <li>• Memiliki kadar air yang rendah</li> </ul>	Fermentasi, Pembakaran Langsung
Sekam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memiliki kadar air yang rendah</li> <li>• Memiliki kadar abu yang sangat tinggi</li> <li>• Memiliki kandungan silika yang sangat tinggi</li> </ul>	Pembakaran Langsung, Gasifikasi
Kayu Kamper	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memiliki nilai kalor yang tinggi</li> <li>• Memiliki kadar abu yang rendah</li> </ul>	Pembakaran Langsung, Gasifikasi
Kayu Karet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memiliki nilai kalor yang tinggi</li> <li>• Memiliki struktur yang padat</li> <li>• Memiliki kadar selulosa yang tinggi</li> <li>• Memiliki kadar abu yang rendah</li> </ul>	Pembakaran Langsung, Fermentasi, Pirolisis, Gasifikasi
Serabut Kelapa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memiliki kadar lignin yang tinggi</li> <li>• Memiliki nilai kalor yang tinggi</li> <li>• Memiliki kadar abu yang rendah</li> <li>• Memiliki kadar selulosa yang rendah</li> <li>• Memiliki kadar karbon yang tinggi</li> </ul>	Pembakaran Langsung, Gasifikasi
TKKS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memiliki kadar air yang tinggi</li> <li>• Memiliki kadar selulosa yang tinggi</li> <li>• Memiliki kadar abu yang rendah</li> </ul>	Pirolisis, Fermentasi
Bagas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memiliki kadar air yang tinggi</li> <li>• Memiliki kadar selulosa dan hemiselulosa yang tinggi</li> <li>• Memiliki kadar abu yang rendah</li> </ul>	Pirolisis, Fermentasi

Pada pembakaran langsung dengan proses densifikasi, jenis biomassa yang sesuai adalah biomassa dengan kadar air yang rendah, kadar zat volatil yang tinggi, dan kadar lignin yang tinggi. Kadar air akan mempengaruhi nilai kalor dan kinerja pembakaran. Nilai kadar air yang rendah akan meningkatkan nilai kalor dan meningkatkan kinerja pembakaran. Kemudian nilai zat volatil yang tinggi akan memudahkan dan mempercepat proses ignisi pada biomassa. Lalu untuk pembakaran langsung, nilai dari kandungan biopolimer ini tidak terlalu berpengaruh.

Hal yang perlu diperhatikan pada proses pembakaran langsung pelet biomassa adalah kandungan lignin di dalam biomassa. Pada proses densifikasi,

lignin yang terkandung pada biomassa bertindak sebagai zat perekat alami. Pada suhu  $140^{\circ}\text{C}$ , lignin akan teraktivasi dan berfungsi secara optimal sebagai zat perekat. Oleh karena itu, jenis biomassa yang direkomendasikan untuk proses konversi melalui pembakaran langsung adalah jerami, sekam, kayu kamper, kayu karet, dan serabut kelapa.

Untuk proses konversi dengan fermentasi, nilai dari kandungan biopolimer menjadi hal yang cukup penting. Kandungan biopolimer sangat berpengaruh pada yield produk yang dihasilkan. Pada proses fermentasi, selulosa dan hemiselulosa akan dikonversikan melalui hidrolisis menjadi gula dan nantinya akan difermentasi hingga menjadi etanol. Pada proses konversi ini, lignin tidak bisa bereaksi dengan enzim, maka lignin tidak akan terkonversi menjadi etanol. Oleh karena itu, lignin hanya akan menjadi residu dengan jumlah yang sangat besar (Zhang, 2008). Selulosa akan dihidrolisis menjadi glukosa dengan konversi 80% dan hemiselulosa menjadi xylosa dengan konversi 70%. Selanjutnya adalah proses fermentasi gula, dimana 95% glukosa dan 60% xylosa akan terkonversi menjadi etanol (Zhang, 2008).

Dari keterangan tersebut dapat kita simpulkan bahwa untuk proses konversi menjadi etanol, jenis kandungan biopolimer yang memiliki peran penting adalah selulosa dan hemiselulosa dan lignin tidak akan terlibat dalam proses dan hanya akan menjadi residu saja. Oleh karena itu, jenis biomassa yang cocok untuk proses ini adalah jenis biomassa dengan nilai kandungan selulosa yang tinggi dan lignin yang rendah, yaitu jerami, kayu karet, tandan kosong kelapa sawit, dan bagas.

Kemudian untuk proses konversi jenis pirolisis, komposisi biopolimer juga memiliki peran yang cukup penting. Pirolisis dapat mengkonversi biomassa pada temperatur sekitar  $500^{\circ}\text{C}$  tanpa keberadaan oksigen, menghasilkan fraksi liquid (bio-oil), gas, dan solid (arang). Keberadaan selulosa yang tinggi akan memudahkan dekomposisi dari bahan baku untuk melepaskan zat volatil *light*-hidrokarbon di bawah suhu  $450^{\circ}\text{C}$  (Basak Burcu Uzun, 2007).

Kemudian, dari penelitian sebelumnya juga diketahui bahwa biomassa dengan kandungan holoselulosa (hemiselulosa dan selulosa) yang tinggi akan menghasilkan persentase yield liquid yang tinggi pula. (Scott, D.S., 1999) Oleh karena itu, jenis kandungan biopolimer yang sangat berperan pada proses pirolisis

ini adalah kandungan selulosa dan hemiselulosa yang terkandung di dalam biomassa. Selain itu, diketahui pula bahwa kadar zat abu yang tinggi akan menghasilkan *bio-oil* dengan kualitas yang rendah. Biomassa yang sesuai untuk proses konversi jenis ini adalah kayu karet, tandan kosong kelapa sawit, dan bagas.

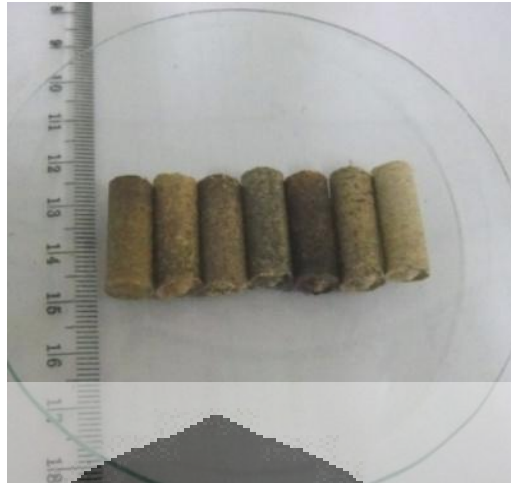
Gasifikasi adalah proses yang mengubah material karbon di dalam biomassa menjadi bentuk karbon monoksida dan hidrogen. Proses gasifikasi menggunakan media gasifikasi seperti udara, oksigen, dan *steam*. Pada proses gasifikasi terdapat proses oksidasi parsial yaitu suatu proses reaksi oksidasi dimana oksigen yang dipakai atau dibutuhkan dalam reaksi tersebut kurang dari kebutuhan teoritisnya atau dengan kata lain kurang dari proses pembakaran sempurna (Henry R. Bungay, 1981).

Pada proses gasifikasi, hal yang paling berperan adalah kandungan karbon dan nilai kalori dari biomassa. Selain itu, kandungan biopolimer yang memiliki peranan yang cukup penting adalah lignin. Lignin memiliki rasio dari C:O dan H:O lebih besar dibandingkan dengan fraksi karbohidrat lainnya di dalam biomassa. Hal tersebut yang membuat lignin lebih potensial untuk proses oksidasi. Biomassa yang sesuai untuk proses konversi jenis ini adalah sekam, kayu kamper, kayu karet, dan serabut kelapa.

#### 4.4 Pelet Biomassa

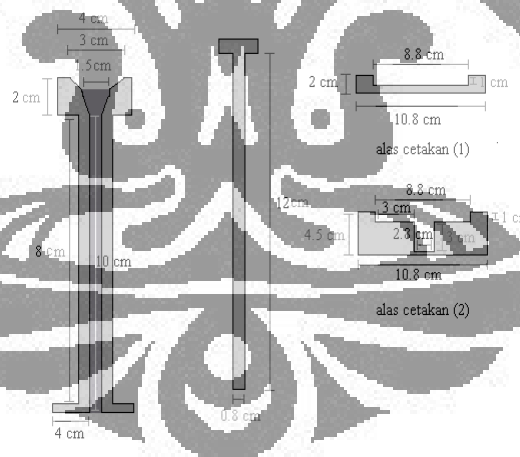
Pelet yang dihasilkan berbentuk silinder dengan diameter 0,8 cm dan panjang 2 cm. Pelet biomassa untuk tiap jenis bahan baku dapat dilihat pada Gambar 4.6 di bawah ini.

Pada proses pembuatan pelet biomassa ini, diberikan beban yang sama yaitu 2 ton dan dipanaskan selama 3 menit dengan suhu 150°C. Penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Dwi Endah Lestari, 2009, menyatakan bahwa sekam tidak bisa dibentuk menjadi pelet tanpa proses pemanasan. Hal ini disebabkan karena sekam mengandung zat silica yang tinggi dan hemiselulosa yang rendah sehingga sulit untuk merekat.



**Gambar 4.6.** Pelet Biomassa kiri-kanan: jerami, sekam, kayu kamper, kayu karet, serabut kelapa, TKKS, bagas

Proses pemanasan yang dilakukan berfungsi untuk melelehkan lignin. Sehingga lignin dapat berfungsi secara optimal sebagai pengikat ketika proses densifikasi. Alat pencetak pelet yang digunakan adalah tipe *single-pellet unit*., dimana dalam sekali pengerjaan hanya dihasilkan 1 pelet. Desain alat pencetak pelet yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7.** Cetakan pelet untuk proses densifikasi

#### 4.4.1 Densitas Bulk

Densitas bulk menunjukkan perbandingan massa biomassa terhadap volume. Tabel 4.6 dibawah ini menunjukkan nilai densitas bulk dari biomassa.

