



UNIVERSITAS INDONESIA

**KINERJA PEMBAKARAN BIOBRIKET YANG TERBUAT
DARI BIOMASSA BAGASSE TEBU DAN BATUBARA
SUBBITUMINOUS DALAM KOMPOR BRIKET**

SKRIPSI

**GLIFANNY RAMADANI
0806333051**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**KINERJA PEMBAKARAN BIOBRIKET YANG TERBUAT DARI
BIOMASSA BAGASSE TEBU DAN BATUBARA SUBBITUMINOUS
DALAM KOMPOR BRIKET**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**GLIFANNY RAMADANI
0806333051**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Glifanny Ramadani

NPM : 0806333051

Tanda Tangan  :

Tanggal : 4 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Glifanny Ranadani
NPM : 0806333051
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Kinerja Pembakaran Biobriket ang Terbuat Dari Biomassa
Bagasse Tebu dan Batubara Subbituminous Dalam Kompor
Briket

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Dijan Supramono, M. Sc.



Penguji : Dr. Ir. Praswasti PDK Wulan, MT



Penguji : Dr. Ir. Asep H. Saputra, M. Eng.



Penguji : Dr. Ir. Nelson Saksono, MT.



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT berkat limpahan rahmat-Nya skripsi berjudul "Kinerja Pembakaran Biobriket yang Terbuat dari Biomassa Bagasse Tebu dan Batubara Subbituminous Dalam Kompor Briket" dapat selesai dengan baik dan tepat pada waktunya.

Penulis mendapatkan banyak bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak dalam mengatasi kendala selama proses penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat dan kasih sayang-Nya.
2. Bapak Ir. Dijan Supramono, M.Sc selaku dosen pembimbing dalam penelitian ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir.Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
4. Ibunda Ardian Naully yang senantiasa memberikan perhatian, motivasi, dukungan materil serta doa yang tiada henti untuk keberhasilan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Kedua kakak penulis, Anggini Dina Seviani, S.E dan Alfia Oktivalerina, S.E atas dukungan, bantuan dan semangat yang tiada henti.
6. Agustina Rahayu, atas kontribusi dan kerjasamanya selaku teman penelitian dalam menyelesaikan penelitian ini.
7. Kang Jajat, Mang Ijal, Mas Eko, dan Mas Taufik; karyawan teknik kimia yang sangat kontributif sehingga penelitian ini terselesaikan dengan baik.
8. Desy Christanti, Rahma Muthia, Mondya Purna, M. Ibnu Syafiq, sahabat penulis yang memberikan semangat ketika berjuang bersama menyelesaikan skripsi.
9. GE Foundation atas bantuan beasiswa dana pendidikan yang diberikan.

Penulis menyadari atas keterbatasan yang dimiliki oleh penulis sehingga dalam proposal ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif bagi penulisan yang lebih baik di masa mendatang.

Depok, Juli 2012

Glifanny Ramadani

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Glifanny Ramadani
NPM : 0806333051
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:

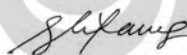
Kinerja Pembakaran Biobriket Yang Terbuat Dari Biomassa Bagasse Tebu dan Batubara Subbituminous dalam Kompor Briket

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 : Juli 2012

Yang menyatakan



(Glifanny Ramadani)

ABSTRAK

Nama : Glifanny Ramadani
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Kinerja Pembakaran Biobriket Yang Terbuat Dari Biomassa Bagasse Tebu dan Batubara Subbituminous dalam Kompor Briket

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kinerja pembakaran biobriket berbahan campuran biomassa bagasse tebu dan batubara subbituminous dengan variasi komposisi biomassa 100%, 75% dan 50%. Kecepatan superfisial aliran udara juga divariasikan sebesar 0,2 ; 0,3 dan 0,4 m/s. Hasil penelitian menunjukkan waktu ignisi tercepat (0,49 menit) dicapai pada pembakaran briket komposisi 75% Biomassa dengan kecepatan superfisial 0,4 m/s; emisi CO rata-rata terendah (161 ppm) pada pembakaran briket berkomposisi 50% biomassa pada 0,4 m/s dan efisiensi termal terbesar (0,376%) pada pembakaran briket dengan komposisi 50% biomassa.

