

UJI KUALITAS FISIK DAN KINETIKA REAKSI BRIKET KAYU KALIMANTAN DENGAN DAN TANPA PENGIKAT

SKRIPSI

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



Oleh :

AHMAD SYAFIQ

NIM : I 0404015

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2009**

PERSEMBAHAN

Kepada mereka yang telah berjasa, kepada mereka pula saya persembahkan hasil jerih payahku selama menempuh jenjang S-1 ini yaitu sebuah skripsi yang akan menjadi karya terbesarku sehingga saya lulus dari Universitas Sebelas Maret ini dengan gelar Sarjana Teknik. Mereka adalah:

1. Dia yang telah menciptakan alam semesta dan seisinya. Segala puji bagi Allah, tidak ada daya dan upaya kecuali dengan-Nya. Allahlah pemilik segala keagungan, kemuliaan, kekuatan dan keperkasaan. Thanks Allah...
2. Abah : Muhammad Syariefuddin, mama : Nur Jannah, karena beliauah penulis terlahir di dunia dengan kelebihan dan kekurangannya. Beserta saudara dari abah dan mamah semua.
3. Adik : Arif cuik (yang hobinya nyusahin semua orang di rumah). Kakakku : kak Nia (Tempat selama ini curhat dan pemberi semangat), kalian adalah harta tercintaku yang tak ternilai.
4. Bapak Suyitno sebagai pembimbing-I yang telah membimbing sekaligus mendidik saya untuk menjadi lebih dewasa dan mandiri dalam bekerja. Juga kepada Mr. 3G (pak Tri) yang telah mensupport saya selaku pembimbing-II selama mengerjakan TA baik material (jurnal – jurnal dan makan – makan), spiritual, dan membimbing tanpa rasa letih dan ceria selalu. Dan juga pak Bawa yang telah mengajari saya banyak ilmu selama mengerjakan TA walau sebagai penguji saya waktu ujian. Tak lupa juga pak Eko PB yang selama ini juga telah memberikan spirit dan doanya kepada saya, trima kasih banyak untuk bapak – bapak semua..
5. Ade icha yang telah merebut hatiku untuk yang pertamakalinya, yang selalu sabar menemani saya selama sebagian hidup ku, tempat peredam segala emosi senang dan susah ku, dan dengan sabar menunggu saya sampai lulus. Maafkan aku karena telah menyusahkan kamu.
6. Semua teman – teman seangkatan, senasib dan seperjuangan, keep spirit guys...!!

MOTTO

***“Dan Allah telah berjanji kepada orang-orang yang beriman di antara kamu dan mengerjakan amal shalih bahwa Dia akan menjadikan mereka berkuasa di bumi sebagaimana Dia telah menjadikan orang-orang sebelumnya berkuasa.”
(Q.S. An-Nur: 55)***

“Ga ada noda ya ga belajar...!”

“Mukmin yang kuat lebih baik dan lebih dicintai Allah dari pada mukmin yang lemah; pada keduanya ada kebajikan.”

“Seseorang dengan tujuan yang jelas akan membuat kemajuan walaupun melewati jalan yang sulit. Seseorang yang tanpa tujuan, tidak akan membuat kemajuan walaupun ia berada di jalan yang mulus.”

“Kerjakan apa yang kamu kerjakan sekarang ini..”

***“Jangan buang - buang waktu untuk hal yang sia - sia”
(teriakan hati kecilku yang kadang tak terdengar)***

“ Selalu berfikir ke depan dan optimis “

“ Sabar dan tawakal “

Experiment on the Physical Quality and Reaction Kinetics of the Kalimantan Woods Briquette with and without Binder

Ahmad Syafiq

Mechanical Engineering Departement

Sebelas Maret University

Surakarta, Indonesia

email : ahmad_syafiq@ymail.com

Abstract

This experiment was done to find the optimum quality of Kalimantan wood briquette from merbau types and the combustion kinetics from the optimum briquette. The parameter of physical properties was initial and relaxed density, durability, axial compressive strength, and water resistance. Whereas the objective of the combustion kinetics is to find the activation energy and the pre-exponential factor of the optimum briquette.

The variation of this experiment was briquetting pressure. It was 200 kg/cm², 400 kg/cm², 600 kg/cm², 800 kg/cm², dan 1000 kg/cm², and with and without molasses as the binder. The reactor chamber temperature of combustion kinetics test was 400 °C.

From the experiment can be found that the optimum briquetting pressure was 800 kg/cm² for without binder and 600 kg/cm² for with binder. The durability value of biomass briquette without binder was poor, whereas using molasses as binder reduced the axial compressive strength of biomass briquette with moisture content 15 %w.b. The water resistance of briquette at this experiment also poor. At 2 m/s and 0,05 m/s combustion air rate, the activation energy of briquetting pressure 800 kg/cm² were 20.52 kJ/mol and 31.16 kJ/mol, nevertheless the activation energy of briquetting pressure at 600 kg/cm² with binder were 14.78 kJ/mol and 18.06 kJ/mol.

Key word : kalimantan wood, briquetting pressure, molasses, activation energy, pre-exponential factor

Uji Kualitas Fisik dan Kinetika Reaksi Briket Kayu Kalimantan Dengan dan Tanpa Pengikat

Ahmad Syafiq

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Sebelas Maret

Surakarta, Indonesia

email : ahmad_syafiq@ymail.com

intisari

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas optimum dari sifat fisik briket kayu kalimantan jenis merbau dan sifat kinetika reaksi pembakaran dari briket yang optimum tersebut. Sifat fisik yang menjadi parameter optimum adalah densitas awal dan densitas terelaksasi (*initial and relaxed density*), relaksasi densitas, ketahanan (*durability*), kuat tekan aksial (*axial compressive strenght*), dan ketahanan terhadap air (*water resistance*). Sedangkan dari sifat kinetika reaksi pembakaran adalah mencari energi aktivasi (E) dan faktor pre-eksponensial (A).

Variasi penelitian adalah tekanan pembriketan 200 kg/cm², 400 kg/cm², 600 kg/cm², 800 kg/cm², dan 1000 kg/cm², dan menggunakan pengikat tetes tebu (*mollases*) dan tanpa menggunakan pengikat. Pengujian kinetika pembakaran dilakukan pada temperatur ruang reaktor 400 °C.

Hasil pengujian menunjukkan sifat fisik briket biomasa yang optimum pada tekanan 800 kg/cm² untuk tanpa menggunakan pengikat dan tekanan 600 kg/cm² untuk dengan menggunakan pengikat. Nilai sifat *durability* briket biomasa tanpa pengikat tidak baik, sedangkan penggunaan pengikat menurunkan sifat kuat tekan briket biomasa dengan kadar air 15 %w.b. Sifat ketahanan terhadap air briket biomasa pada pengujian ini juga kurang baik. Pada kecepatan udara masuk 2 m/s dan 0,05 m/s energi aktivasi briket tekanan 800 kg/cm² tanpa pengikat adalah 20,52 kJ/mol dan 31,16 kJ/mol, sedang pada briket tekanan 600 kg/cm² dengan pengikat adalah 14,78 kJ/mol dan 18,06 kJ/mol.

Kata kunci : kayu kalimantan, tekanan pembriketan, pengikat, energi aktivasi, faktor pre-eksponensial

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat ALLAH SWT, Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Skripsi “Uji Kualitas Fisik dan Kinetika Reaksi Briket Kayu Kalimantan Dengan dan Tanpa Pengikat” ini dengan baik.

Skripsi ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Dalam Penyelesaian Skripsi ini tidaklah mungkin dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung ataupun tidak langsung. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Skripsi ini, terutama kepada:

1. Bapak Dody Ariawan, ST., MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin UNS Surakarta.
2. Bapak Dr. Tech Suyitno, ST. MT, selaku Pembimbing I atas bimbingannya hingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini.
3. Bapak Tri Istanto, ST. MT, selaku Pembimbing II yang telah turut serta memberikan bimbingan yang berharga bagi penulis.
4. Bapak Eko Surojo, ST. MT, selaku Pembimbing Akademis yang telah menggantikan sebagai orang tua penulis dalam menyelesaikan studi di Universitas Sebelas Maret ini.
5. Bapak Syamsul Hadi, ST. MT, selaku koordinator Tugas Akhir
6. Seluruh Dosen serta Staf di Jurusan Teknik Mesin UNS, yang telah turut mendidik penulis hingga menyelesaikan studi S1.
7. Ayah, Ibu, kak nia dan arif, , atas do'a restu, motivasi, dan dukungan material maupun spiritual selama penyelesaian Tugas Akhir.

8. Rekan Skripsi Sugeng Rianto (Sugenk) yang telah bersama-sama mengerjakan penelitian ini, terima kasih yang tak terkira atas bantuannya. Thanks Bro, Arigatoo gozaimaste....!!!
9. Rekan Asisten Lab. Konversi Energi Gama, Apras, Rosyid, Adit, Mudin, yang telah menemani dalam pembuatan alat penelitian ini, terima kasih yang tak terkira atas bantuan kalian semua.
10. Rekan - rekan Teknik Mesin semua, khususnya angkatan 2004 terima kasih atas kerjasamanya selama ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu yang telah membantu pelaksanaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Skripsi ini masih jauh dari sempurna, maka kritik dan saran penulis harapkan untuk kesempurnaan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat berguna bagi ilmu pengetahuan dan kita semua Amin.