**Tabel 4.6.** Densitas bulk pelet biomassa

Jenis Biomassa	Densitas Bulk Serbuk Biomassa (kg/m <sup>3</sup> )	Densitas Bulk Pelet Biomassa (kg/m <sup>3</sup> )	Densitas Bulk Pelet Biomassa : Densitas Bulk Serbuk Biomassa
Jerami	154,9	604,62	3,90
Sekam	374,8	604,34	1,61
Kayu Kamper	304,4	604,51	1,99
Kayu Karet	290,67	604,40	2,08
Serabut Kelapa	83,33	531,85	6,38
TKKS	205,71	573,60	2,79
Bagas	122,5	554,07	4,52

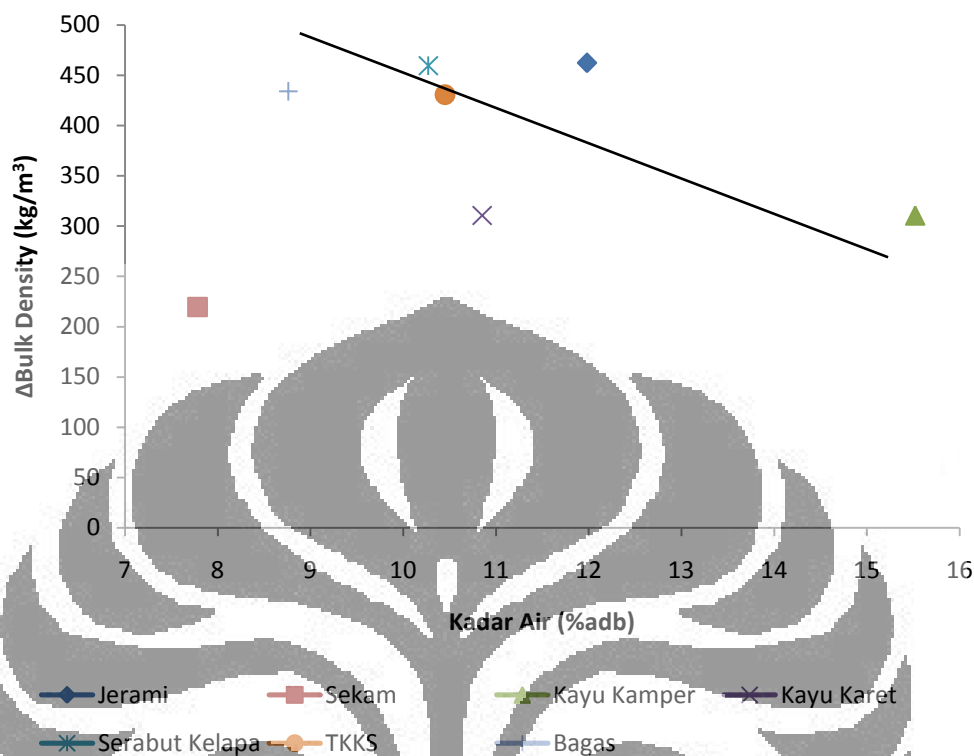
Dari data di atas, terlihat bahwa dengan melakukan proses densifikasi, dapat dihasilkan densitas bulk yang 6 kali lebih besar dibandingkan dengan densitas bulk semula. Hal inilah yang merupakan tujuan dari proses densifikasi, yaitu meningkatkan nilai massa per unit volume. Dengan dilakukannya proses densifikasi, masalah-masalah yang ditimbulkan dari biomassa dengan nilai densitas bulk yang rendah, seperti tingginya biaya pengiriman, tidak efisien dalam penyimpanan, dan tingginya resiko bahan baku untuk tereduksi.

Densitas bulk salah satunya dipengaruhi oleh kadar air. Kadar air yang tepat dalam biomassa menghasilkan pelet yang bersifat *compact* (padat). Kadar air optimal untuk proses densifikasi dan menghasilkan densitas bulk yang tinggi. Kadar air pada biomassa yang terlalu rendah akan menyebabkan biomassa sulit merekat sedangkan kadar air yang terlalu berlebih menyebabkan lignin tidak dapat berfungsi menjadi perekat bila pembuatan pelet dilakukan dengan tekanan dan temperatur yang sama sehingga pelet bersifat mengembang (tidak padat). Hal ini menghasilkan pelet dengan densitas bulk yang lebih kecil pada pelet dengan ukuran yang sama.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang telah terlebih dulu dilakukan oleh M.D. Shaw yang menyatakan bahwa pelet tanpa treatment awal memiliki sifat semakin rendah densitas bulk bila kandungan airnya semakin tinggi. Jumlah kandungan air yang paling optimal untuk dijadikan pelet adalah 8-12 % wb. Pelet biomassa dengan kandungan air yang kecil ( $\leq 4\%$  wb), memiliki kecenderungan untuk menyerap air dari udara sekitar sehingga pelet akan mengembang secara signifikan dan menjadi sangat rapuh selama beberapa hari.

Namun, densitas bulk pelet biomassa tidak hanya dipengaruhi oleh kandungan air saja, tetapi juga dipengaruhi oleh kandungan lignin dari tiap

biomassa. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, lignin berfungsi sebagai zat perekat alami yang akan mengikat selulosa dan hemiselulosa.



Gambar 4.8. Hubungan antara Δdensitas bulk dengan kandungan air

Dari Gambar 4.8 dapat terlihat bahwa peningkatan densitas bulk tertinggi adalah jerami, kemudian diikuti oleh serabut kelapa, bagas, dan tandan kosong kelapa sawit. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan densitas bulk tertinggi berada pada kandungan air yang optimal yaitu 8 – 12%. Namun hal tersebut tidak berlaku kepada kayu karet. Walaupun kandungan air dalam kayu karet bernilai 10,85%, namun kandungan lignin dari kayu karet lebih kecil dibandingkan dengan kayu kamper, tandan kosong kelapa sawit, jerami dan serabut kelapa. Oleh karena itulah mengapa peningkatan densitas bulk dari kayu karet tidak lebih tinggi dibandingkan dengan jerami.

#### 4.5 Potensi Pelet Biomassa di Indonesia

Seperti yang telah ditunjukkan pada Tabel 2.2 mengenai potensi sumber daya limbah biomassa, kita ketahui bahwa Indonesia memiliki potensi yang tinggi dalam mengembangkan energi dari biomassa. Salah satu proses konversi energi

yang dapat dilakukan adalah mengubah bahan baku biomassa menjadi pelet biomassa. Tabel 4.7 di bawah ini menunjukkan jumlah pelet biomassa yang dapat diproduksi tiap tahunnya beserta energi yang dihasilkan.

**Tabel 4.7.** Potensi Pelet Biomassa di Indonesia

<b>Jenis Biomassa</b>	<b>Jumlah Limbah (Juta ton/Tahun)<sup>a</sup></b>	<b>HHV (MJ/kg)</b>	<b>Produksi Pelet Biomassa (Juta ton/Tahun)</b>	<b>Potensi Bio-Energi (Juta GJ/Tahun)</b>	<b>Crude Oil Equivalent (10<sup>6</sup> boe/Tahun)</b>
Jerami	49	13,23	44,1	583,63	99,11
Sekam	13,5	13,49	12,15	163,86	27,83
Kayu Kamper	8,3	16,87	7,47	126,03	21,40
Kayu Karet	2,8	16,85	2,52	42,46	7,21
Serabut Kelapa	6,7	17,48	6,03	105,38	17,90
TKKS	12,9	16,66	7,74	128,93	21,89
Bagas	8,5	17,34	5,1	88,42	15,02
<b>TOTAL</b>			<b>85,11</b>	<b>1238,71</b>	<b>210,36</b>

Sumber: NREL, 2008

Data dari jumlah produksi limbah di Indonesia diperoleh dari *National Renewable Energy Laboratory*, sedangkan data dari nilai kalor pada Tabel 4.7 di atas menggunakan data nilai kalor yang didapatkan di penelitian ini. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya pada bagian tinjauan pustaka, proses peletisasi hanyalah mengkompakkan serbuk biomassa menjadi ukuran silindris dengan nilai densitas bulk yang lebih tinggi. Sehingga setelah melalui perlakuan awal (pengeringan dan reduksi ukuran partikel), massa sebelum dan setelah proses densifikasi tidak mengalami perubahan. Perubahan yang terjadi hanyalah pada nilai densitas bulk dimana pada massa yang sama, volume yang dibutuhkan oleh biomassa menjadi semakin kecil.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa massa awal biomassa dan setelah proses densifikasi tidaklah mengalami perubahan yang signifikan. Massa dari biomassa hanya mengalami penurunan pada saat proses pengeringan, karena terdapat air yang terkandung di dalam biomassa akan teruapkan. Pada penelitian ini, nilai perkiraan produksi pelet untuk jenis sampel jerami, sekam, kayu kamper,



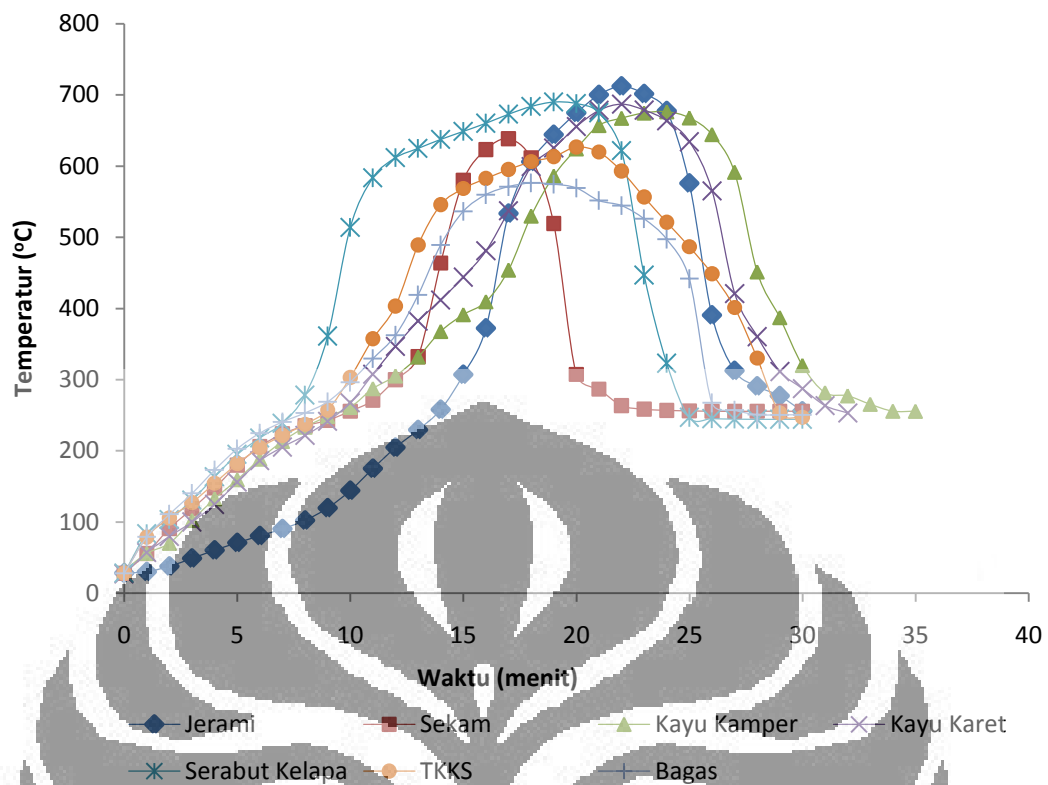
kayu karet, dan serabut kelapa didapatkan dengan cara mengalikan nilai konversi 90% dengan data jumlah limbah yang ada. Nilai kehilangan massa dari proses produksi pelet biomassa diasumsikan sejumlah 10% dari jumlah air yang teruapkan dan faktor loss ketika proses tersebut berlangsung (contoh: serbuk biomassa yang berterbangan). Untuk nilai produksi dari tandan kosong kelapa sawit dan bagas memiliki nilai konversi yang lebih kecil yaitu 60%. Hal ini karena tandan kosong kelapa sawit dan bagas memiliki nilai kadar air awal yang cukup tinggi yaitu hampir sekitar 50%. Oleh karena itulah, diasumsikan jumlah massa yang hilang untuk produksi pelet dari tandan kosong kelapa sawit dan bagas sejumlah 40%. Untuk melihat perhitungan lebih detail, dapat dilihat pada Lampiran 9.