Kata kunci : biobriket, biomassa bagasse tebu, batubara subbituminous, waktu ignisi, emisi CO, efisiensi termal

ABSTRACT

Name : Glifanny Ramadani
Study Program : Teknik Kimia
Title : Combustion Performance of Biobriquettes Made from Bagasse Sugar Cane and Subbituminous Coal in Briquette Stove

This research aimed to studying the performance of biobriquettes combustion made from mixture of bagasse sugar cane and subbituminous coal, with varying of biomass content of 100%,75% and 50%. The superficial velocity of air flow in the stove has also varied at 0,2 ; 0,3 and 0,4 m/s. The results showed the fastest of ignition time (0,49 minutes) was achieved by burning briquettes containing 75% operated at superficial velocity 0,4 m/s; the lowest average CO emissions (161 ppm) by burning briquettes containing 50% biomass at 0,4 m/s and the largest thermal efficiency (0,376%) by burning briquettes containing 50% biomass.

Keywords : biobriquettes, subbituminous coal, bagasse sugar cane, ignition time, CO emission, thermal efficiency

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	III
HALAMAN PENGESAHAN	IV
KATA PENGANTAR	V
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	VI
ABSTRAK	VII
ABSTRACT	VIII
DAFTAR ISI	IX
DAFTAR TABEL	XV
DAFTAR LAMPIRAN	XVI
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Biomassa	6
2.1.1 Biomassa di Indonesia	6
2.1.2 Biomassa Baggase Tebu (<i>Sugar Cane Bagasse</i>)	8
2.2 Batubara	9
2.2.1 Batubara di Indonesia	9
2.2.2 Batubara Subbituminous	10
2.3 Analisis Proximate Baggas Tebu dan Batubara Subbituminous	11
2.4 Biobriket	13
2.5 Karakteristik Pembakaran Biobriket	14
2.5.1 Waktu Ignisi Biobriket	14
2.5.1.1 Pellet Promotor	17
2.5.2 Emisi Biobriket	18
2.5.3 Efisiensi Termal	22

2.6 Mekanisme Pembakaran Bahan Bakar Padat	24
2.7 <i>State of The Arts</i> Biobriket	27
BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1 Alur Pikir Penelitian.....	30
3.2 Ekstraksi Data Penelitian.....	35
3.3 Diagram Alir Penelitian	37
3.4 Variabel dalam Penelitian	38
3.4.1 Variabel Bebas	38
3.4.2 Variabel Terikat	39
3.4.3 Variabel Terkontrol.....	39
3.5 Alat dan Bahan	39
3.6 Prosedur Penelitian	43
3.6.1 Perancangan Biobriket.....	43
3.6.2 Persiapan Awal Bahan Biomassa dan Batubara Subbituminous	43
3.6.2.1 Analisis Proximate Biomassa dan Batubara Subbituminous	43
3.6.2.2 Persiapan Biomassa	44
3.6.2.3 Persiapan Batubara Subbituminous	44
3.6.2.4 Persiapan Perekat	44
3.6.2.5 Preparasi Biobriket	44
3.6.2.6 Preparasi Pellet Promotor	44
3.6.3 Pengujian Biobriket.....	45
3.6.3.1 Pengujian Emisi CO	45
3.6.3.2 Pengujian Waktu Ignisi.....	45
3.6.3.3 Pengujian Efisiensi Termal	46
3.7 Analisis dan Evaluasi Hasil Penelitian.....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	50
4.1 Pembuatan Biobriket (Campuran Biomassa dan Batubara).....	50
4.1.1 Preparasi Baggase Tebu dan Batubara Subbituminous.....	50
4.1.2 Pembuatan Biobriket	52
4.2 Pembakaran Biobriket.....	53
4.2.1 Penyulutan Promotor	53
4.2.2 Pembakaran Biobriket	54