Surakarta, 27 Juli 2009

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
Abstrak	v
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar	xii
Daftar Grafik	xiii
Arti simbol dan singkatan	xv
Daftar Lampiran	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan dan manfaat	4
1.5. Sistematika Penulisan	5
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka	6
2.2. Dasar Teori	9
2.2.1. Biomasa	9
2.2.2. Pembriketan	9
2.2.3. Bahan pengikat (<i>Binder</i>)	10
2.2.4. Densitas (<i>density</i>)	12
2.2.5. Densitas terelaksasi (<i>relaxed density</i>)	12
2.2.6. Ketahanan (<i>durability</i>)	12
2.2.7. Kuat tekan aksial (<i>axial compressive strnght</i>)	12
2.2.8. Ketahanan terhadap air (<i>water resistance</i>)	13
2.2.9. Pemilihan optimum	13
2.2.10. Pembakaran	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	

3.1.....	Lokasi	
dan Waktu Penelitian		17
3.2.....	Bahan	
Penelitian		17
3.3.....	Alat	
Penelitian		17
3.4.....	Pelaksana	
an Penelitian		19
3.4.1. Tahap Persiapan		19
3.4.2. Tahap Pembriketan		20
3.4.3. Tahap Uji Sifat Fisik		20
3.4.4. Tahap Uji Kinetika Reaksi		23
3.5.....	Metode	
Analisis Data		23
3.6.....	Diagram	
Alir Penelitian		24

BAB IV DATA DAN ANALISIS

4.1.....	Sifat Fisik	
.....		25
4.1.1. Densitas awal dan densitas setelah relaksasi		25
4.1.2. Relaksasi.....		28
4.1.3. Ketahanan (<i>durability</i>)		32
4.1.4. Kuat tekan aksial (<i>axial compressive strenght</i>)		35
4.1.5. Ketahanan terhadap air (<i>water resistance</i>)		37
4.1.6. Pemilihan optimum		40
4.2.....	Sifat	
Kinetika Reaksi		41

BAB V PENUTUP

5.1.....	Kesimpul	
an		44

5.2.....	Saran
.....	45
Daftar Pustaka	46
Lampiran	48

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Faktor dan level pemilihan optimum.....	11
Tabel 4.1. Data densitas awal dan setelah mengalami relaksasi selama 1 minggu dari briket biomasa tanpa menggunakan pengikat	24
Tabel 4.2. Data densitas awal dan setelah mengalami relaksasi selama 1 minggu dari briket biomasa dengan menggunakan pengikat ...	24
Tabel 4.3. Data nilai ketahanan briket biomasa dengan menggunakan pengikat terhadap variasi tekanan	31
Tabel 4.4. Data sifat kuat tekan aksial briket biomasa tanpa dan dengan menggunakan pengikat	33
Tabel 4.5. Data sifat ketahanan briket biomasa terhadap air tanpa dan dengan menggunakan pengikat	36
Tabel 4.6. Nilai <i>desirability</i> total briket tanpa menggunakan pengikat ...	38
Tabel 4.7. Nilai <i>desirability</i> total briket dengan menggunakan pengikat	38
Tabel 4.8. Nilai energi aktivasi dan faktor pre-eksponensial briket biomasa tanpa menggunakan pengikat tekanan 800 kg/cm ²	41
Tabel 4.9. Nilai energi aktivasi dan faktor pre-eksponensial briket biomasa tekanan 600 kg/cm ² dengan pengikat	42

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1. Gergajian kayu kalimantan jenis merbau dan tetes tebu	15
Gambar 3.2. Mesin pembriketan tipe piston (<i>hand pressed</i>)	16
Gambar 3.3. Timbangan digital (kiri), ayakan 50 mesh (kanan)	16
Gambar 3.4. Reostat (kiri), dan anemometer (kanan)	16
Gambar 3.5. Alat uji ketahanan standar <i>ASAE S269.4 DEC 96</i> (kiri) dan UTM (kanan)	17
Gambar 3.6. <i>Moisture analyzer</i> (kiri), jangka sorong digital (tengah), dan regulator (kanan)	17
Gambar 3.7. Skema alat TGA berpemanas listrik	17
Gambar 4.1. Briket biomasa tanpa menggunakan pengikat tekanan pembriketan 200 kg/cm ² sampai 1000 kg/cm ² setelah relaksasi 1 minggu.	25
Gambar 4.2. Briket biomasa dengan menggunakan pengikat tekanan pembriketan 200 kg/cm ² (kiri) dan 1000 kg/cm ² (kanan) setelah relaksasi 1 minggu 25	
Gambar 4.3. Briket biomasa dengan menggunakan pengikat tekanan pembriketan 400 kg/cm ² (kiri) dan 600 kg/cm ² (kanan) setelah diuji ketahanan briket.....	32
Gambar 4.4. Briket biomasa dengan menggunakan pengikat tekanan pembriketan 800 kg/cm ² (kiri) dan 1000 kg/cm ² (kanan) setelah diuji ketahanan briket.....	32

DAFTAR GRAFIK

Hamalan

Grafik 4.1. Nilai densitas briket biomasa terhadap variasi tekanan pembriketan	26
Grafik 4.2. Nilai relaksasi tinggi briket biomasa tanpa menggunakan pengikat	27
Grafik 4.3. Nilai relaksasi diameter briket biomasa tanpa menggunakan pengikat	28
Grafik 4.4. Nilai relaksasi tinggi briket biomasa dengan menggunakan pengikat	28
Grafik 4.5. Nilai relaksasi diameter briket biomasa dengan menggunakan pengikat	28
Grafik 4.6. Nilai ketahanan briket biomasa dengan menggunakan pengikat berdasarkan variasi tekanan	32
Grafik 4.7. Nilai kuat tekan aksial briket biomasa tanpa dan dengan menggunakan pengikat berdasarkan variasi tekanan	34
Grafik 4.8. Nilai ketahanan terhadap air (WRI) briket biomasa tanpa menggunakan pengikat berdasarkan variasi tekanan pembriketan	37
Grafik 4.9. Nilai ketahanan terhadap air (WRI) briket biomasa dengan menggunakan pengikat berdasarkan variasi tekanan pembriketan	37
Grafik 4.10. Penurunan fraksi masa (Y) terhadap penambahan waktu	39
Grafik 4.11. Kenaikan temperatur briket biomasa (T_{solid}) terhadap waktu	40
Grafik 4.12. Grafik $\ln(dy/dt)$ terhadap $1/T_{solid}$ pada proses pembakaran briket biomasa tekanan 800 kg/cm^2 tanpa menggunakan pengikat dengan kecepatan udara masuk 2 m/s	41
Grafik 4.13 Grafik $\ln(dy/dt)$ terhadap $1/T_{solid}$ pada proses pembakaran briket biomasa tekanan 800 kg/cm^2 tanpa menggunakan pengikat dengan kecepatan udara masuk $0,05 \text{ m/s}$	41

Grafik 4.14. Grafik $\ln(dy/dt)$ terhadap $1/T_{\text{solid}}$ pada proses pembakaran briket biomasa 600 kg/cm^2 dengan pengikat dengan kecepatan udara masuk 2 m/s	42
Grafik 4.15. Grafik $\ln(dy/dt)$ terhadap $1/T_{\text{solid}}$ pada proses pembakaran briket biomasa 600 kg/cm^2 dengan pengikat dengan kecepatan udara masuk $0,05 \text{ m/s}$	42

ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN

°C : derajat *Celcius*

% : persentase

ASAE : *American Society of Agricultural Engineers*

ASAE S269.4 Des 96 : standar Amerika pengujian densitas dan ketahanan

ASTM : *American Society for Testing and Material*

SO_x : oksida sulfur

NO_x : oksida nitrogen

kg/cm² : satuan untuk tekanan

kg/m³ : satuan untuk densitas

kkal/kg : satuan untuk nilai kalor/kilo kalori per kilogram

MC : *moisture content*

MPa : Mega Pascal

MSG : *monosodium glutamat*

UTM : *Universal Testing Machine*

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data hasil pengujian densitas awal dan densitas relaksasi briket biomasa kayu kalimantan tanpa menggunakan pengikat.....	48
Lampiran 2. Data hasil pengujian relaksasi diameter dan relaksasi tinggi briket biomasa kayu kalimantan tanpa menggunakan pengikat	50
Lampiran 3. Data hasil pengujian densitas awal dan densitas relaksasi briket biomasa kayu kalimantan dengan menggunakan pengikat	51
Lampiran 4. Data hasil pengujian relaksasi diameter dan relaksasi tinggi briket biomasa kayu kalimantan dengan menggunakan pengikat	53
Lampiran 5. Data hasil pengujian <i>durability</i> briket biomasa kayu kalimantan tanpa menggunakan pengikat	54
Lampiran 6. Data hasil pengujian <i>durability</i> briket biomasa kayu kalimantan dengan menggunakan pengikat	55
Lampiran 7. Data hasil perhitungan pemilihan briket biomasa kayu kalimantan tanpa menggunakan pengikat yang optimum	57
Lampiran 8. Data hasil perhitungan pemilihan briket biomasa kayu kalimantan dengan menggunakan pengikat yang optimum ...	59
Lampiran 9. Data hasil pengujian pembakaran briket tekanan 800 kg/cm ² dengan kecepatan udara masuk ruang bakar 2 m/s	60
Lampiran 10. Data hasil pengujian pembakaran briket tekanan 800 kg/cm ² dengan kecepatan udara masuk ruang bakar 0,05 m/s	62
Lampiran 11. Data hasil pengujian pembakaran briket tekanan 600 kg/cm ² dengan menggunakan pengikat dengan kecepatan udara masuk ruang bakar 2 m/s	64

Lampiran 12. Data hasil pengujian pembakaran briket tekanan 600 kg/cm^2
dengan menggunakan pengikat dengan kecepatan udara masuk
ruang bakar $0,05 \text{ m/s}$ 66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Ketersediaan sumber energi saat ini masih menjadi permasalahan pokok bagi seluruh umat manusia. Hal ini terjadi seiring dengan pertumbuhan penduduk dunia yang berakibat pula pada kebutuhan energi yang semakin meningkat. Selama ini energi fosil menjadi sumber utama untuk pemenuhan kebutuhan manusia akan energi. Pemakaian energi fosil ternyata mempunyai dampak buruk terhadap kehidupan manusia, seperti terjadinya polusi udara yang menyebabkan pemanasan global sehingga timbul kerusakan lingkungan. Selain itu sumber-sumber energi fosil semakin menipis karena tak terbarukan (*non renewable*). Oleh karena itu permasalahannya adalah mencari sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan yang mempunyai sifat dapat diperbaharui (*renewable*).