Dari Tabel 4.7, dapat dilihat bahwa total energi yang dapat dihasilkan dari pembakaran langsung pelet biomassa adalah 1238,71 juta GJ/tahun setara dengan 210,36 juta boe/tahun atau 576 Mboe/hari. Total potensi minyak bumi di Indonesia adalah sebesar 8.219,22 MMSTB dengan produksi 850 MBOPD pada tahun 2008 (Kementrian ESDM, 2008). Nilai tersebut membuktikan bahwa energi biomassa memiliki potensi yang cukup tinggi di Indonesia untuk menjadi opsi pengganti bahan bakar fosil. Dengan mengoptimalkan potensi biomassa di Indonesia, kita dapat menutupi hingga 3/5 dari produksi minyak di Indonesia. Biomassa yang memiliki nilai potensi paling tinggi adalah jerami dengan total energi yang dihasilkan senilai 583,63 juta GJ/tahun, kemudian diikuti dengan sekam padi dengan nilai 163,86 juta GJ/tahun dan tandan kosong kelapa sawit dengan nilai 128,93 juta GJ/tahun.

## **4.6 Performa Pembakaran Pelet Biomassa**

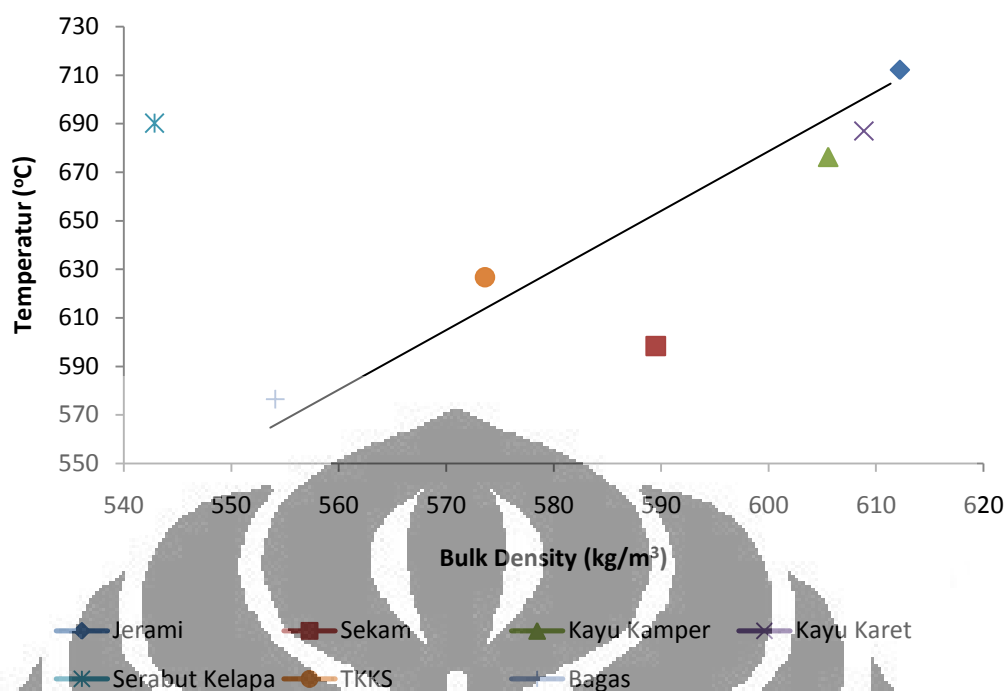
### **4.6.1 Profil Temperatur Pembakaran**

Pengujian temperatur pembakaran dilakukan dengan cara meletakkan pelet di dalam furnace dan men-setting temperatur furnace pada 250°C. Selama pelet berada di dalam furnace pelet akan ter-ignisi dan terbakar. Kemudian kita dapat membaca temperatur pelet dengan menggunakan termokopel.



**Gambar 4.9.** Perbandingan temperatur pembakaran terhadap jenis pelet biomassa

Pada Gambar 4.9, dapat kita lihat karakteristik pembakaran pelet biomassa pada tiap bahan baku yang berbeda. Karakteristik pembakaran dari berbagai tipe biomassa bervariasi tergantung pada komposisi kimia, sifat fisis, dan karakteristik abu dari bahan bakar tersebut. Pembakaran pelet biomassa terbagi dalam empat tahap. Tahap pertama adalah saat permukaan pelet melepaskan uap air dan gas-gas ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  dan  $\text{H}_2$ ), beberapa diantaranya gas yang mudah terbakar. Tahap pembakaran ini terjadi hingga temperatur 100 °C. Pada tahap kedua, yaitu pada rentang temperatur 100 °C hingga 400 °C, bahan mudah menguap pada pelet (*volatile matter*) mulai terbakar dan terjadi reaksi yang menghasilkan panas. Pada tahap ini belum terjadi api hingga temperatur naik. Pada tahap ketiga saat temperatur naik dari 400°C hingga 500 °C, gas-gas yang telah terlepas bereaksi kembali, terignisi sehingga membentuk api. Zat yang tersisa setelah semua gas habis bereaksi adalah karbon atau arang. Carbon atau arang inilah yang kemudian terbakar pada temperatur diatas 500 °C yaitu pada tahap keempat.

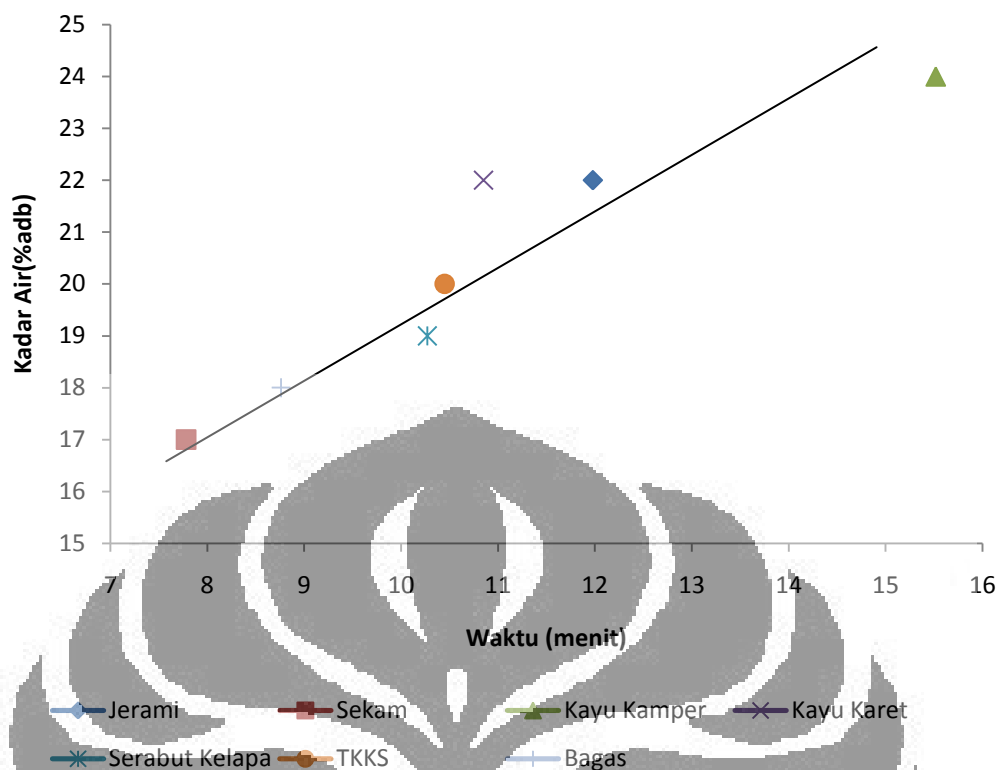


**Gambar 4.10.** Hubungan antara densitas bulk dengan temperatur puncak pembakaran

Menurut penelitian terdahulu, temperatur furnace dapat mempengaruhi temperatur pembakaran pelet yang dihasilkan. Jadi untuk dapat membandingkan temperatur pembakaran yang dihasilkan, pastikan bahwa temperatur furnace tepat sama pada masing-masing pengujian.

Pada Gambar 4.10 dapat kita lihat bahwa temperatur tertinggi dimiliki oleh jerami (712,2 °C), kemudian diikuti oleh serabut kelapa (690,2 °C), kayu karet (687 °C), kayu kamper (676,3 °C), sekam (638,4 °C), TKKS (626,7 °C), dan bagas (576,5 °C). Temperatur puncak pembakaran merupakan temperatur yang dicapai pada saat stoikiometri. Pada percobaan, pelet yang menghasilkan temperatur puncak pembakaran tertinggi adalah pelet jerami dengan densitas bulk yang paling tinggi.

Gambar 4.11 di bawah ini, menunjukkan hubungan antara densitas bulk dengan temperatur puncak pembakaran. Pada gambar tersebut, diketahui bahwa semakin tinggi densitas bulk dari suatu pelet biomassa, maka akan semakin tinggi pula temperatur puncak pembakaran yang terjadi. Hal ini dikarenakan densitas bulk mempengaruhi efisiensi pembakaran yang terjadi.



**Gambar 4.11.** Hubungan antara kadar air dengan waktu terjadinya temperatur puncak pembakaran

Gambar 4.11 di atas menunjukkan hubungan antara kadar air yang terkandung di dalam biomassa dengan waktu terjadinya temperatur puncak pembakaran. Dari gambar tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar kadar air yang terkandung, maka akan semakin lama pula waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur puncak pembakaran. Hal ini dikarenakan pada pembakaran biomassa, tahap pertama merupakan tahap dimana pelet akan menguapkan air dan gas-gas ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  dan  $\text{H}_2$ ). Maka, semakin banyak air yang terkandung di dalam pelet biomassa, semakin lama pula waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan air tersebut.

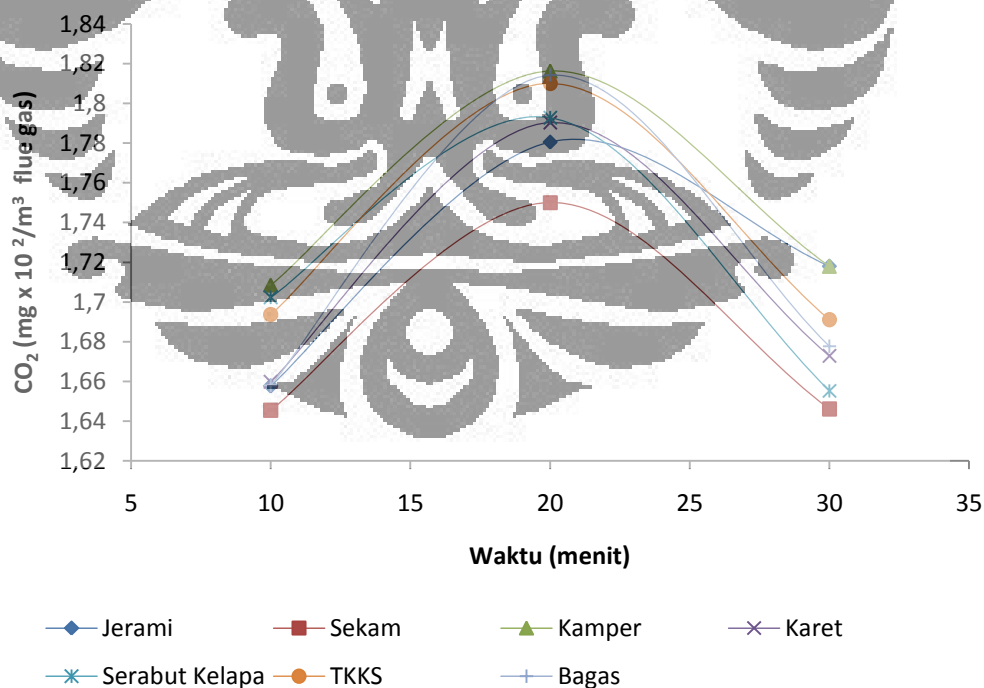
#### 4.6.2 Profil Emisi Pembakaran

Emisi yang diuji adalah emisi  $\text{CO}$  dan  $\text{CO}_2$ . Hal ini dikarenakan kedua gas tersebutlah yang memiliki konsentrasi paling dominan dalam pembakaran biomassa.