4.3 Hasil Uji Analisa Proximate	57
4.4 Hasil Pembakaran Biobriket.....	58
4.5 Uji Waktu Ignisi Pembakaran Biobriket.....	63
4.5.1 Temperatur Pembakaran Biobriket	63
4.5.2 Pengaruh Komposisi Biomassa Terhadap Waktu Ignisi Pada Setiap Variasi Kecepatan Superfisial	65
4.5.3 Pengaruh Kecepatan Superfisial Terhadap Waktu Ignisi Pada Setiap Variasi Komposisi Biomassa	72
4.6 Uji Emisi Pembakaran Biobriket.....	77
4.6.1 Pengaruh Komposisi Biomassa Terhadap Emisi CO Pada Setiap Variasi Kecepatan Superfisial	78
4.6.2 Pengaruh Kecepatan Superfisial Terhadap Emisi CO Pada Setiap Variasi Komposisi Biomassa	82
4.7 Uji Efisiensi Termal Pembakaran Biobriket.....	86
4.7.1 Hasil Perhitungan Efisiensi Termal	86
4.7.2 Pengaruh Komposisi Biomassa terhadap Efisiensi Termal.....	90
4.8 Rekomendasi Perpaduan Komposisi Biobriket dan Kecepatan Superficial Pembakaran.....	93
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	94
5.1 Kesimpulan.....	94
5.2 Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA	96
LAMPIRAN	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Produksi Tebu Di Indonesia Tahun 1996-2002	8
Gambar 2. 2 Grafik Hubungan Komposisi Binder Terhadap <i>Breaking Strength</i> Dari Briket.....	14
Gambar 2. 3 Deskripsi Penyalaan <i>Volatile Matter</i> Pada Permukaan Material Briket	15
Gambar 2. 4 Efek Kandungan Biomassa Terhadap Penurunan Waktu Ignisi Briket	16
Gambar 2. 5 Sketsa Kompor Briket Dengan Blower Dengan Blind Hood.....	21
Gambar 2. 6 Perbandingan Aliran Udara Yang Melewati Permukaan Briket Dengan Dan Tanpa <i>Dimples</i>	23
Gambar 3.1 Kompor Briket Batubara Dtk Dengan Blower	31
Gambar 3.2 Skema Penyusunan Biobriket Dan Biopellet Promotor Pada Kompor Biobriket Dengan Blower Pada Bagian Dasar Dan <i>Perforated Hood</i> Pada Bagian Atas Kompor.....	32
Gambar 3.3 (A) Dan (B) Mould (Pencetak) Briket ; (C) Alat Pengepres.....	33
Gambar 3. 4 Profil Temperatur Pembakaran Penentuan Waktu Ignisi.....	35
Gambar 3.5 Profil Emisi Co Pembakaran.....	36
Gambar 3. 6 Profil Temperatur Pemanasan Air Dalam <i>Water Boiling Pot</i>	36
Gambar 3. 7 Diagram Alir Penelitian.....	37
Gambar 3.8 (A) Mesin Crusher (B) Mesin Pencetak.....	41
Gambar 3.9 Kompor Briket Dtk Ui Dengan <i>Blower</i>	41
Gambar 3. 10 (A) Anemometer (B) <i>E-Instrument Gas Analyzer</i>	41
Gambar 3. 11 (A) Bunsen Pembakar Alkohol (B) <i>Mould</i> (Pencetak) Briket	42
Gambar 3. 12 (A) Baggase Tebu (B) Batubara Subbituminous (C) Larutan Kanji 15%	42
Gambar 3. 13 Skema Alat Dan Penyusunan Briket Dan Briket Promotor Yang Digunakan.....	43
Gambar 4.1 (A) Briket Campuran 50% : Biomassa 50% Batubara;	53
Gambar 4. 2 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 50% & Kecepatan Superfisial 0.2 M/S.....	58
Gambar 4.3 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 75% & Kecepatan Superfisial 0.2 M/S	58