Sumber energi biomasa merupakan sumber energi terbarukan yang rendah emisi gas SO_x dan NO_x dibandingkan dengan bahan bakar fosil (batubara). Biomasa telah menjadi sumber energi alternatif terbarukan yang penting dalam kehidupan manusia, seperti untuk sumber energi rumah tangga, industri, pembangkit listrik dan juga dalam bentuk konversi energi yang lain. Biomasa merupakan sumber energi terbesar ketiga di dunia setelah batubara dan minyak dimana konsumsi energi dunia dari biomasa sebesar 14% per tahun. Biomasa adalah sumber utama energi di negara-negara berkembang dimana menyediakan 35% dari energi (Werther. J., 2000).

Indonesia termasuk negara yang mengkonsumsi kayu dalam jumlah yang relatif besar, terutama untuk industri-industri; penggergajian, kertas, dan kayu lapis. Sebagian limbah biomasa dari industri-industri tersebut dimanfaatkan kembali dalam proses pengolahannya, sebagian sebagai bahan bakar untuk melengkapi kebutuhan energi industri kayu lapis dan kertas, dan sebagian lagi ditumpuk di lapangan, dibuang ke aliran sungai, atau dibakar secara langsung dimana bisa menimbulkan kerusakan lingkungan. Sedangkan pada limbah penggergajian kayu kenyataannya di lapangan saat ini masih jarang dimanfaatkan. Produksi kayu gergajian (*Sawn timber*)

di Indonesia mencapai 1,4 juta m³/tahun (Direktorat Jenderal Bina Produksi Kehutanan tahun 2005).

Secara teknis sampah biomasa tidak bisa dimanfaatkan secara langsung karena kandungan airnya relatif tinggi dan nilai kalor per satuan volumenya relatif rendah, bila dibanding dengan bahan bakar fosil. Sehingga proses pembriketan atau densifikasi merupakan cara untuk meningkatkan sifat-sifat dari sampah biomasa. Pembriketan pada biomasa dapat meningkatkan nilai kalor volumetrik, mengurangi biaya transportasi, pengumpulan/pengepakan, dan penyimpanan (*storage*).

Pembakaran sampah biomasa secara langsung (tanpa perlakuan densifikasi) memberikan beberapa kerugian; kesulitan dalam mengontrol laju pembakaran (*burning rate*), pembakaran yang terjadi cepat sehingga diperlukan *refuelling* yang sering, kesulitan dalam mekanisme pemasukan bahan bakar (*feeding*) yang kontinyu. Dengan proses densifikasi maka diperoleh keuntungan dari sisi pembakaran, antara lain; laju pembakaran spontan (*spontaneous combustion*) dalam penyimpanan dapat dikurangi.

Menurut SNI, standar briket yang baik harus memenuhi beberapa kriteria seperti kuat tekan, nilai kalor dan kadar air dan kadar abu. Selain parameter diatas, terdapat sifat-sifat fisik lain yang harus diperhatikan dalam produksi briket biomasa, antara lain; sifat relaksasi (*relaxation*), ketahanan (*durability*), ketahanan terhadap air (*water resistance*), dan sifat higroskopis briket biomasa. Pemanfaatan briket biomasa secara termal dapat berupa proses pirolisis, gasifikasi dan pembakaran. Karakteristik kinetika proses-proses tersebut sangat penting untuk diketahui. Dengan mengetahui kinetika dan sifat pirolisis, gasifikasi dan pembakarannya, maka akan diperoleh informasi yang lebih akurat untuk menentukan kualitas briket. Penelitian ini dilakukan untuk meneliti secara komprehensif kualitas fisik briket dan kinetika pirolisis, gasifikasi dan pembakaran briket biomasa sehingga diperoleh suatu formula baru indikator performansi briket biomasa yang baik.

1.2 Perumusan Masalah

Bagaimana pengaruh variasi tekanan pembriketan dengan menggunakan pengikat dan tanpa pengikat tetes tebu untuk mendapatkan briket biomasa yang mempunyai kualitas fisik yang optimum dan bagaimana kinetika yang terjadi pada briket yang optimum tersebut.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini masalah dibatasi sebagai berikut ini :

1. Bahan briket biomasa yang diuji adalah limbah gergajian kayu Kalimantan jenis merbau (*Intsia Palembanica*).
2. Ukuran partikel serbuk gergajian kayu adalah 50 mesh.
3. Alat pembriketan adalah tipe piston yang digerakkan manual (*hand pressed*).
4. Cetakan briket (*die*) berbentuk silinder dengan diameter dalam 50 mm dan poros penekan berdiameter 49 mm.
5. Briket biomasa berbentuk silinder dengan diameter 50 mm dan tinggi 50 mm (SNI).
6. Jenis bahan pengikat (*binder*) yang digunakan adalah tetes tebu (*molasses*) dengan prosentase 10% *weight basic*.
7. Waktu penahanan (*holding time*) tekanan pembriketan selama 40 detik.
8. Kadar air (*moisture content*) serbuk gergaji adalah sekitar 15% *wet base*..
9. Pembriketan dilakukan dengan variasi tekanan pembriketan : 200 kg/cm², 400 kg/cm², 600 kg/cm², 800 kg/cm², 1000 kg/cm², dan variasi dengan menggunakan pengikat dan tanpa menggunakan pengikat.
10. Sifat fisik yang diuji :
 - a. Sifat relaksasi briket biomasa pada interval waktu 1 menit, 10 menit, 30 menit, 1 jam, 2 jam, 1 hari, dan 1 minggu.
 - b. Densitas awal (*initial density*) dan densitas setelah mengalami relaksasi selama 1 minggu (*relaxed density*). Pengujian ini menggunakan standard pengujian *ASAE 269.2 DEC 96*.
 - c. Ketahanan briket (*durability*) dengan menggunakan standard pengujian *ASAE 269.4 DEC 96*.

- d. Kuat tekan aksial (*axial compressive strength*).
 - e. Ketahanan terhadap air (*water resistance*).
11. Penyimpanan briket di dalam toples pada temperatur kamar dan kelembaban lingkungan.
 12. Mesin pengujian kinetika pembakaran briket biomasa menggunakan TGA (*Thermogravimetric Analyzer*) dengan menggunakan pemanas listrik (*electric heater*).
 13. Pengujian dengan TGA pada tekanan atmosfer.
 14. Pengujian sifat kinetika reaksi pembakaran untuk mencari nilai energi aktivasi dan faktor pre-eksponensial.
 15. Pengujian sifat kinetika pembakaran dilakukan pada 2 briket yang optimum dari pengujian sifat fisik masing – masing 1 briket dengan menggunakan pengikat dan 1 briket tanpa menggunakan pengikat dan dilakukan dengan variasi udara masuk ke ruang bakar 2 m/s dan 0,05 m/s.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk :

- a. Menyelidiki pengaruh tekanan pembriketan serta penggunaan pengikat dan tanpa pengikat terhadap sifat fisik dan mencari briket yang optimum dengan dan tanpa pengikat.
- b. Memperoleh data energi aktivasi dan faktor pre-eksponensial kinetika pembakaran dari briket biomasa yang mempunyai sifat fisik yang optimum.

Hasil dari penelitian yang diperoleh diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

- Mampu memberikan pengetahuan baru yang dapat berguna dalam standar kualitas briket biomasa yang baik yang menjadi SNI, khususnya karakteristik sifat fisik, mencari briket yang optimum dari sifat fisik dan diketahui energi aktivasi dan faktor pre-eksponensial kinetika pembakarannya.

- Dapat diterapkan sebagai bahan bakar alternatif yang murah, mempunyai sifat fisik yang baik dan optimum.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- BAB I : Pendahuluan, menjelaskan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.
- BAB II : Dasar teori, berisi tinjauan pustaka yang berkaitan dengan kualitas sifat fisik dan kinetika briket biomasa dengan dan tanpa menggunakan pengikat (*binder*), teori tentang biomasa, briket, teori tentang kinetika reaksi pembakaran, serta teori tentang metode mencari briket biomasa yang optimum.
- BAB III : Metodologi penelitian, menjelaskan bahan dan peralatan yang digunakan, tempat dan pelaksanaan penelitian, langkah-langkah percobaan dan pengambilan data.
- BAB IV : Data dan analisa, menjelaskan data hasil pengujian, perhitungan data hasil pengujian serta analisa hasil dari perhitungan.
- BAB V : Penutup, berisi tentang kesimpulan dan saran.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut Lindley dan Vossoughi (1989) nilai densitas briket tergantung pada tekanan pembriketan. Dalam penekanan terutama pada pembriketan tanpa pengikat, gaya tekan dari luar diperlukan untuk mengumpulkan partikel – partikel sehingga menjadi padat. Meningkatkan gaya tekan luar dapat meningkatkan nilai densitas serta gaya pengikat antar partikel.