### A. Profil Emisi CO<sub>2</sub>

Penentuan kandungan emisi CO<sub>2</sub> yang terdapat pada emisi pembakaran pelet biomassa dilakukan dengan menggunakan *Gas Chromatography* TCD untuk mengetahui profil emisi CO<sub>2</sub> yang terbentuk. Pengujian hanya dapat dilakukan dalam selang waktu 10 menit karena waktu yang dibutuhkan untuk sekali penyuntikan sampel hingga hasil tercetak adalah 7 – 10 menit.

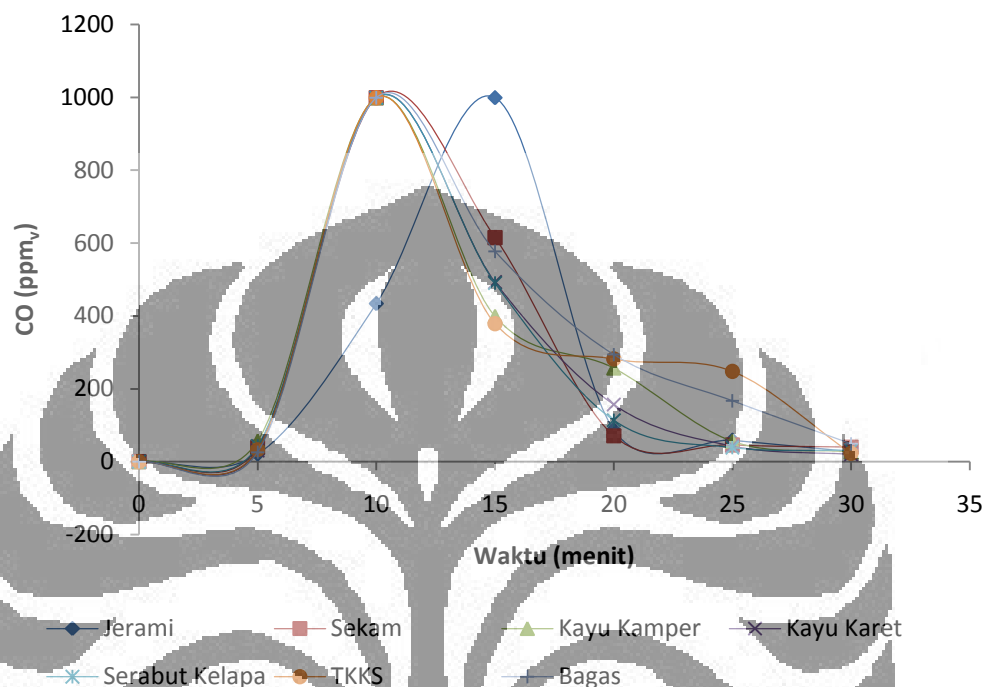
Dari Gambar 4.12 terlihat bahwa untuk semua pelet biomassa emisi CO<sub>2</sub> pada menit ke-10 bernilai rendah, kemudian meningkat pada menit ke-20, lalu mengalami penurunan lagi di menit ke-30. Konsentrasi CO<sub>2</sub> yang rendah pada awal pembakaran dikarenakan temperatur pembakaran masih berada pada nilai yang rendah pula. Konsentrasi emisi CO<sub>2</sub> yang tertinggi berada pada menit ke-20. Dari data temperatur pembakaran pada sub bab 4.4.1, kita ketahui bahwa waktu rata-rata terjadinya temperatur puncak pembakaran adalah pada menit ke 20 dan temperatur puncak pembakaran terjadi ketika reaksi pembakaran berada pada titik stoikiometri. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa emisi CO<sub>2</sub> yang tertinggi dihasilkan pada saat stoikiometri, yaitu pada menit ke-20.



**Gambar 4.12** Profil emisi CO<sub>2</sub> terhadap fungsi waktu

## B. Profil Emisi CO

Pengujian emisi CO dilakukan dengan menggunakan *CO-portable detector*. Hasil profil emisi yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 4.13 di bawah ini.



Gambar 4.13. Profil emisi CO terhadap fungsi waktu

Dari gambar di atas, dapat kita lihat bahwa emisi CO tertinggi berada pada menit ke-10 dan 15. Pada menit tersebut, reaksi pembakaran yang terjadi adalah pelet melepaskan uap air dan gas-gas ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  dan  $\text{H}_2$ ) dan bahan mudah menguap pada pelet (*volatile matter*) mulai terbakar dan terjadi reaksi yang menghasilkan panas. Pada tahap tersebut pembakaran belum terjadi secara sempurna atau dapat dikatakan bahwa reaksi belum berada pada keadaan stoikiometri, salah satunya dikarenakan temperatur pembakaran belum berada pada nilai optimal. Ketika pembakaran dilaksanakan pada temperatur yang rendah, maka CO yang dihasilkan akan bernilai tinggi. Pada saat tersebut CO yang dihasilkan tinggi maka  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan akan bernilai rendah. Pada menit ke-20 dan 25, konsentrasi CO mulai menurun. Hal ini disebabkan karena pada saat tersebut reaksi pembakaran sudah terjadi secara sempurna atau sudah pada keadaan stoikiometri, sehingga konsentrasi CO akan menurun dan

konsentrasi CO<sub>2</sub> akan meningkat. Pada menit ke-25 dan 30, pelet sudah habis terbakar dan menghasilkan abu, sehingga CO yang dihasilkan berkurang dan pada akhirnya kembali ke nol.

#### 4.6.3 Pembakaran pada Furnace Vs Aplikasi pada Kompor Biomassa

Pada penelitian ini, pembakaran biomassa diuji pada furnace dengan mengatur temperatur pada suhu 250°C. Biomassa akan mengalami auto-ignisi dan terbakar hingga menjadi abu. Hal ini berbeda pada aplikasi pembakaran biomassa dengan menggunakan kompor biomassa. Pembakaran biomassa yang terjadi pada kompor tidak bersifat autoignisi, namun menggunakan *trigger* hingga nyala api terbentuk. Oleh karena itu, waktu tercapainya temperatur puncak pembakaran akan terjadi lebih cepat apabila menggunakan kompor biomassa dibandingkan dengan pembakaran biomassa di dalam *furnace*.

Selain itu, perbedaan lainnya antara pembakaran biomassa pada *furnace* dan kompor terletak pada suplai udara. Ketika pembakaran dengan *furnace*, sumber udara yang ada hanyalah udara primer yang terdapat di dalam *furnace*. Ketika proses oksidasi mulai terjadi, kadar oksigen yang terdapat pada *furnace* perlahan akan berkurang seiring dengan waktu. Oleh karena itu, pembakaran akan berada pada kondisi miskin oksigen dan menyebabkan pembakaran tidak terjadi secara sempurna. Pada aplikasi kompor biomassa, suplai udara tidak hanya udara primer namun juga terdapat pula udara sekunder. Untuk mempertahankan kondisi kaya oksigen, biasanya pada kompor biomassa dipasang kipas dengan kecepatan tetap selama proses pembakaran.

Dengan demikian, bisa dipastikan bahwa kondisi pembakaran pada kompor biomassa jauh lebih kaya oksigen apabila dibandingkan dengan pada pembakaran *furnace*. Karena kondisi yang kaya akan oksigen inilah, dapat dikatakan pula bahwa pembakaran yang terjadi pada kompor biomassa lebih sempurna dibandingkan dengan pembakaran pada *furnace*. Oleh karena itu, data temperatur pembakaran yang diperoleh pada uji pembakaran dengan menggunakan *furnace* di penelitian ini, akan memiliki nilai yang berbeda apabila pembakaran dilakukan dengan menggunakan kompor biomassa. Dapat di prediksi bahwa data temperatur pembakaran yang diperoleh akan menunjukkan nilai yang lebih tinggi apabila menggunakan kompor biomassa. Selain temperatur pembakaran, nilai

emisi yang dihasilkan juga akan memiliki perbedaan. Konsentrasi CO<sub>2</sub> akan meningkat dan konsentrasi CO akan menurun. Hal ini dikarenakan proses pembakaran terjadi pada keadaan kaya oksigen sehingga akan terjadi pembakaran yang sempurna.

**Tabel 4.8.** Perbandingan pembakaran pelet kayu kamper pada furnace dan kompor biomasa

	<b>T<sub>puncak Pembakaran</sub></b> (°C)	<b>Waktu Tercapainya</b> <b>T<sub>puncak Pembakaran</sub> (menit)</b>
Furnace	676,3	24
Kompor Biomasa <sup>a</sup>	789	13

Sumber: <sup>a</sup>Nita Handayani, 2010

Dari Tabel 4.8 di atas, dapat kita lihat dengan jelas perbedaan pembakaran biomasa yang dilakukan di *furnace* dan kompor biomassa. Ketika menggunakan *furnace*, temperatur puncak pembakaran yang terbentuk adalah 676,3, sedangkan pada kompor biomassa nilainya meningkat hingga mencapai 789°C. Kemudian pada kompor biomassa, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur puncak pembakaran lebih singkat, yaitu sekitar 13 menit sedangkan pada *furnace* waktu yang dibutuhkan lebih lama, yaitu sekitar 24 menit. Hal ini membuktikan bahwa proses pembakaran pada kompor biomassa terjadi lebih sempurna dibandingkan proses pembakaran pada *furnace*.