Gambar 4.4 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 100% & Kecepatan Superfisial 0.2 M/S.....	59
Gambar 4.5 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 100% & Kecepatan Superfisial 0.3 M/S.....	59
Gambar 4.6 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 75% & Kecepatan Superfisial 0.3 M/S	59
Gambar 4.7 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 50% & Kecepatan Superfisial 0.3 M/S	60
Gambar 4.8 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 50% & Kecepatan Superfisial 0.4 M/S	60
Gambar 4 9 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 75% & Kecepatan Superfisial 0.4 M/S	60
Gambar 4.10 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 100% & Kecepatan Superfisial 0.4 M/S.....	61
Gambar 4.11 Pengaruh Komposisi Briket Terhadap Temperatur Ignisi	64
Gambar 4. 12 Waktu Ignisi Pada Variasi Komposisi Biomassa Baggase Tebu	66
Gambar 4. 13 (A) <i>Scanning Electron Micrograph</i> Dari <i>Bagasse</i> Mentah Yang Menunjukkan Banyak Pori Besar Pada Permukaan;(B) Hasil Sem Bagas Tebu	68
Gambar 4. 14 Waktu Ignisi Pada Kecepatan Superfisial 0.2 M/S Dengan.....	69
Gambar 4. 15 Waktu Ignisi Pada Kecepatan Superfisial 0.3 M/S.....	72
Gambar 4. 16 Waktu Ignisi Pada Kecepatan Superfisial 0.4 M/S.....	72
Gambar 4. 17 Resirkulasi Aliran Udara Pada Pembakaran Briket (Muliana, 2008)..	74
Gambar 4. 18 Waktu Ignisi Pada Variasi Kecepatan Superfisial (M/S).....	75
Gambar 4. 19 Waktu Ignisi Pada Komposisi Bagase Tebu 100%	76
Gambar 4. 20 Waktu Ignisi Pada Komposisi Bagase Tebu (75%).....	77
Gambar 4. 21 Waktu Ignisi Pada Komposisi Bagase Tebu (50%).....	77
Gambar 4. 22 Profil Emisi CO Pada Kecepatan Superfisial 0.2 M/S.....	79
Gambar 4. 23 Profil Emisi CO Pada Kecepatan Superfisial 0.3 M/S.....	80
Gambar 4. 24 Profil Emisi CO Pada Kecepatan Superfisial 0.4 M/S.....	81
Gambar 4. 25 Profil Emisi CO Pada Komposisi Biomassa 100%	83
Gambar 4. 26 Profil Emisi CO Pada Komposisi Biomassa 75%	84
Gambar 4. 27 Profil Emisi CO Pada Komposisi Biomassa 50%	84

Gambar 4. 28 Emisivitas Bahan Refraktori Pada Berbagai Suhu	88
Gambar 4. 29 Nilai Efisiensi Termal Pada Setiap Variasi	91
Gambar 4. 30 Nilai Efisiensi Termal Pada Setiap Kadar <i>Calorific Value</i> Dalam Briket	92