Ndiema C. W. K., et al (2001) melakukan penelitian untuk mencari pengaruh tekanan pembriketan pada karakteristik briket khususnya sifat relaksasi briket. Dimana oleh Ndiema dkk sifat relaksasi briket dicari lewat pertambahan panjang dan jumlah rongga udara terjebak dari briket. Pengambilan data dilakukan dalam laboratorium dengan kelembaban udara relatif sebesar 50-60%, panjang briket diukur setelah 10 detik dan 24 jam setelah briket dikeluarkan dari cetakan. Hasil dari penelitian dapat disimpulkan bahwa pertambahan panjang minimum (relaksasi terkecil) terjadi pada pembriketan tekanan 80 MPa, hal ini dikarenakan jumlah rongga udara terjebak minimum pada tekanan 80 MPa.

S.R Ricards(1989) telah melakukan penelitian untuk mengetahui indek ketahanan briket terhadap air dengan cara merendam briket ke dalam air selama 30 menit kemudian massa briket ditimbang. Nilai indek ketahanan air (*Water Resistant Indeks (WRI)*) diperoleh dengan cara:

$$WRI = 100\% - \% \text{ penyerapan air} \dots\dots\dots(2.1)$$

Target yang baik diperoleh jika nilai WRI antara 93 % - 100 %

Li Yadong dan Liu Henry (2000) mengadakan penelitian tentang pembriketan (densifikasi) dari kayu sisa pengerjaan dan sampah biomasa yang lain dengan menggunakan sedikit *binder* dalam bentuk serbuk gergajian, jerami kering dan

kepingan. Proses densifikasi dilakukan dengan menggunakan metode “*punch and die*” dalam temperatur ruang dan tekanan yang digunakan antara 34 – 138 MPa. Didapat sifat- sifat meliputi densitas, tekanan abrasi, kekuatan impact, kuat tekan, ketahanan terhadap air, dan kualitasnya dalam jangka panjang. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan kandungan air, tekanan pembriketan, kecepatan penekanan, lama penahanan tekanan, ukuran partikel, dan bentuk partikel. Percobaan ini menemukan bahwa kebutuhan kandungan air untuk pembriketan yang bagus adalah 5% - 12% untuk semua jenis material kayu, dan diketahui kandungan air yang terbaik adalah 8%. Juga ditemukan bahwa bentuk seperti jerami kering merupakan yang paling padat dan kuat, sedang bentuk serbuk gergaji kurang baik, dan untuk bentuk kepingan yang paling jelek. Untuk bentuk jerami kering memerlukan tekanan pembriketan sampai 70 MPa agar dapat menghasilkan kualitas yang bagus, untuk bentuk serbuk gergajian memerlukan tekanan 100 MPa. Tetapi untuk bentuk kepingan walau ditekan hingga 138 MPa masih belum didapatkan briket yang baik. Briket yang dibentuk dalam kondisi yang bagus mempunyai densitas 1 g/cm³ atau lebih. Densitas yang tinggi sangat baik untuk penyimpanan, perlakuan, dan pemindahan. Briket yang baik juga mempunyai kandungan energi yang tinggi per satuan volume, sehingga briket ini lebih mudah dibakar daripada batubara dalam pembangkit energi.

Gronli, M.G., Varhegyi, G. dan Di Blasi, C. (2002), telah melakukan penelitian dengan metode termogravimetri dengan spesimen kayu. Pada jurnal ini juga membahas sedikit tentang reaksi dekomposisi yang ada pada biomasa (lignoselulosa). Penguraian lignoselulosa terdiri dari hemiselulosa, selulosa, dan lignin, yang masing-masing mempunyai energi aktivasi 105 – 111 kJ/mol, 195-213 kJ/mol, dan 35 – 65 kJ/mol, terjadi secara simultan. Karena prosesnya simultan sehingga tidak dapat diketahui reaksi yang sedang berlangsung secara parsial. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan karakteristik antara kayu lunak dan kayu keras secara kuantitas, dimana zat penyusun dari kedua bahan ini berbeda. Tujuan yang kedua adalah untuk memastikan bahwa analisis devolatilisasi lignoselulosa yang hanya dianggap satu mekanisme dan satu set data kinetis dapat untuk mencari karakteristik devolatilisasi dan parameter kinetis untuk semua kasus.

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan menunjukkan untuk kayu keras dan kayu lunak yang diambil dari Eropa dan Amerika yang kandungan mineral dalam tanahnya sangat berbeda ternyata menunjukkan kontur yang hampir sama ketika dilakukan analisis TG dan DTG-nya. Hemiselulosa pada kayu lunak terlihat lebih tidak reaktif jika dibandingkan dengan hemiselulosa pada kayu keras. Selain itu terlihat bahwa zona reaksi selulosa lebih lebar. Selain itu didapatkan kesimpulan bahwa dinamika devolatilisasi dari semua kayu bisa diselesaikan dengan mekanisme yang sederhana yang tergantung dari 4 parameter yaitu, jumlah zat ekstraktif, hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Ketika zat ekstraksi sangat sedikit sekali (3 parameter) maka nilai energi aktivasi dan karakteristik devolatilisasi akan sama dengan penelitian yang telah dilakukan Gronli. M. G., dkk. (1998).

Tri Istanto, dkk (2005) telah melakukan penelitian dengan judul Pengaruh ukuran partikel, kadar air awal dan temperatur pembriketan terhadap sifat fisik briket biomasa. Penelitian dilakukan dengan menggunakan biomasa berasal dari jerami padi, limbah gergajian glugu, limbah gergajian kayu jati dan serbuk batu bara. Sampel dibuat serbuk dengan variasi ukuran 20 mesh (0,85 mm), 40 mesh (0,42 mm), dan 80 mesh (0,18 mm) dan variasi kadar air awal (10%, 15%, 20% dan 25%) dan variasi temperatur pembriketan (60°C, 80°C, 100°C dan 120°C) serta dengan pengikat kanji 5%. Dari penelitian diperoleh hasil bahwa untuk semua briket biomasa semakin kecil ukuran partikel mengakibatkan densitas meningkat tetapi kuat tekan aksial menurun. Semakin besar kadar air awal menyebabkan penurunan densitas dan kuat tekan aksial.

Suyitno, dkk (2005) telah melakukan penelitian tentang pengaruh ukuran partikel terhadap karakteristik pembakaran biomasa yang berasal dari jerami dan serbuk gergajian pohon palm. Dimana sampel dijadikan serbuk dengan macam ukuran partikelnya adalah 20, 40, dan 80 mesh, kemudian dibriket berbentuk silinder berdiameter 3 cm. Briket dihasilkan dengan tekanan 500 kg/cm². Dari penelitian didapat laju pembakaran dan profil pembakarannya. Setelah di uji diketahui bahwa ukuran partikel besar mempunyai laju pembakaran yang tinggi sehingga bahan bakar cepat habis. Tetapi dengan ukuran partikel besar, temperatur puncak, *ITVM*, dan waktu tinggalnya singkat.

Saptoadi H, (2006) telah melakukan penelitian tentang pengaruh ukuran partikel terhadap laju pembakaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan semakin kecil ukuran partikel, porositas briket juga semakin kecil namun densitas briket menjadi semakin besar. Dari hasil uji pembakaran diketahui bahwa porositas yang rendah menghambat proses pengeringan, devolatilisasi, dan pembakaran arang (*char*) karena kurangnya area difusi massa sehingga laju pembakaran rendah dan waktu pembakaran menjadi lebih lama. Namun kadar karbon yang tidak terbakar semakin besar dengan ukuran partikel yang semakin kecil sehingga diperlukan kombinasi yang baik.

Coates, Wayne (1999) melakukan penelitian pada briket biomasa limbah kapas yang bertujuan untuk mendapatkan briket biomasa yang memiliki sifat ketahanan baik. Pada penelitian ini tekanan pembriketan divariasikan menjadi 3 yaitu 700 psi, 1400 psi, dan 2100 psi dan juga pada kandungan air briket divariasikan 10%, 15%, 20%, 25%. Hasilnya adalah semakin tinggi kadar air maka briket semakin tahan dan semakin tinggi tekanan pembriketan, briket biomasa juga semakin bagus sifat ketahanannya.

Tujuan proses pembriketan adalah untuk meningkatkan densitas minimal 250 kg/m³, terutama jika ditekankan untuk mengatasi masalah transportasi dan penyimpanan (Wilén, 1987). Proses pembriketan dapat dilakukan pada tekanan pembriketan rendah/ sedang (300 – 1000 kg/cm²) biasanya dengan bahan pengikat, dan tekanan pembriketan sedang/ tinggi (1000 – 2500 kg/cm²) untuk tanpa bahan pengikat (Sumaryono, 1995). Proses pembriketan dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi *screw press* dan *piston press*. Terdapat parameter-parameter yang berpengaruh terhadap proses pembriketan proses pembriketan dengan atau tanpa menggunakan pengikat (*binder*) yaitu komposisi, ukuran partikel, tekanan pembriketan, jenis batubara, pengaruh mineral lempung, temperatur pembriketan, kadar air, jenis biomasa, dan penambahan aditif (Sumaryono, 1995).