## BAB 5

### KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Potensi proses konversi yang dapat dilakukan oleh tiap biomassa adalah sebagai berikut;

Jerami : fermentasi, pembakaran langsung

Sekam : pembakaran langsung, gasifikasi

Kayu kamper : pembakaran langsung, gasifikasi

Kayu karet : pembakaran langsung, fermentasi, pirolisis, gasifikasi

Serabut kelapa : pembakaran langsung, gasifikasi

TKKS : pirolisis, fermentasi

Bagas : pirolisis, fermentasi

2. Total potensi bio-energi yang dapat dihasilkan di Indonesia dari pembakaran langsung pelet biomassa adalah 1238,71 juta GJ/tahun setara dengan 210,36 juta boe/tahun..
3. Nilai kalor paling tinggi dimiliki oleh serabut kelapa dengan nilai 4161 cal/g
4. Temperatur puncak pembakaran yang paling tinggi ada pada pembakaran pelet jerami dengan nilai 712,2 °C, salah satunya dikarenakan pelet jerami memiliki densitas bulk tertinggi, yaitu 612,21 kg/m<sup>3</sup> sehingga energi yang terdapat pada pelet jerami lebih tinggi dibandingkan pelet lainnya dengan volume yang sama.
5. Semakin kecil kadar air maka waktu ignisi biomassa akan semakin cepat pula. Hal ini dikarenakan semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk proses penguapan air dan zat volatil sehingga tercapai waktu ignisi yang lebih cepat.
6. Semakin besar kadar air maka panas yang dihasilkan oleh reaksi pembakaran banyak terserap oleh pengeringan air dalam pelet sehingga temperatur pembakaran dan nilai kalor turun.
7. Pada menit ke 10 dan 15, konsentrasi emisi CO berada pada nilai tertinggi dan konsentrasi CO<sub>2</sub> berada pada nilai yang rendah karena pada saat tersebut temperatur pembakaran belum berada pada nilai optimum sehingga reaksi pembakaran belum terjadi sempurna.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Kamaruddin. *Biomass Energy Potentials And Utilization In Indonesia*. Laboratory of Energy and Agricultural Electrification, Department of Agricultural Engineering, IPB. Bogor. 2006.
- Alhasan, A.M., dkk. *Combined effect of nitric acid and sodium hydroxide pretreatments on enzymatic saccharification of rubber wood (Heavea brasiliensis)*. Int. J. Chem. Technol. 2010, 2: 12-20.
- Barnes DF, Openshaw K, Smith KR, et al. *What Makes People Cook with Biomass cookstove?-A Comparative International Review of Cookstove Programs*. Washington DC, The World Bank, 1994.
- Bhattacharya SC, Albina DO, Khaing AM. *Effects of Selected Parameters on Performance and Emission of Biomass-Fired Cookstoves*. Biomass and Bioenergy. Thailand. 2002, 23: 387-395.
- Bhattacharya SC, Albina DO, Salam PA. *Emission Factors of Wood and Charcoal-Fired Cookstoves*. Biomass and Bioenergy. Thailand. 2002, 23: 453-469.
- Dawson, L. 2005. *Optimization of Pretreatment Conditions for High Efficiency Ethanol Production from Post-harvest Sugarcane Residue*. M.S. Thesis submitted to Nicholls State University, Thibodaux, LA.
- Endah L., Dwi. 2009. *Perancangan Bahan Bakar Biomassa dengan Heating Value Tinggi dan Emisi Rendah untuk Masyarakat Urban*. DTK FTUI.
- European Biomass Industry Association. [www.eubia.org](http://www.eubia.org). 1 Maret 2009. 12:05 WIB.
- Handayani, Nita. 2010. *Perancangan Kompor Biomassa untuk Masyarakat Urban dengan Prinsip Heat Recovery dan Integrasi Sistem Knock-Down pada Cerobong*. DTK FTUI.
- He, Yanfeng. *Physicochemical Characterization of Rice Straw Pretreated with Sodium Hydroxide in the Solid-State for Enhancing Biogas Production*. Energy & Fuels. 2008
- Holman JP. *Heat Transfer*. Singapore: McGraw Hill Book Company, 1981.
- Incropera FP, DeWitts DP. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. New York: John Wiley & Sons, 1981.
- Isroi. "Karakteristik Lignoselulosa Sebagai Bahan Baku Etanol". <http://www.isroi.wordpress.com>. 20 Maret 2009. 19:00 WIB.

- Jorapur, Rajeev dan Anil K. Rajvanshi. *Sugarcane Leaf-Bagasse Gasifiers for Industrial Heating Applications*. Biomass and Bioenergy. 1997, 13(3): 141-146.
- Kirk and Othmer. *Encyclopedia of Chemical Technology, "Fuels from Biomass"*. Third Edition. USA: John Wiley & Sons Inc. 1990, 12: 16-103.
- Kirk and Othmer. *Encyclopedia of Chemical Technology, "Fuels from Waste"*. Third Edition. USA: John Wiley & Sons In. 1990, 12:110-124.
- Kirk and Othmer. *Encyclopedia of Chemical Technology, "Wood"*. Third Edition. USA: John Wiley & Sons Inc. 1990, 25: 627-659.
- Laohalidanond, Krongkaew. *The Production of Synthetic Diesel from Biomass*. KMITL Sci. Tech. J. Vol. 6 No. 1 Jan. - Jun. 2006.
- Li, Jianfen dkk. *Influence of Temperature on the Formation of Oil from Pyrolyzing Palm Oil Wastes in a Fixed Bed Reactor*. Energy & Fuels. 2007, 21: 2398-2407.
- Mani, Sudhagar, dkk. *Effects of Compressive Force, Particle Size and Moisture Content on Mechanical Properties of Biomass Pellets from Grasses*. Biomass & Bioenergy. 30. 2006. pp 648-654.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). "Survey of Biomass Resource Assessments and Assessment Capabilities in APEC Economies". Colorado. 2008.
- Niedziolka, Inacy. et. al. *Characteristics of Pellet Produced From Selected Plant Mixes*. Ol Pan, 8: 157 – 162. 2008.
- Nurhayati, Tjutju, dkk. *Progress in the Technology of Energy Conversion from Woody Biomass in Indonesia*. For. Stud. China. 8(3). 2006. pp 1-8.
- P.D. Grover & S.K. Mishra. *Biomass Briquetting: Technology and Practices*. FAO Regional Wood Energy Development Programme in Asia, Bangkok, Thailand. April 1996.
- Pambudi, Agung Nugroho. "Energi Berkelanjutan Itu Bernama Biomassa". <http://www.netsains.com>. 10 Februari 2009. 20:00 WIB.
- Parikh, Jigisha, S.A. Channiwala, dan G.K. Ghosal. *A Correlation for Calculating HHV from Proximate Analysis of Solid Fuels*. Fuel. 2005, 84: 487-494.
- Quaak, Peter. 1999. *Energy From Biomass: a Review of Combustion and Gasification*. USA.
- Ranzi, Eliseo, dkk. *Chemical Kinetics of Biomass Pyrolysis*. Energy & Fuels. 2008, 22: 4292-4300.

- Shaw M.D., dkk. *Physicochemical Characteristics of Densified Untreated and Steam Exploded Poplar Wood and Wheat Straw Grinds*. Biosystems Engineering. 2009. pp 1-10.
- Smith, Kirk R. *Biomass Combustion and Indoor Air Pollution*. in: *Environmental Management*. No. 10. 1987.
- Snell, R., Mott. L., Suleman, A. Sule, A. & Mayhead, G. 2005. *Potassium-based pulping regimes for oil palm empty fruit bunch material*. BC Paper, The BioComposites Centre, University of Wales, Bangor, Gwynedd, UK.
- Teng, Hsisheng dan Yun-Chou Wei. *Thermogravimetric Studies on the Kinetics of Rice Hull Pyrolysis and the Influence of Water Treatment*. Ind. Eng. Chem. Res. 1998, 37: 3806-3811.
- United Nations Energy. "The Energy Challenge for Achieving the Millennium Development Goals". UN-Energy, 2005.
- United Nations Environment Programme. *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia*. 2006.
- Uzun, Basak Bureu, dkk. *Rapid Pyrolysis of Olive Residue. 1. Effect of Heat and Mass Transfer Limitations on Product Yields and Bio-oil Compositions*. Energy & Fuels. 2007, 21: 1768-1776.
- Zhang, Suping, dkk. *Process Modeling and Integration of Fuel Ethanol Production from Lignocellulosic Biomass Based on Double Acid Hydrolysis*. Energy & Fuels. 2009.
- ZREU (Zentrum fur Rationell Energieanwendung and Umwelt GmbH), 2000. *Biomass in Indonesia-Business*.

## LAMPIRAN 1

### PERHITUNGAN DENSITAS DAN MASSA

Volume Bejana: 100 mL

Volume Pelet:  $22/7 \times (0,4:100)^2 \times 0,02 = 1,0057 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

Perhitungan Densitas Pelet:  $\frac{\text{Massa Pelet}}{\text{Volume Pelet}}$

Perhitungan Densitas Bulk Pelet:  $\frac{\text{Massa Pelet di dalam Bejana}}{\text{Volume Bejana}}$

Perhitungan Densitas Bulk Serbuk Biomassa:  $\frac{\text{Massa serbuk di dalam Bejana}}{\text{Volume Bejana}}$

#### 1. Densitas Bulk Serbuk Biomassa

Jenis Biomassa	Densitas Bulk (kg/m <sup>3</sup> )
Jerami	154,90
Sekam	374,80
Kayu Kamper	304,40
Kayu Karet	290,67
Serabut Kelapa	83,33
TKKS	205,71
Bagas	122,50


#### 2. Massa dan Densitas Bulk Pelet Biomassa

Jenis Pelet	Massa Pelet (g)	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	Densitas Bulk (kg/m <sup>3</sup> )
Jerami	1,11	1106,78	612,21
Sekam	1,07	1065,71	589,49
Kayu Kamper	1,10	1094,74	605,55
Kayu Karet	1,11	1100,71	608,85
Serabut Kelapa	0,99	981,39	542,85
TKKS	1,04	1036,97	573,60
Bagas	1,01	1001,68	554,07

## LAMPIRAN 2

### HASIL ANALISA PROKSIMAT DAN ULTIMAT

F 40015A



## Laboratorium Pengujian tekMIRA

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MINERAL DAN BATUBARA  
Jl. Jenderal Sudirman 623 Bandung – 40211  
Telepon : (022) 6030483 Faksimile : (022) 6003373 e-mail : lab\_uji@tekMIRA.esdm.go.id

---

### SERTIFIKAT ANALISIS (CERTIFICATE OF ANALYSIS)

Terakreditasi No. LP-051-IDN tgl. 19 Juni 2009

Nomor / Number : 643/LBB/V/2010

Tanggal / Date : 18 Mei 2010

Dibuat untuk /  
Certified for : Hanani Fisafarani  
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik UI  
Kampus Baru UI, Depok 16424

Jenis contoh /  
Type of Sample : Tebu, Kelapa Sawit, Kelapa

Sifat / Kondisi Barang yang diuji /  
Description of sample : UI

Asal contoh  
Origin of sample : UI

Jumlah contoh /  
Amount of sample : 3 (Tiga)

Nomor Laboratorium /  
Laboratory Number : 2108 – 2110 / 2010

Contoh diterima tanggal /  
Sample received on : 5 Mei 2010


Waktu pelaksanaan pengujian /  
Date of testing : 5 Mei 2010

#### HASIL ANALISIS / ANALYSIS RESULTS :

ANALYSIS PARAMETER	SAMPLE MARKS			UNIT	BASIS
	No.Lab. 2108/10 Sampel 1 Tebu	No.Lab. 2109/10 Sampel 2 Kelapa Sawit	No.Lab. 2110/10 Sampel 3 Kelapa		
<b>PROKSIMATE :</b>					
MOISTURE IN AIR DRIED SAMPLE	8.76	10.45	10.27	%	adb
ASH	1.34	3.43	3.27	%	adb
VOLATILE MATTER	75.94	68.37	62.64	%	adb
FIXED CARBON	13.96	17.45	23.82	%	adb
<b>ULTIMATE :</b>					
CARBON	46.10	44.06	46.87	%	adb
HYDROGEN	6.10	6.06	5.77	%	adb
NITROGEN	0.11	0.29	0.04	%	adb
TOTAL SULPHUR	0.17	0.11	0.08	%	adb
OXYGEN	46.18	46.05	43.97	%	adb