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sumber Biomasa Yang Berpotensi Diaplikasikan Sebagai Sumber Energi	7
Tabel 2. 2 Analisis Proximate Dan Ultimate Untuk Baggase Tebu Dan Batubara Sub- Bituminus	11
Tabel 2. 3 Analisis Proximate Untuk Baggase Tebu Dan Batubara Subbituminus ...	13
Tabel 2. 4 Emisi Dari Beberapa Sistem Dan Jenis Bahan Bakar	22
Tabel 2. 5 <i>State Of The Arts</i> Biobriket.....	28
Tabel 3.2 Variasi Komposisi Campuran Biomassa (Bagasse Tebu) Dan.....	38
Tabel 3. 3 Daftar Alat-Alat Yang Digunakan Dalam Penelitian.....	40
Tabel 4. 1 Kadar Moisture Content Batubara Subbituminous Dan Baggase Tebu	51
Tabel 4. 2 Hasil Analisa Proximat Biomassa Baggase Tebu Dan Batubara Subbituminous	57
Tabel 4. 3 Temperatur Ignisi Setiap Variasi Komposisi Biomassa Pada Briket.....	64
Tabel 4. 4 Resume Data Waktu Ignisi Pembakaran Briket Pada Variasi Komposisi Briket.....	65
Tabel 4. 5 Hasil Analisa Proximate Briket Pada Setiap Komposisi Briket	70
Tabel 4. 6 Resume Data Waktu Ignisi Pembakaran Briket Pada Variasi Kecepatan Superfisial.....	73
Tabel 4. 7 Resume Data Emisi CO Pembakaran Briket Pada Variasi Komposisi Briket.....	78
Tabel 4. 8 Resume Data Emisi CO Pembakaran Briket Pada Variasi Kecepatan Superfisial.....	82
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Nilai Kalor Pembakaran.....	85
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Efisiensi Termal Untuk Setiap Variasi Komposisi Biomassa.....	86
Tabel 4. 11 Rekomendasi Hasil Penelitian	93
Tabel 4. 12 Rekomendasi Komposisi Biobriket Terbaik.....	93

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A ANALISIS PROKSIMAT DAN KALORI.....	100
LAMPIRAN B PERHITUNGAN EFISIENSI TERMAL PADA SETIAP VARIASI KOMPOSISI BRIKET	101
LAMPIRAN C DATA REKAM TEMPERATUR PADA WATER BOILING TEST	118



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, peningkatan kebutuhan masyarakat akan energi khususnya bahan bakar minyak terus melesat naik. Sehubungan dengan hal tersebut, krisis bahan bakar minyak merupakan suatu fenomena yang sejatinya akan benar-benar terjadi dalam waktu cepat atau lambat. Data yang didapat dari Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral menunjukkan bahwa dengan persediaan minyak mentah di Indonesia, yaitu sekitar 9 milyar barrel, dan dengan laju produksi rata-rata 500 juta barrel per tahun, persediaan tersebut akan habis dalam 18 tahun. Oleh karena itu perlu adanya pengembangan yang nyata dan signifikan terhadap energi alternatif sebagai substituen bahan bakar fosil. Dengan peninjauan lebih lanjut, ditemukan fakta bahwa Indonesia memiliki potensi pengembangan batu bara yang sangat futuristik. Berdasarkan data, Indonesia memiliki sumber daya batubara sebesar 64,78 miliar ton. Dari jumlah tersebut, 60 persen di antaranya masih termasuk batubara muda dengan kualitas rendah sehingga tidak laku di pasar global, sehingga dapat diolah dan dipergunakan terutama untuk kebutuhan dalam negeri (Tanto, 2011).

Konsumsi terendah untuk batu bara sebesar 23.506 ton pada tahun 2004 dan tertinggi mencapai 38.302 ton pada tahun 1999. Pada sisi lain potensi konsumsi BBM yang dapat disubstitusi briket batubara untuk IKM dan rumah tangga sebesar 12,32 juta ton, dan jumlah optimisnya sebesar 1,3juta ton per tahun atau ekuivalen dengan 936.000 kilo liter minyak tanah per tahun. Kondisi pasar akan menentukan bagaimana prospek perbriketan batubara di Indonesia sebagai bahan alternatif substitusi minyak tanah khususnya, bersama-sama dengan energi alternatif lainnya seperti bahan bakar nabati (*biofuel*) dan LPG (Tim Kajian Batubara Nasional, 2006). Selain itu,

pengembangan briket batubara sebagai bahan bakar pengganti minyak tanah menjadi salah satu bentuk implementasi pengembangan batubara dalam rencana energi nasional tahun 2025 (Purwanto, 2006).