Biomasa kayu yang cocok dimanfaatkan sebagai bahan bakar karena kandungan abu dan kadar nitrogennya rendah. Pembakaran bahan bakar biomasa dapat dilaksanakan sampai dengan kandungan airnya maksimal 60% (Nussbaumer, 2002). Rasio kandungan volatil terhadap zat arang lebih tinggi biomasa dibandingkan

dengan batubara, sehingga biomasa lebih reaktif atau mudah menyala dan terbakar dibanding dengan batubara. Proses devolatilisasi berlangsung pada suhu 200°C - 450°C untuk biomasa, 350°C - 600°C untuk batubara (Biaggiani, 2004).

Proses pembakaran bahan bakar padat (*solid fuel*) meliputi 4 tahap, yaitu tahap pengeringan (*drying*), tahap devolatilisasi, dan tahap pembakaran arang/ oksidasi arang (*char oxidation*) yang akan menyisakan abu (*ash*) (Borman, 1998). Tahap pertama adalah pemanasan awal dan pengeringan, dimana terjadi penguapan sejumlah air yang terkandung dalam bahan bakar padat. Tahap kedua adalah proses devolatilisasi, dimana terjadi pengurangan massa bahan bakar padat secara cepat akibat terlepasnya zat volatil (*volatile matter*). Tahap ketiga adalah oksidasi arang sehingga menyisakan abu. Waktu yang dibutuhkan untuk setiap proses bergantung pada sifat bahan bakar, ukuran bahan bakar, temperatur dan kondisi pembakaran (Nussbaumer, 2002).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Biomasa

Biomasa merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan semua jenis material organik yang dihasilkan dari proses fotosintesis. Biomasa dapat dikategorikan sebagai kayu dan biomasa non-kayu. Biomasa kayu dapat dibagi lagi menjadi kayu keras dan kayu lunak. Biomasa non-kayu yang dapat digunakan sebagai bahan bakar meliputi limbah hasil pertanian seperti limbah pengolahan industri gula pasir (*bagasse*), sekam padi, rerantingan (*stalks*), jerami, biji-bijian, termasuk pula kotoran hewan dapat juga digunakan sebagai bahan bakar. Bahan bakar kayu meliputi gelondongan kayu (*cord wood*), ranting pohon, tatal kayu, kayu sejenis cemara (*bark*), gergajian kayu, sisa hasil hutan, arang kayu, dan lain-lain (Vanaparti, 2004).

2.2.2 Pembriketan

Salah satu cara yang dikembangkan untuk meningkatkan sifat fisik dan pembakaran biomasa adalah pembriketan untuk menghasilkan biobriket. Pembriketan merupakan salah satu langkah dalam rangkaian proses penanganan

limbah yang meliputi pengumpulan, penyimpanan, dan pengangkutan, juga termasuk penyortiran, penggilingan dan pengeringan. Prinsip pembriketan yaitu pemberian tekanan pada suatu material untuk mengurangi bahkan menghilangkan kekosongan (*void*) inter dan antar partikel.

Teknik pembriketan yang biasa digunakan adalah *balling*, *briquetting*, *pelleting*. Proses pembuatan biobriket yang utama meliputi pemilihan material biomasa, penggilingan, dan pembriketan.

Pada dasarnya semua jenis limbah biomasa dapat dibriket. Berdasarkan tekanan kompaksi proses pembriketan dapat dibagi menjadi 3 (Sumaryono, 1995) yaitu :

1. Kompaksi tekanan rendah (300-1000 kg/cm²)
2. Kompaksi tekanan sedang (1000-2500 kg/cm²)
3. Kompaksi tekanan tinggi (≥ 2500 kg/cm²)

Dalam kompaksi dengan tekanan tinggi dan sedang, biasanya tidak diperlukan bahan pengikat. Proses kompaksi dengan tekanan tinggi dan sedang biasanya menggunakan teknologi *screw press* dan *piston press*. Teknologi pembriketan yang lain jarang digunakan karena tingginya biaya dan kompleksnya peralatan.

2.2.3 Bahan pengikat (*Binder*)

Pembriketan pada tekanan rendah membutuhkan bahan pengikat untuk membantu pembentukan ikatan di antara partikel biomasa. Penambahan pengikat dapat meningkatkan kekuatan briket. Ada beberapa macam bahan pengikat yang digunakan dalam pembriketan yaitu pengikat organik (tetes tebu, *coal tar*, *bitumen*, kanji, resin) dan pengikat in-organik (tanah liat, semen, *lime*, *sulphite liquor*).

Menurut Hinkle dan Rosenthal, ada beberapa kriteria yang harus diperhatikan dalam memilih *binder* yang akan digunakan sebagai pengikat, antara lain :

1. Kesesuaian antara *binder* dengan bahan yang akan diikat.
2. Kemampuan *binder* untuk dapat meningkatkan sifat-sifat briket.
3. Kemudahan untuk memperolehnya.
4. Harga *binder*.

Bahan pengikat yang digunakan dalam penelitian ini dipilih dari bahan organik yaitu tetes tebu. Tetes tebu merupakan salah satu produk utama sebelum gula pasir, yang dihasilkan dari bermacam – macam tingkat pengolahan dari tebu menjadi gula. Tetes tebu masih mengandung gula dalam jumlah yang cukup banyak (sekitar 50 – 60%) dan sejumlah asam amino serta mineral. Tetes tebu sendiri masih dapat diolah menjadi beberapa produk lain seperti gula cair, penyedap makanan (MSG), alkohol dan *dry yeast* untuk roti, protein tunggal, pakan ternak, asam *citric*, dan *acetic acid alcohol*.

2.2.4 Densitas (*density*)

Densitas merupakan salah satu parameter penting dimana tujuan utama dalam proses pembriketan adalah untuk meningkatkan densitas sehingga nilai kalor briket persatuan volume menjadi meningkat. Faktor – faktor yang mempengaruhi densitas suatu briket biomasa adalah densitas dari biomasa itu sendiri, tekanan pembriketan, waktu penekanan, temperatur pembriketan dan kelembaban tempat penyimpanan briket tersebut (Ndiema .C.K.W., dkk, 2001).

2.2.5 Densitas terelaksasi (*relaxed density*)

Densitas terelaksasi adalah densitas dari briket biomasa setelah mengalami relaksasi, dimana densitas briket biomasa tiap variasi tekanan semakin berkurang. Hal ini terjadi karena dalam mengalami proses relaksasi, volume briket biomasa mengalami penambahan sedangkan masa dari briket tersebut tetap.. Penurunan densitas pada briket biomasa yang menggunakan pengikat lebih besar dibanding briket biomasa tanpa pengikat (Chin O.C., et al, 2000).

2.2.6 Ketahanan (*durability*)

Biket yang dapat disimpan dan didistribusikan harus memiliki sifat ketahanan (*durability*) sehingga dalam proses penyimpanan dan pendistribusian tersebut briket tidak mudah pecah atau rusak. Sifat ketahanan briket yang baik adalah briket yang telah diuji sifat ketahanannya dengan standar *ASAE S269.4 DEC 98* dan mempunyai indeks ketahanan briket minimal 90.

2.2.7 Kuat tekan aksial (*axial compressive strenght*)

Kuat tekan aksial adalah kekuatan suatu material terhadap tekanan aksial yang sejajar dengan sumbu simetri material tersebut. Sehingga briket yang baik merupakan briket biomasa yang mempunyai kuat tekan aksial paling sedikit 6 kgf/m².

2.2.8 Ketahanan terhadap air (*water resistance*)

Sifat ketahanan terhadap air (*water resistance*) merupakan sifat fisik dari briket biomasa yang mengukur tingkat daya serap briket terhadap air, dimana briket biomasa yang mempunyai sifat ketahanan terhadap air yang baik adalah briket biomasa yang mempunyai nilai daya serap air kecil.

2.2.9 Pemilihan kualitas optimum

Dalam menentukan briket biomasa yang mempunyai kualitas yang optimum dalam berbagai variasi tekanan, briket tersebut harus memenuhi kriteria - kriteria yang dibutuhkan. Dalam penelitian ini parameter – parameter biomasa yang mempunyai kualitas sifat fisik yang optimum meliputi densitas setelah relaksasi (*relaxed density*), (*elongation density*) sifat ketahanan terhadap air (*water resistance*), sifat ketahanan (*durability*), dan kuat tekan aksial (*axial compressive strenght*). Dalam menentukan briket biomasa yang mempunyai sifat – sifat tersebut untuk variasi tekanan 200 kg/cm², 400 kg/cm², 600 kg/cm², 800 kg/cm², dan 1000 kg/cm², digunakan metode ”*desirability function*” (Hernandez G.M., 2004), yang dinotasikan d yaitu metode dengan membandingkan sifat – sifat fisik yang dikehendaki tiap variasi tekanan pembriketan.