Manajer Teknis  
Lab. Batubara

N. Teti Sumiati, S.Si.  
NIP. 19690711 199303 2 002




**Catatan :** 1. Hasil pengujian/analisis ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji  
Notes These analysis result are only valid for the tested samples

2. Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak (digandakan) tanpa izin dari Manajer Teknis  
This Certificate shall not be reproduced (copied) without written permission of the Technical manager

### LAMPIRAN 3

## HASIL ANALISIS NILAI KALORI

F 40015A



### Laboratorium Pengujian tekMIRA

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MINERAL DAN BATUBARA  
Jl. Jenderal Sudirman 623 Bandung – 40211  
Telepon : (022) 6030483 Faksimile : (022) 6003373 e-mail : lab\_uji@tekMIRA.esdm.go.id

---

**SERTIFIKAT ANALISIS  
(CERTIFICATE OF ANALYSIS)**  
Terakreditasi No. LP-051-IDN tgl. 19 Juni 2009

Nomor / Number : 643.A/LBB/N/2010      Tanggal / Date : 25 Mei 2010

Dibuat untuk /  
Certified for : Hanani Fisafarani  
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik UI  
Kampus Baru UI, Depok 16424

Jenis contoh /  
Type of Sample : Tebu, Kelapa Sawit, Kelapa

Sifat / Kondisi Barang yang diuji /  
Description of sample : -

Asal contoh : UI

Origin of sample : UI

Jumlah contoh /  
Amount of sample : 3 (Tiga)


Nomor Laboratorium /  
Laboratory Number : Analisis susulan dari No. Lab. 2108 – 2110 / 2010

Contoh diterima tanggal /  
Sample received on : 5 Mei 2010

Waktu pelaksanaan pengujian /  
Date of testing : 23 Mei 2010

**HASIL ANALISIS / ANALYSIS RESULTS :**

ANALYSIS PARAMETER	SAMPLE MARKS			UNIT	BASIS
	No.Lab. 2108/10 Sampel 1 Tebu	No.Lab. 2109/10 Sampel 2 Kelapa Sawit	No.Lab. 2110/10 Sampel 3 Kelapa		
CALORIFIC VALUE	4128	3966	4161	cal/g	adb



Manajer Teknis  
Lab. Batubara,  
N. Teti Sumiati, S. Si.  
NIP. 19690711 199303 2 002

1 dari 1

**Catatan :** 1. Hasil pengujian/analisis ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji  
Notes These analysis result are only valid for the tested samples

2. Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak (digandakan) tanpa izin dari Manajer Teknis  
This Certificate shall not be reproduced (copied) without written permission of the Technical manager

**LAMPIRAN 4**  
**HASIL ANALISIS KANDUNGAN BIOPOLIMER**

<b>Jenis Biomassa</b>	<b>Lignin (%Dry Base)</b>	<b>Cellulose (%Dry Base)</b>	<b>Hemi-Cellulose (%Dry Base)</b>	<b>Kadar Ekstraktif</b>	<b>Kadar Holoselulosa</b>
Jerami	12,87	40,54	20,80	3,811	61,3395
Sekam	26,11	35,31	22,60	2,199	57,9100
Kayu Kamper	26,01	35,97	20,57	1,923	56,5429
Kayu Karet	22,68	47,89	26,88	1,694	74,7786
Serabut Kelapa	35,57	26,93	25,49	1,735	52,4233
TKKS	18,27	45,38	23,97	1,932	69,3506
Bagas	21,98	39,29	27,63	3,391	66,9199



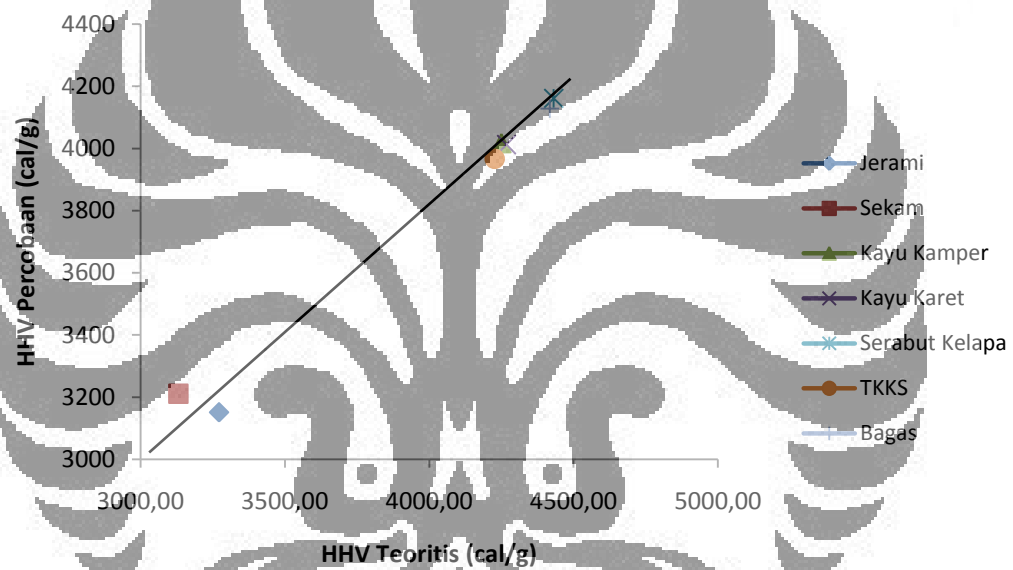


## LAMPIRAN 5

### PERHITUNGAN NILAI KALORI TEORITIS

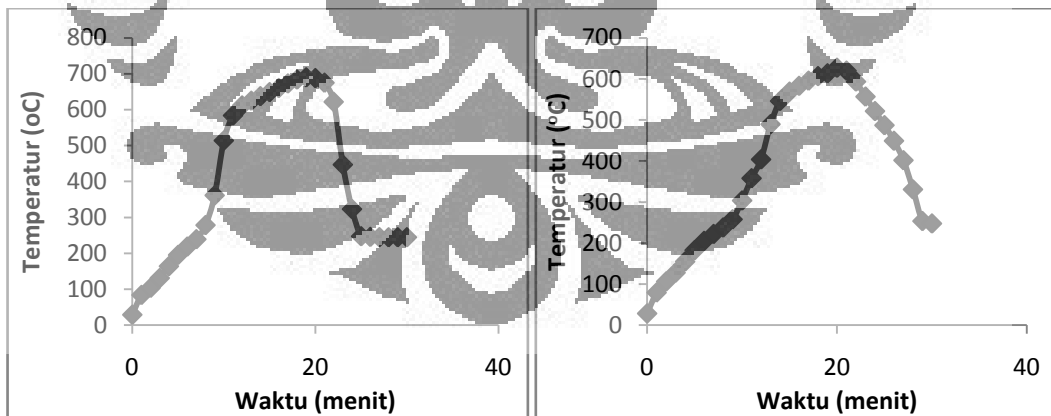
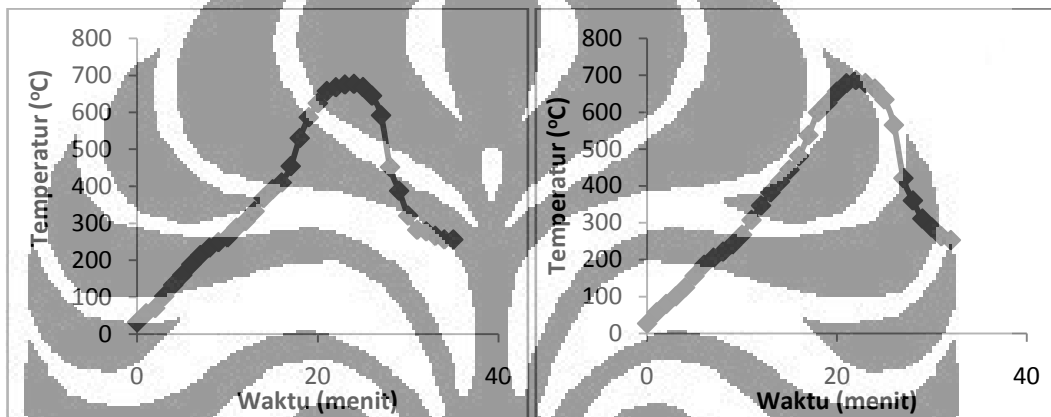
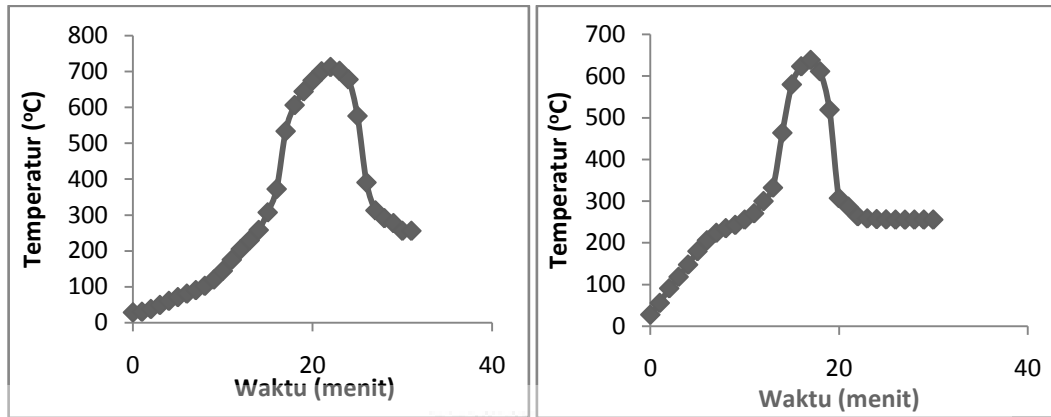
$$\text{HHV (kJ/g)} = 0.3491C + 1.1783 H - 0.1034 O - 0.0211 A + 0.1005 S - 0.0151 N$$