Karakteristik pembakaran yang dimiliki oleh batubara yakni waktu penyalaan yang lama dan emisi CO yang dihasilkan relatif besar karena dipengaruhi oleh tingginya kadar *fixed carbon* pada batubara sebesar 20-72% (Vassilev, Baxter et al. 2010) dan rendahnya *volatile matter* yang dimiliki oleh batubara sebesar 12-68% (Vassilev, Baxter et al. 2010). Kelemahan karakteristik pembakaran batubara tersebut dapat diminimalisir dengan penambahan biomassa yang tinggi akan kandungan *volatile matter* dan memiliki karakteristik pori-pori yang besar (Wilaipon, 2008). Bahan bakar hasil pencampuran komponen biomassa pada batubara yang telah dipadatkan (atau yang dikenal sebagai briket) disebut sebagai biobriket. Kandungan *volatile matter* pada biomassa yang berada pada interval 48-65% (Vassilev, Baxter et al. 2010) dapat berpengaruh pada penyingkatan waktu penyalaan dari biobriket. Selain itu juga, bentuk dari permukaan biomassa yang kasar juga dapat mempengaruhi penyingkatan waktu penyalaan biobriket. Waktu penyalaan dalam pembakaran biomassa yang relatif singkat ini akan mengurangi waktu dari proses terbentuknya asap pada pembakaran yang merupakan bentuk dari *volatile matter* yang tidak sempat terbakar. Kemudian penyingkatan waktu penyalaan ini juga dapat berpengaruh pada pengurangan emisi CO yang dihasilkan disebabkan karena adanya keterambatan penyalaan.

Penelitian mengenai karakteristik dari pembakaran biobriket ini dilanjutkan oleh Lu dan koleganya kembali (Lu, 2000) yang membuktikan bahwa pembakaran biobriket memiliki waktu penyalaan yang rendah, efisiensi pembakaran yang tinggi, efisiensi kalor yang tinggi, dan emisi partikulat yang lebih rendah dibanding briket batubara biasa. Terdapat beberapa penelitian mengenai biobriket yang telah banyak dikembangkan seperti pengujian pembakaran dan kontrol polutan (Lu, 2000), pengaruh binder terhadap ketahanan mekanis briket (Kim, 2002), serta pengujian temperatur ignisi dan *heating value* biobriket (Singh, 2009) yang semuanya

menggunakan tekanan tinggi dalam pembuatan briket tersebut, dimana dengan tekanan tinggi mengakibatkan biaya yang lebih tinggi dan kurang cocok diaplikasikan dalam kehidupan masyarakat sehari-hari. Harapan dari penelitian ini yakni dapat mengembangkan riset mengenai bahan bakar biobriket yang potensial untuk dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak, dalam skala kecil dan menengah.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah utama yang menjadi fokus dalam proses produksi bahan bakar biobriket adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh kinerja briket campuran biomassa Bagasse Tebu dengan batubara Subbituminous terhadap waktu ignisi berdasarkan peninjauan analisis hubungan antara temperatur vs. waktu.
2. Bagaimana pengaruh kinerja briket campuran biomassa Bagasse Tebu dengan batubara Subbituminous terhadap besarnya emisi berdasarkan peninjauan analisis hubungan antara CO vs waktu.
3. Bagaimana pengaruh kinerja briket campuran biomassa Bagasse Tebu dengan batubara Subbituminous dan permukaan briket terhadap efisiensi termal pembakaran briket pada kompor briket berdasarkan peninjauan analisis hubungan antara waktu pemanasan (t) dengan temperatur air dalam *Water Boiling Pot*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah ditentukan guna membatasi penelitian yang dilakukan setra pembahasan yang akan dibuat untuk memperoleh suatu kesimpulan yang konvergen berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan tersebut. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan batubara subbituminous sebagai bahan baku campuran biobriket dipilih karena batubara subbituminous merupakan salah satu jenis batubara yang komoditasnya melimpah dan mengandung sedikit air.
2. Penggunaan biomassa baggase tebu sebagai bahan baku campuran produksi biobriket dipilih berdasarkan komoditas baggase tebu

yang potensial untuk dikembangkan dan memiliki volatile matter tinggi yang dapat meminimalisir rendahnya kadar volatile matter dari batu yang menyebabkan waktu ignisi yang lambat dan emisi CO yang tinggi pada proses pembakarannya.