Metode pemilihan briket optimum dengan ”*desirability function*” dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Mengubah faktor variasi tekanan kedalam bentuk variabel tanpa dimensi

Tabel 2.1 Faktor dan level

Faktor	Level				
	-2	-1	0	1	2
X1 Tekanan (kg/cm ²)	200	400	600	800	1000

2. Membentuk model regresi untuk masing-masing respon yaitu y_1 : densitas, y_2 : durability dan y_3 : prosentase relaksasi kedalam persamaan berikut:

$$y_p = \beta_{p0} + \sum_{i=1}^k \beta_{ip} x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{pi} x_i^2 + \sum_{i < j}^k \sum \beta_{\beta_{ijp}} x_i x_j \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Karena faktor variasi yang digunakan hanya 1 maka persamaan menjadi:

$$y_p = \beta_{p0} + \beta_{p1} x + \beta_{p2} x^2 \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

3. Mencari nilai desirability untuk setiap respon $d_i(x)$ dengan persamaan

$$d_i(x) = \begin{cases} \frac{\hat{y}_i(x) - y_{\min}}{y_{\text{nominal}} - y_{\min}} & \text{if } y_{\min} \leq \hat{y}_i(x) \leq y_{\text{nominal}} \\ \frac{\hat{y}_i(x) - y_{\max}}{y_{\text{nominal}} - y_{\max}} & \text{if } y_{\text{nominal}} \leq \hat{y}_i(x) \leq y_{\max} \\ 0 & \text{if } \hat{y}_i(x) < y_{\min} \text{ atau } \hat{y}_i(x) > y_{\max} \end{cases} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana y_{\min} dan y_{\max} adalah nilai terendah dan nilai tertinggi dari data yang diperoleh dan untuk y_{nominal} adalah nilai yang secara umum diinginkan. Dalam analisa ini y_{nominal} untuk setiap sifat fisik ditentukan untuk 650 kg/m³ untuk densitas , 90% untuk *durability* dan 25% untuk relaksasi volum.

4. Mencari nilai total desirability (D) dengan persamaan:

$$D = (d_i \cdot d_{i+1} \cdot d_{i+2} \cdot d_n)^{1/n} \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

2.2.10 Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar, disertai timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor yang berlangsung secara cepat. Pembakaran spontan adalah pembakaran dimana bahan bakar mengalami oksidasi perlahan – lahan sehingga kalor yang dihasilkan tidak dilepaskan, akan tetapi dipakai untuk menaikkan suhu bahan bakar secara pelan-pelan sampai mencapai suhu nyala.

Pembakaran sempurna adalah pembakaran dimana semua konstituen yang dapat terbakar di dalam bahan bakar membentuk gas CO₂, air (= H₂O), dan gas SO₂, sehingga tak ada lagi bahan yang dapat terbakar tersisa.

Proses pembakaran bahan bakar padat (*solid fuel*) meliputi 3 tahap, yaitu tahap pengeringan (*drying*), tahap devolatilisasi dan tahap pembakaran arang/ oksidasi arang (*char oxidation*) yang akan menyisakan abu (*ash*) (Borman, 1998). Tahap pertama adalah pemanasan awal dan pengeringan, dimana terjadi penguapan sejumlah air yang terkandung dalam bahan bakar padat. Tahap kedua adalah proses devolatilisasi, dimana terjadi pengurangan massa bahan bakar padat secara cepat akibat terlepasnya zat volatile (*volatile matter*). Tahap ketiga adalah oksidasi arang sehingga menyisakan abu.

Persamaan Arrhenius kinetika pembakaran dapat dinyatakan dengan bentuk sebagai berikut :

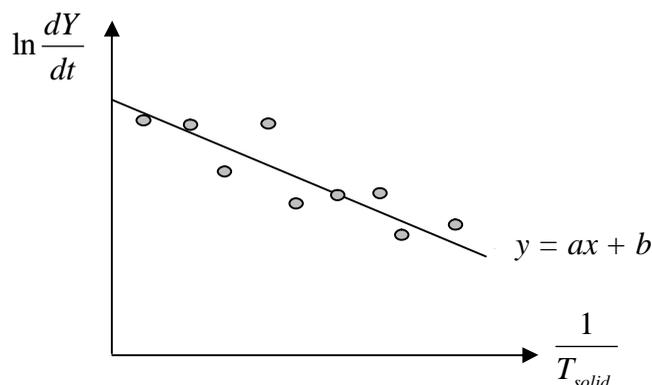
$$\frac{dY}{dt} = Ae^{-E/RT} \dots\dots\dots(2.6)$$

- dimana
- dY : penurunan fraksi massa
 - dt : perubahan waktu
 - A : faktor pre-eksponensial
 - e : bilangan natural (2,71828)
 - E : energi aktivasi bahan (J/mol)
 - R : konstanta gas (8,31 J/mol K)
 - T_{solid} : temperatur bahan bakar solid (K)

Persamaan (2.6) kemudian diubah menjadi:

$$\ln \frac{dY}{dt} = \ln A - \frac{E}{RT_{solid}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Data hasil penelitian yang diperoleh pertama kali adalah dY/dt . Dengan meng-ln kan dari dY/dt maka akan didapat $\ln (dY/dt)$. Hasil dari $\ln (dY/dt)$ kemudian dibuat grafik hubungan antara $\ln (dY/dt)$ dengan $1/T_{solid}$. Grafik yang terbentuk kemudian dicari persamaan garis lurusnya melalui regresi linear seperti pada Grafik 2.1.



Grafik 2.1 Grafik ln penurunan fraksi massa terhadap kenaikan 1/ temperatur solid

Grafik ln penurunan fraksi massa terhadap kenaikan temperatur solid akan menghasilkan persamaan linear. Persamaan linear yang dihasilkan kemudian dimasukkan ke dalam persamaan (2.7).

$$y = ax + b \longrightarrow \ln \frac{dY}{dt} = -\frac{E}{RT_{solid}} + \ln A \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

Sehingga didapat :

$$y = \ln \frac{dY}{dt} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

$$ax = -\frac{E}{RT_{solid}} \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

$$b = \ln A \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

dari persamaan (2.10), karena $1/T_{solid}$ adalah nilai variabel maka bisa kita tuliskan :

$$x = \frac{1}{T_{solid}}$$

sehingga, $a = -\frac{E}{R} \quad \dots\dots\dots(2.12)$

$$E = -a \times R \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

$$A = \exp (b) \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

2.2.11 Energi aktivasi

Energi aktivasi dapat didefinisikan sebagai energi minimal yang harus dipenuhi untuk memulai terjadinya reaksi kimia. Penelitian tentang arrhenius merupakan penerapan dari teori laju reaksi yang telah dilakukan oleh Serbian physicist Nebojsa Lekovic. Energi aktivasi biasanya dinotasikan oleh E_a dengan satuan kiloJoule/mol.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Termodinamika dan Perpindahan Panas Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Waktu penelitian dimulai pada bulan Februari – Juli 2009.

3.2 Bahan Penelitian

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah : serbuk gergajian kayu kalimantan jenis merbau yang diperoleh dari PT. Indojati di wilayah Colomadu dan tetes tebu (*molasses*) diperoleh dari pabrik Gula Tasikmadu.



Gambar 3.1. Gergajian kayu kalimantan jenis merbau dan tetes tebu

3.3 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian:

- a. Mesin pembriketan tipe piston
Yang terdiri dari dongkrak hidrolis 6 ton, alat cetak (silinder dan poros penekan), *pressure gauge*.
- b. Ayakan 50 mesh
- c. Mixer
- d. Alat uji ketahanan (*durability test*) standar *ASAE S269.4 DEC 96*
- e. *Moisture analyzer*
- f. Timbangan digital
- g. Jangka sorong digital

- h. Stopwatch
- i. Alat uji tekan *Universal Testing Machine (UTM)*
- j. Reaktor TGA (*Thermogravimetry Analyzer*) dengan pemanas tenaga listrik
- k. Data akuisisi temperatur
- l. Termokopel tipe-k
- m. *Anemometer*
- n. *Reostat*



Gambar 3.2. Mesin pembriketan tipe piston (*hand pressed*)



Gambar 3.3. Timbangan digital (kiri), ayakan 50 mesh (kanan)



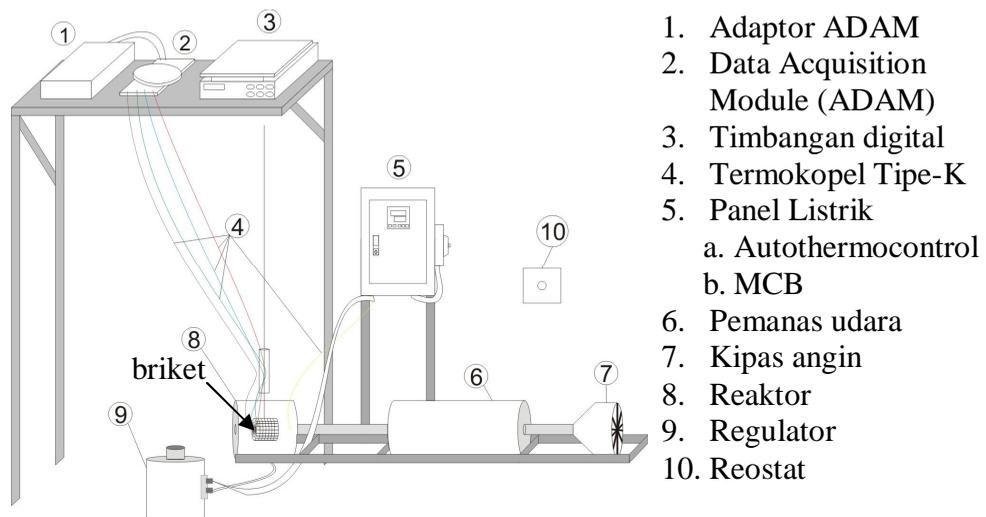
Gambar 3.4. Reostat (kiri), dan anemometer (kanan)



Gambar 3.5. Alat uji ketahanan standar ASAE S269.4 DEC 96 (kiri) dan UTM (kanan)



Gambar 3.6. Moisture analyzer (kiri), jangka sorong digital (tengah), dan regulator (kanan)



Gambar 3.7. Skema alat TGA berpemanas listrik

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Tahap Persiapan

Dalam tahap persiapan meliputi proses pengumpulan sampah serbuk gergajian kayu Kalimantan jenis merbau, pengeringan, pengayakan dan pengkondisian kadar air awal.