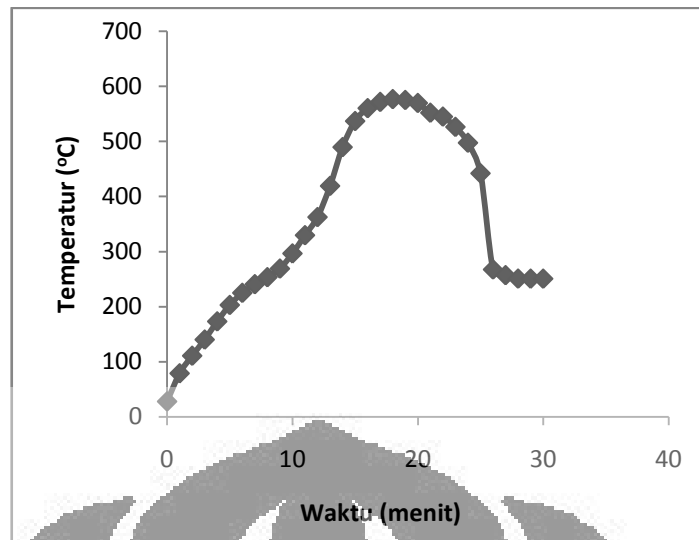
Biomassa	HHV (kJ/g)	HHV (cal/g)
Jerami	13,70	3271,49
Sekam	13,11	3130,80
Kayu Kamper	17,79	4249,74
Kayu Karet	17,87	4267,44
Serabut Kelapa	18,55	4431,32
TKKS	17,69	4226,28
Bagas	18,49	4417,05



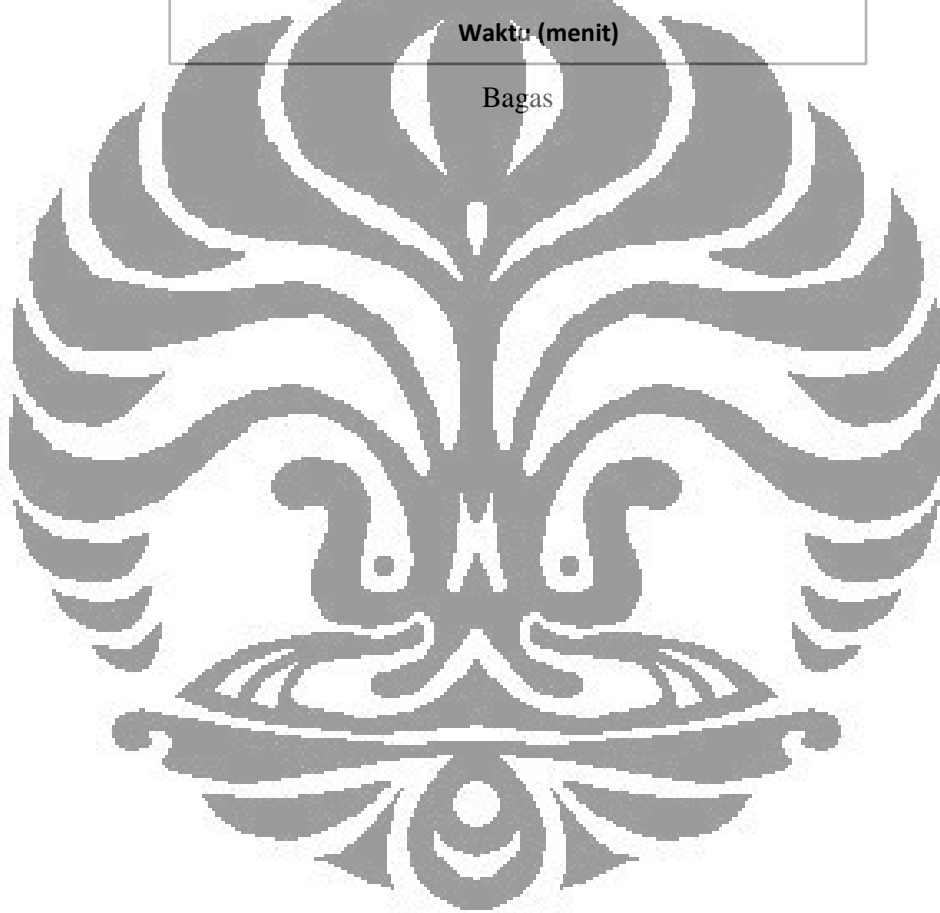
**LAMPIRAN 6**  
**DATA TEMPERATUR PEMBAKARAN PELET BIOMASSA**

Jerami		Sekam		Kayu Kamper		Kayu Karet		Serabut Kelapa		TKKS		Bagas	
t (menit)	T (C)	t (menit)	T (C)	t (menit)	T (C)	t (menit)	T (C)	t (menit)	T (C)	t (menit)	T (C)	t (menit)	T (C)
0	28,4	0	28	0	32	0	27	0	28,5	0	28	0	28
1	30,1	1	56	1	56	1	57,2	1	83,6	1	79	1	79
2	37,8	2	91,1	2	70,2	2	79,7	2	103,4	2	105,8	2	110,9
3	49	3	118,6	3	102,3	3	100	3	130,8	3	127,5	3	140,2
4	60,4	4	147,8	4	132,7	4	124,7	4	163,8	4	154,5	4	173,2
5	70,9	5	180	5	159,5	5	155,9	5	195,1	5	182,1	5	203
6	80,6	6	206,1	6	188,4	6	186	6	218,3	6	204,7	6	225
7	90,4	7	224	7	213,3	7	205,3	7	239	7	221,6	7	240,7
8	102,3	8	235,2	8	233,3	8	221,6	8	278,3	8	237,3	8	253,4
9	119,7	9	243	9	248,4	9	241,4	9	361,3	9	257,4	9	269
10	144,2	10	255,7	10	261,1	10	267,6	10	514,1	10	303,2	10	296,5
11	175,1	11	270,9	11	287,4	11	307,6	11	583,8	11	357,4	11	329,6
12	204,7	12	300,1	12	305,2	12	346,8	12	611,9	12	403,4	12	362,5
13	229,5	13	332,4	13	331,9	13	382,4	13	625,1	13	489,2	13	419
14	258	14	463,8	14	367,7	14	412	14	637,7	14	545,8	14	489,4
15	307,1	15	579,8	15	391,3	15	444	15	649	15	568,5	15	536,7
16	372,3	16	623,2	16	409,5	16	481	16	660,4	16	582,6	16	560,1
17	533,5	17	638,4	17	453,9	17	537,3	17	673,1	17	595,2	17	571,4
18	606,1	18	611,3	18	529,8	18	599,3	18	684	18	606,2	18	576,5
19	644,2	19	519,1	19	586	19	625,6	19	690,2	19	613,2	19	574,9
20	674,8	20	307,3	20	624,2	20	655,6	20	688,1	20	626,7	20	569,5
21	700,2	21	286,7	21	657	21	678,4	21	675,2	21	619,6	21	551,8
22	712,2	22	263,7	22	667,2	22	687	22	622	22	593	22	544,7
23	701,5	23	258,5	23	674,5	23	678,7	23	446,9	23	556,4	23	526,1
24	677,6	24	256,9	24	676,3	24	663,6	24	323,1	24	521,1	24	497,3
25	575,9	25	256,2	25	667,7	25	634,3	25	247,2	25	486,7	25	441,9
26	390,6	26	255,7	26	644,3	26	565,1	26	245,4	26	448,7	26	267,4
27	312,6	27	255,5	27	591,4	27	421	27	244,7	27	401,3	27	257,1
28	290,8	28	255,7	28	451,4	28	360,4	28	244,4	28	330,3	28	250,8
29	277,2	29	255,7	29	387,2	29	311,4	29	244,4	29	253,1	29	250,7
30	255,7	30	255,7	30	320	30	287,3	30	244,4	30	247,2	30	250,7
31	255,7	31		31	281,7	31	263,4			31			
32		32		32	277,3	32	253,1			32			
33		33		33	265,4	33				33			
34		34		34	255,7	34				34			
35		35		35	255,6	35				35			





Bagas



**LAMPIRAN 7**  
**DATA KALIBRASI CO DAN CO<sub>2</sub>**

1. Laju Alir Gas Inert (Ar)

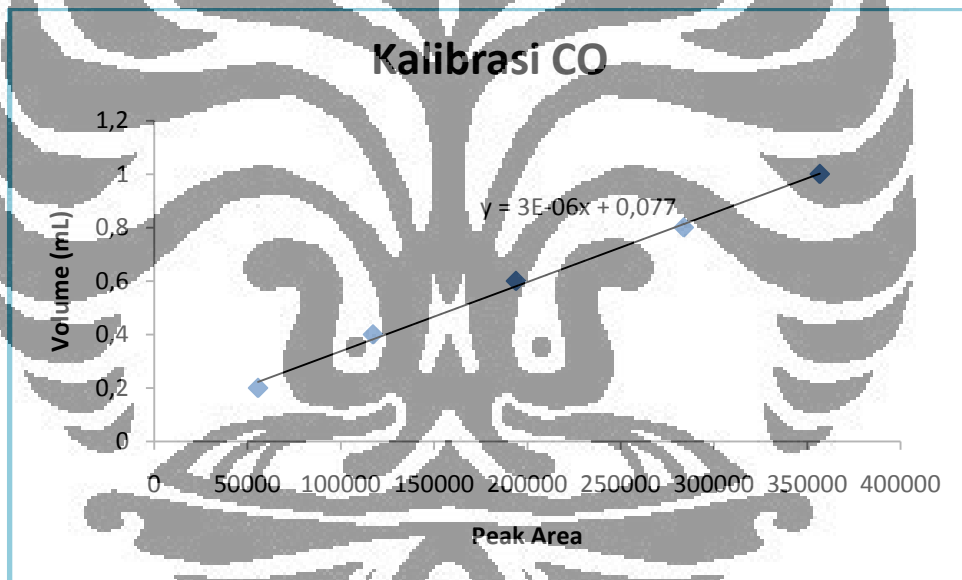
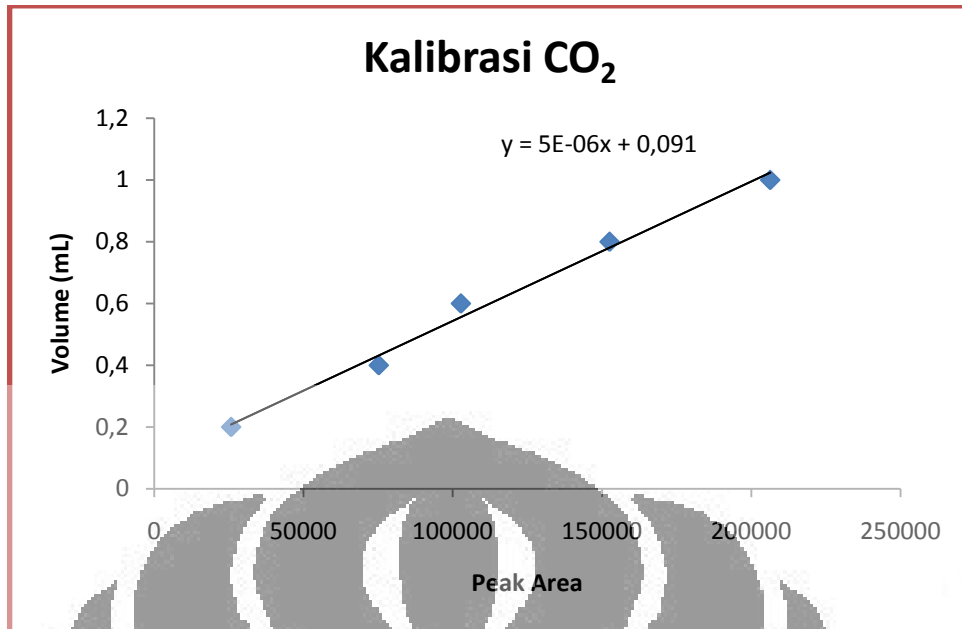
Laju alir Ar					
No	Vol (mL)	t (s)	v (mL/s)	mL/min	rata2
1	5	4,45	1,12	67,42	<b>66,10</b>
2	5	4,63	1,08	64,79	
3	5	4,54	1,10	66,08	