3.4.2 Tahap Pembriketan

Pembriketan dilakukan dengan cara memasukkan serbuk gergajian kayu merbau ke dalam cetakan yang berdiameter dalam 50 mm kemudian ditekan dengan menggunakan alat pembriketan dengan variasi tekanan 200 kg/cm², 400 kg/cm², 600 kg/cm², 800 kg/cm², 1000 kg/cm², dan variasi menggunakan pengikat dan tanpa menggunakan pengikat. Waktu penahanan tekanan (*holding time*) 40 detik.

3.4.3 Tahap Uji Sifat Fisik

Uji sifat fisik yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi :

1. Uji densitas awal dan densitas terelaksasi

Pengujian densitas spesimen ada 2 macam yaitu; densitas awal setelah keluar dari cetakan (*initial density*) dan densitas setelah mengalami relaksasi selama 1 minggu (*relaxed density*). Pengujian dilakukan menurut standar *ASAE S269.4 DEC 96* menggunakan metode pengukuran langsung dengan alat jangka sorong (*caliper*). Prosedur pengujiannya yaitu :

- i. Mengukur spesimen (diameter dan panjang) pada awal keluar dari cetakan dan setelah terelaksasi selama 1 minggu dengan menggunakan jangka sorong untuk menghitung volumenya.
- ii. Menimbang spesimen dan dicatat sebagai masa.
- iii. Menghitung densitas dengan membagi masa spesimen dengan volumenya.

Pengujian dilakukan paling sedikit 3 spesimen kemudian dirata rata.

2. Uji relaksasi

Pengujian sifat relaksasi mengadopsi pengujian menurut standar *ASAE S269.4 DEC 96* yakni menggunakan metode pengukuran langsung dengan alat jangka sorong (*caliper*). Prosedur pengujiannya yaitu :

mengukur spesimen (diameter dan panjang) pada awal dan pada interval waktu 1 menit, 10 menit, 30 menit, 1 jam, 2 jam, 1 hari, 1 minggu.

Pengujian dilakukan paling sedikit 3 spesimen kemudian dirata-rata.

3. Uji Ketahanan

Sifat ketahanan (*durability*) briket biomasa diuji menurut standar internasional *ASAE S269.4 DEC 96* dengan prosedur sebagai berikut:

- a) Spesimen uji sebanyak 10 buah dimana toleransi masa tiap 1 buah spesimen sebesar 10% dari masa spesimen rata – rata dari 10 buah sampel. Kemudian diputar dalam alat uji ketahanan selama 3 menit dengan putaran 40 rpm. Spesimen yang digunakan pada pengujian ini adalah spesimen yang telah terelaksasi selama 1 minggu.
- b) Setelah diputar maka masa briket biomasa yang telah pecah menjadi beberapa bagian ditimbang.
- c) Masa tiap pecahan briket biomasa setelah diputar dikelompokkan pada 0 – 20 %, 20 – 40 %, 40 – 60 %, 60 – 80 %, 80 – 100 % dari masa rata – rata total sebelum diputar.
- d) Harga index ketahanan briket biomasa dicari dengan memberikan bobot pada masing – masing kelompok. Pada kelompok 0 – 20 % harga bobot adalah 0, 20 – 40 % harga bobot adalah 1, 40 – 60 % harga bobot adalah 2, 60 – 80 % harga bobot adalah 3, dan kelompok 80 – 100 % harga bobot adalah 4. Kemudian akumulasi dari masa pecahan dikalikan harga bobot adalah indeks distribusi ukuran briket biomasa. Harga tingkat ketahanan briket biomasa adalah akumulasi indeks distribusi ukuran briket biomasa dibagi dengan bobot 4.

4. Uji ketahanan terhadap air

Pengujian ketahanan terhadap air (*water resistant*) dilakukan dengan mengadopsi prosedur penelitian yang telah dilakukan oleh Ricards, S.R (1989). Prosedur pengujiannya yaitu:

- i. Menimbang masa awal briket.

- ii. Merendam briket didalam air selama 30 menit.
- iii. Menimbang masa akhir briket setelah 30 menit.
- iv. Mencatat perubahan masa briket

Perhitungan index ketahanan air (*water resistant indeks*) briket dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$WRI = 100 \% - \% \text{penyerapan} \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$\% \text{penyerapan} = \frac{m_b - m_a}{m_a} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(11)$$

Dimana:

m_b : masa akhir briket setelah diredam 30 menit (kg)

m_a : masa awal briket sebelum direndam (kg)

5. Uji kuat tekan aksial

Pengujian sifat mekanik kuat tekan aksial (*Axial Compressive Strenght*) dilakukan di laboratorium bahan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret. Alat uji tekan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Universal Testing Machine* (UTM).

Adapun prosedur penelitian uji karakteristik kuat tekan aksial adalah sebagai berikut:

- a) Meletakkan sampel uji sedemikian rupa tegak lurus terhadap sumbu simetri briket pada landasan uji alat *Universal Testing Machine*.
- b) Mengatur pembebanan sebesar 5 ton dan mengatur setiap kenaikan strip skala ukur 5 kg.
- c) Menurunkan pembebanan secara vertikal dengan kecepatan yang diatur oleh operator melalui kontroler hingga briket pecah karena penekanan.
- d) Mencatat nilai gaya tekan yang ditunjukkan oleh jarum pada skala ukur yang terdapat pada alat uji.
- e) Menaikkan penekan ke posisi semula dan membersihkan landasan uji kuat tekan untuk uji selanjutnya.

Perhitungan kekuatan tekan briket dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$P = \frac{F}{A} \quad \dots\dots\dots(12)$$

Ket : P : kuat tekan briket (kgf/cm²)
F : beban pembriketan (kgf)
A : luas penampang briket (cm²)

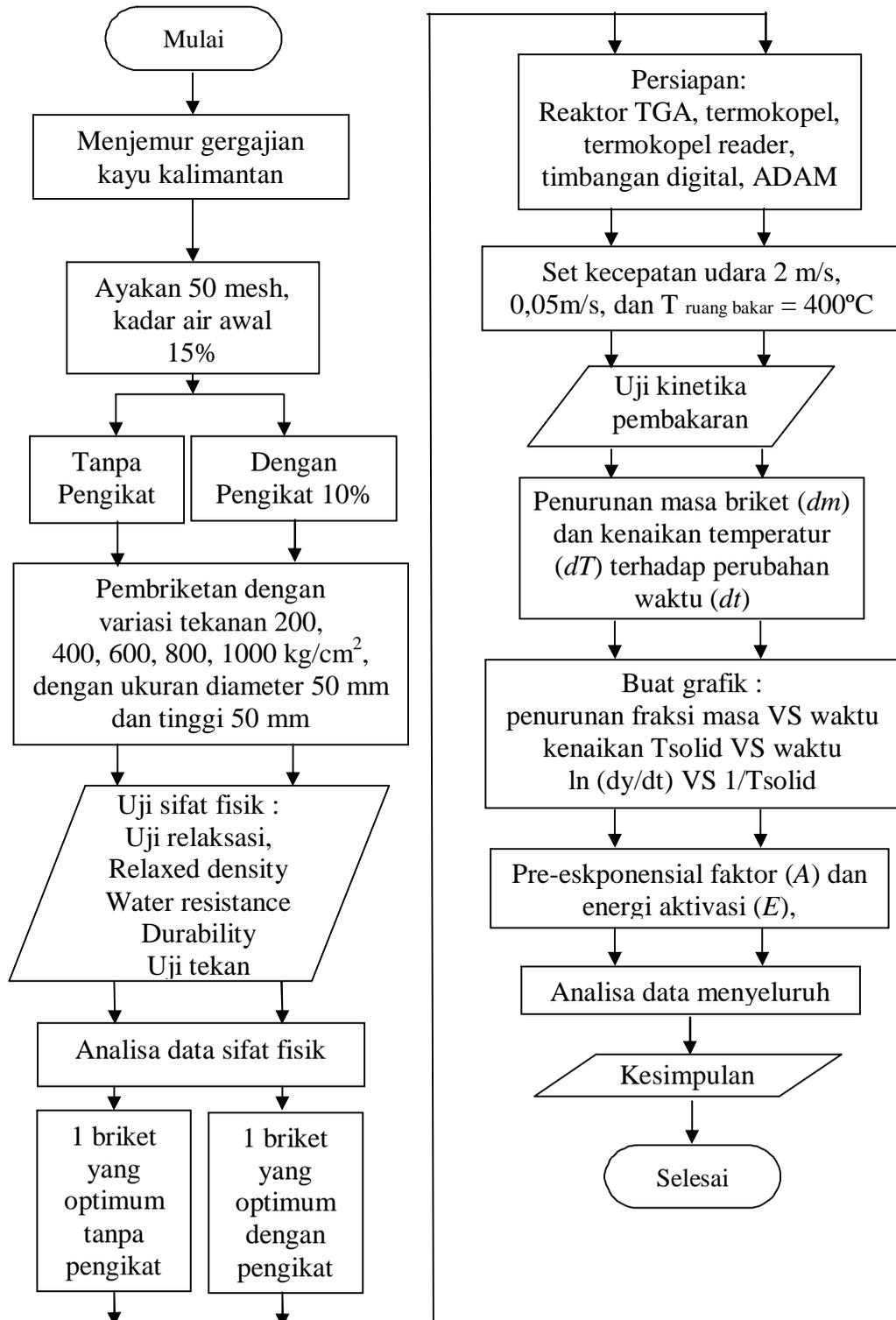
3.4.4 Tahap Uji Kinetika Reaksi

Tahap ini merupakan uji kinetika reaksi pembakaran pada briket biomasa. Pengujian ini dilakukan pada briket yang optimum dari hasil pengujian sifat fisik yang terdiri dari 1 briket yang optimum dengan menggunakan pengikat dan 1 briket yang optimum tanpa menggunakan pengikat dari variasi tekanan pembriketan 200, 400, 600, 800 dan 1000 kg/cm² . Pengujian ini dilakukan pada proses pembakaran dengan variasi udara masuk yaitu 2 m/s dan 0,05 m/s.