2. Kalibrasi CO<sub>2</sub>

RT = 5,2				
No	Vol (mL)	Peak Area	Concentration (%)	
1	1	206338	95,48	
2	0,8	152525	95,29	
3	0,6	102724	93,7	
4	0,4	75201	94,19	
5	0,2	25745	95,33	

3. Kalibrasi CO

RT = 1,6				
No	Vol (mL)	Peak Area	Concentration (%)	
1	1	356811	98,24	
2	0,8	283903	97,76	
3	0,6	193914	96,8	
4	0,4	117288	95,91	
5	0,2	55655	92,03	



## LAMPIRAN 8

### PENGOLAHAN DATA EMISI PEMBAKARAN

Data Emisi CO dengan *Portable CO-detector*

Jenis Biomassa	Konsentrasi CO menit ke- (ppm)							
	0	5	10	15	20	25	30	40
Jerami	0	21	434	999	88	59	28	0
Sekam	0	40	999	615	71	46	40	0
Kayu Kamper	0	57	999	399	257	56	27	0
Kayu Karet	0	31	999	493	157	43	20	0
Kelapa	0	43	999	490	114	39	31	0
Kelapa sawit	0	33	999	379	282	248	23	0
Tebu	0	26	999	577	294	167	49	0

Data Peak Area

No	Jenis Biomassa	Komponen	Menit Ke-			
			0	10	20	30
1	Jerami	CO	0	272169	75603	34211
		CO <sub>2</sub>	0	343	1718	1017
2	Sekam	CO	0	233537	76321	35233
		CO <sub>2</sub>	0	206	1377	213
3	Kamper	CO	0	227338	61237	30251
		CO <sub>2</sub>	0	912	2117	478
4	Karet	CO	0	211198	72304	21698
		CO <sub>2</sub>	0	367	1827	513
5	Serabut Kelapa	CO	0	213822	65423	32467
		CO <sub>2</sub>	0	843	1854	317
6	TKKS	CO	0	209928	56720	30436
		CO <sub>2</sub>	0	745	2047	717
7	Tebu	CO	0	138073	58902	30624
		CO <sub>2</sub>	0	347	2093	567

Data Volume (mL)

No	Jenis Biomassa	Komponen	Menit Ke-			
			0	10	20	30
1	Jerami	CO	0	0,886507	0,296809	0,172633
		CO <sub>2</sub>	0	0,092715	0,09959	0,096085
2	Sekam	CO	0	0,770611	0,298963	0,175699
		CO <sub>2</sub>	0	0,09203	0,097885	0,092065
3	Kamper	CO	0	0,752014	0,253711	0,160753
		CO <sub>2</sub>	0	0,09556	0,101585	0,096085
4	Karet	CO	0	0,688594	0,271912	0,120094
		CO <sub>2</sub>	0	0,092835	0,100135	0,09959
5	Serabut Kelapa	CO	0	0,696466	0,251269	0,152401
		CO <sub>2</sub>	0	0,095215	0,10027	0,092585
6	TKKS	CO	0	0,684784	0,22516	0,146308
		CO <sub>2</sub>	0	0,094725	0,101235	0,094585
7	Tebu	CO	0	0,781365	0,38551	0,24412
		CO <sub>2</sub>	0	0,092735	0,101465	0,093835

**Data Massa (mg)**

$$P.V = n.R.T$$

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$T = 27^{\circ}\text{C} = 300 \text{ K}$$

$$R = 83,14 \text{ atm.L/mol.K}$$

$$\text{Mr CO}_2 = 44,01$$

$$\text{Mr CO} = 28,01$$

No	Jenis Biomassa	Komponen	Menit Ke-		
			10	20	30
1	Jerami	CO	0,001009	0,000338	0,000196
		CO <sub>2</sub>	0,000166	0,000178	0,000172
2	Sekam	CO	0,000877	0,00034	0,0002
		CO <sub>2</sub>	0,000165	0,000175	0,000165
3	Kamper	CO	0,000856	0,000289	0,000183
		CO <sub>2</sub>	0,000171	0,000182	0,000172
4	Karet	CO	0,000784	0,000309	0,000137
		CO <sub>2</sub>	0,000166	0,000179	0,000178
5	Serabut Kelapa	CO	0,000792	0,000286	0,000173
		CO <sub>2</sub>	0,00017	0,000179	0,000166
6	TKKS	CO	0,000779	0,000256	0,000166
		CO <sub>2</sub>	0,000169	0,000181	0,000169
7	Tebu	CO	0,000889	0,000439	0,000278
		CO <sub>2</sub>	0,000166	0,000181	0,000168



## LAMPIRAN 9

### PERHITUNGAN POTENSI PELET BIOMASSA DI INDONESIA

Faktor konversi:

# 1 toe = 41,868 GJ

# 1 toe = 7.11, 7.33, or 7.4 barrel of oil equivalent (boe)

Jenis Biomassa	Jumlah Limbah (Juta ton/Tahun)	HHV (MJ/kg)	Produksi Pelet Biomassa (Juta ton/Tahun)	Potensi Bio-Energi (Juta GJ/Tahun)	Crude Oil Equivalent (10 <sup>6</sup> toe/Tahun)	Crude Oil Equivalent (10 <sup>6</sup> boe/Tahun)
Jerami	49	13,23	44,1	583,63	13,94	99,11
Sekam	13,5	13,49	12,15	163,86	3,91	27,83
Kayu Kamper	8,3	16,87	7,47	126,03	3,01	21,40
Kayu Karet	2,8	16,85	2,52	42,46	1,01	7,21
Serabut Kelapa	6,7	17,48	6,03	105,38	2,52	17,90
TKKS	12,9	16,66	7,74	128,93	3,08	21,89
Bagas	8,5	17,34	5,1	88,42	2,11	15,02
<b>TOTAL</b>			<b>85,11</b>	<b>1238,71</b>	<b>29,59</b>	<b>210,36</b>

Keterangan:

Nilai Konversi Produksi Pelet selain TKKS dan Bagas: **90%**

Nilai Konversi Produksi Pelet untuk TKKS dan Bagas: **60%**

Faktor loss Produksi Pelet selain TKKS dan Bagas: **10%** (proses pengeringan, proses reduksi partikel, dll)

Faktor loss Produksi Pelet untuk TKKS dan Bagas: **40%** (proses pengeringan, proses reduksi partikel, dll)

**Produksi Pelet Biomassa:**

*Nilai Konversi Konversi × Jumlah limbah yang tersedia*

**Produksi Pelet Biomassa selain TKKS dan Bagas:**

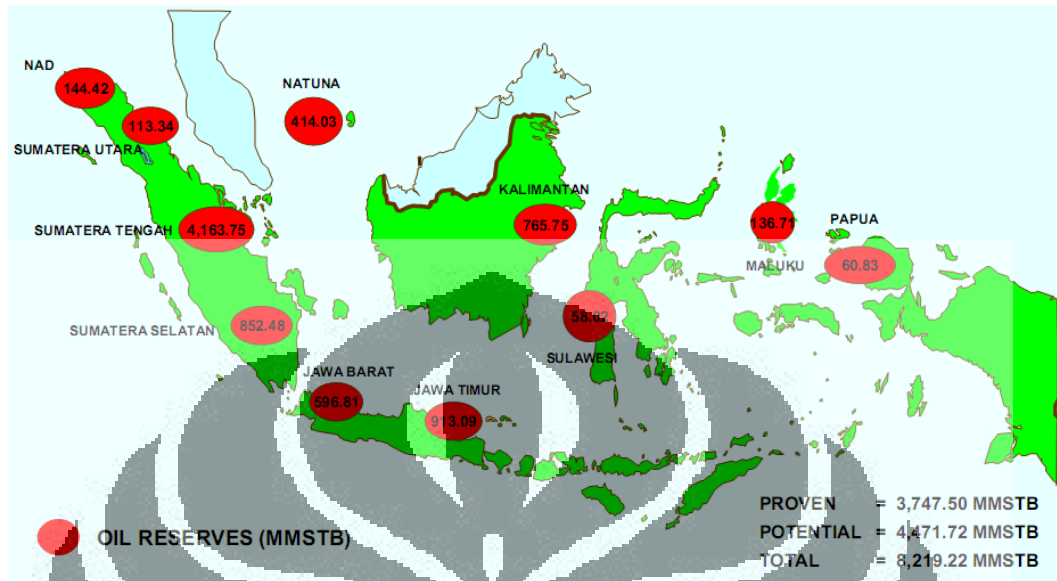
$$\frac{90}{100} \times \text{jumlah limbah yang tersedia}$$

**Produksi Pelet Biomassa untuk TKKS dan Bagas:**

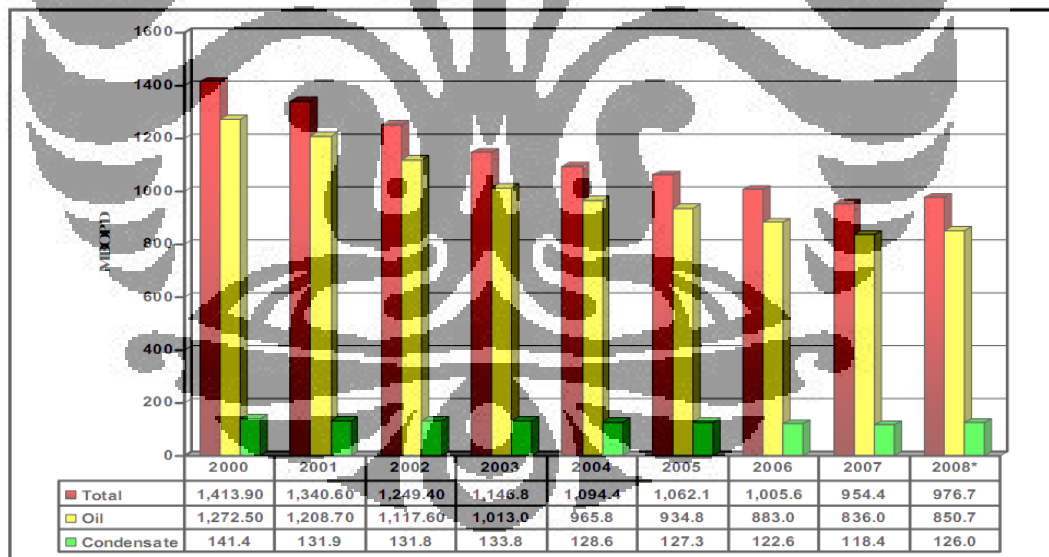
$$\frac{60}{100} \times \text{jumlah limbah yang tersedia}$$

**Potensi Bio Energy:**

*Produksi pelet × HHV*



**Cadangan Minyak di Indonesia**



\*) January up to December 17<sup>th</sup>, 2008

**Produksi Minyak di Indonesia**