3.5 Metode Analisis Data

Berdasarkan data hasil pengujian, yaitu mencari briket yang optimum dari variasi tekanan masing – masing 1 briket dengan menggunakan pengikat dan tanpa menggunakan pengikat yang didapat melalui proses uji sifat fisik meliputi : *relaxed density, elongation density, durability, axial compressive strenght, water resistance*. Kemudian 2 briket yang optimum yang terdiri dari 1 briket optimum tanpa menggunakan pengikat dan 1 briket optimum dengan menggunakan pengikat akan diuji sifat kinetika pembakaran. Dari uji kinetika pembakarannya akan didapat data laju penurunan masa dan kenaikan temperatur terhadap pertambahan waktu. Kemudian dicari nilai – nilai faktor pre-eksponensial (A) dan energi aktivasi (E) dari masing – masing briket optimum tersebut.

3.6 Diagram alir penelitian



BAB IV

DATA DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dianalisis mengenai pengaruh variasi tekanan pembriketan terhadap karakteristik sifat fisik briket biomasa dan kinetika reaksinya.

4.1 Sifat Fisik

Sifat – sifat fisik yang diuji terhadap briket biomasa dengan dan tanpa menggunakan pengikat meliputi :

1. Pengujian densitas sesaat setelah dikeluarkan dari cetakan (*initial density*) dan densitas yang telah mengalami relaksasi selama 1 minggu (*relaxed density*) menurut standar internasional *ASE S269.4.DEC 96*.
2. Pengujian relaksasi briket biomasa menurut standar internasional *ASE S269.4.DEC 96* pada interval waktu 1 menit, 10 menit, 30 menit, 1 jam, 2 jam, 1 hari, 1 minggu.
3. Pengujian sifat ketahanan briket biomasa menurut standar internasional *ASAE S269.4.DEC 96*
4. Pengujian sifat kuat tekan briket biomasa (*axial compressive strenght*).
5. Pengujian sifat ketahanan briket biomasa terhadap air (*water resistant*).

4.1.1 Densitas awal dan densitas setelah relaksasi

Densitas merupakan salah satu parameter penting dimana tujuan utama dalam proses pembriketan adalah untuk meningkatkan densitas sehingga nilai kalor briket persatuan volume menjadi meningkat. Faktor – faktor yang mempengaruhi densitas suatu briket biomasa adalah densitas dari biomasa itu sendiri, tekanan pembriketan, waktu penekanan, temperatur pembriketan dan kelembaban tempat penyimpanan briket tersebut (Ndiema .C.K.W., dkk, 2001). Kestabilan relaksasi briket biomasa didapat setelah penyimpanan selama 1 minggu. Pengujian sifat relaksasi merujuk pada standar *ASAE S269.4 DEC 96* yakni menggunakan metode pengukuran langsung dengan alat jangka sorong (*caliper*). Data – data pengujian densitas awal diperoleh dari pengukuran massa, panjang dan diameter briket biomasa sesaat setelah keluar dan data densitas setelah mengalami relaksasi diambil setelah disimpan

selama 1 minggu karena dalam waktu 1 minggu relaksasi briket telah stabil (Chin O.C. dan Siddiqui K. M., 1999). Data pengukuran densitas awal dan densitas setelah relaksasi ditampilkan dalam tabel berikut.

Tabel 4.1. Data densitas awal dan setelah mengalami relaksasi selama 1 minggu dari briket biomasa tanpa menggunakan pengikat

Tekanan pembriketan (kg/cm ²)	Densitas awal (kg/m ³)	Densitas setelah relaksasi 1 minggu (kg/m ³)	Prosentase penurunan densitas (%)
200	610,46	525,74	14
400	706,45	610,40	14
600	810,60	700,65	14
800	855,73	743,68	13
1000	917,76	795,55	13

Dimana *bulk density* dari serbuk biomasa tanpa menggunakan pengikat adalah 324 kg/m³.

Tabel 4.2. Data densitas awal dan setelah mengalami relaksasi selama 1 minggu dari briket biomasa dengan menggunakan pengikat

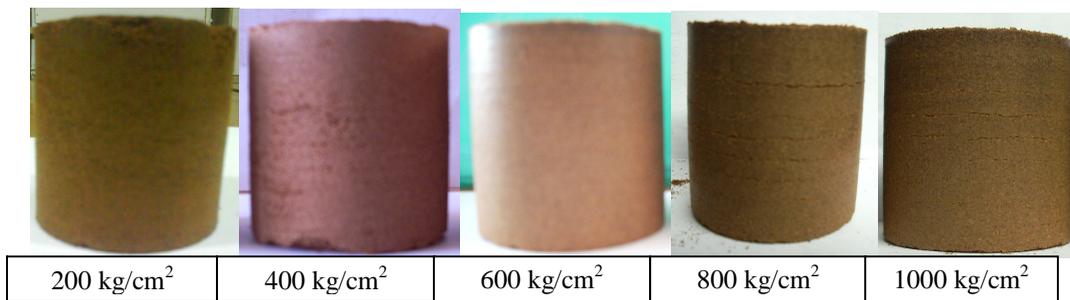
Tekanan pembriketan (kg/cm ²)	Densitas awal (kg/m ³)	Densitas setelah relaksasi 1 minggu (kg/m ³)	Prosentase penurunan densitas (%)
200	673,49	551,18	18
400	763,19	619,61	19
600	863,93	682,68	21
800	982,32	722,73	21
1000	1006,51	796,27	21

Dimana *bulk density* dari serbuk biomasa dengan menggunakan pengikat adalah 292 kg/m³.

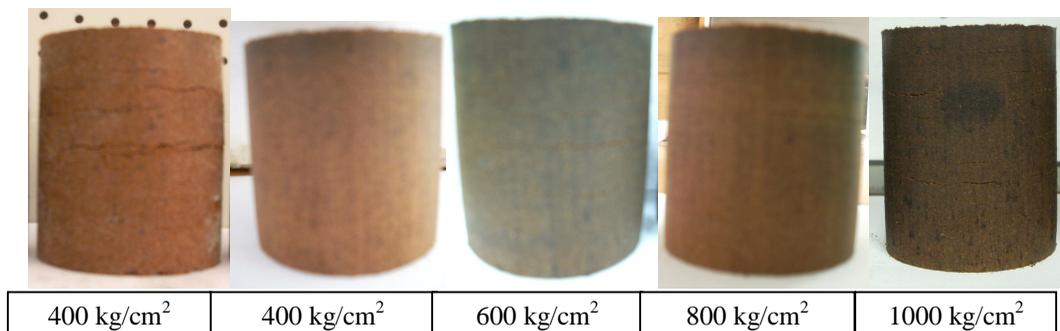
Dari kedua tabel di atas dapat dilihat bahwa, semakin besar tekanan pembriketan maka densitas dari briket biomasa juga semakin besar (Lindley dan Vossoughi, 1989). Hal ini terjadi karena fungsi dari penekanan terhadap biomasa adalah untuk memperkecil ruang kosong diantara partikel – partikel biomasa tersebut

(Ndiema, C.K.W., et al, 2001). Penambahan pengikat pada briket biomasa menyebabkan densitas briket biomasa tersebut bertambah, karena ketika diberi tekanan pembriketan pengikat tersebut akan menempati ruang – ruang kosong antar partikel.

Setelah mengalami relaksasi, densitas briket biomasa tiap variasi tekanan semakin berkurang. Hal ini terjadi karena dalam mengalami proses relaksasi, volume briket biomasa mengalami penambahan sedangkan massa dari briket tersebut tetap. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penurunan densitas briket biomasa tanpa menggunakan pengikat setelah relaksasi antara 13 – 14%. Penurunan densitas pada briket biomasa yang menggunakan pengikat cenderung lebih besar dibanding briket biomasa tanpa pengikat yaitu 18 – 21%, hal ini seperti penelitian yang dilakukan oleh Chin O.C. dan Siddiqui K. M. pada tahun 2000.



Gambar 4.1. Briket biomasa tanpa menggunakan pengikat tekanan pembriketan 200 kg/cm² sampai 1000 kg/cm² setelah relaksasi 1 minggu



Gambar 4.2. Briket biomasa dengan menggunakan pengikat tekanan pembriketan 200 kg/cm² (kiri) dan 1000 kg/cm² (kanan) setelah relaksasi 1 minggu