3. Percobaan dilakukan pada kompor yang dilengkapi *perforated hood* untuk memperpanjang *residence time*.
4. Briket pemasakan berupa bola dengan permukaan mengandung dimples (terdapat cekukan pada permukaan).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk meneliti kinerja bahan bakar biobriket campuran Baggase Tebu dan Batubara Subbituminous dalam kompor briket, dengan parameter berupa waktu ignisi, emisi CO dan efisiensi termal pada pembakaran biobriket, berdasarkan komposisi campuran biomasnya dan kecepatan superfisial udara.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Mengembangkan potensi sumber energi alternatif berupa biobriket
2. Melengkapi perbendaharan riset mengenai bahan bakar briket sehingga dapat diaplikasikan lebih lanjut sebagai bahan bakar.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan ini adalah.

BAB I PENDAHULUAN

Bab pendahuluan menjelaskan mengenai permasalahan yang terkait dengan urgensi dan manfaat dari dilaksanakannya penelitian ini. Fakta yang terungkap dan bentuk penelitian yang akan dilakukan kemudian dirumuskan dalam sebuah perumusan masalah dan untuk menghasilkan kesimpulan dan jawaban permasalahan yang konvergen maka dilakukan pembatasan masalah sesuai tinjauan variabel yang digunakan dalam penelitian. Diakhir bab pendahuluan ini akan disampaikan mengenai tujuan dan manfaat yang diperoleh dari penelitian ini

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka memuat teori sebagai landasan berpikir dalam melakukan penelitian dan analisis. Teori yang dijelaskan mencakup batubara, batubara Subbituminous, biomassa, biomassa Baggase Tebu, biobriket dan karakteristik pembakaran yang akan dicapai, yakni Waktu Ignisi, Emisi Co dan Efisiensi Termal.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab metode penelitian mencakup diagram alir penelitian, alat dan bahan penelitian, prosedur penelitian, dan metode yang digunakan untuk menganalisis produk biobriket. Metode penelitian disusun secara sistematis untuk mendukung implementasi pelaksanaan dari tahapan penelitian yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian sesuai dengan yang diharapkan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biomassa

Biomassa didefinisikan sebagai suatu produk reaksi fotosintetik dari karbon dioksida dengan air, yang terdiri atas karbon, oksigen, dan hidrogen, yang terdapat dalam bentuk polimerik makroskopik kompleks. Jenis-jenis biomassa antara lain Selulosa $(C_6H_{10}O_5)_x$, Lignin $(C_9H_{10}O_3(CH_3O)_{0.9-1.7})_z$ dan hemiselulosa $(C_5H_8O_4)_y$. Biomassa dapat digunakan secara langsung (misalnya, membakar kayu untuk pemanas/memanaskan dan memasak) atau secara tidak langsung mengkonversikannya menjadi bahan bakar gas/cair. Energi bersih yang didapat dari biomassa ketika dibakar berkisar antara 8 MJ/kg untuk *green wood*, 20 MJ/kg untuk bahan tumbuhan kering, hingga 55 MJ/kg untuk metana; sebagai bahan perbandingan yaitu 23-30 MJ/kg untuk batubara (Twidell, 1998). Sumber energi penduduk pada rural area hampir seluruhnya bergantung pada bahan bakar solid, seperti biomassa dan batubara dibandingkan dengan penggunaan LPG dan LNG pada urban area. Namun, pembakaran biomassa sendiri masih terdapat kekurangan karena tingginya *moisture content* pada biomassa, menyebabkan panas pembakaran terlebih dahulu terkonsentrasi pada *moisture content* sehingga menyebabkan pembakaran yang terjadi tidak stabil dan *heating value* pembakaran biomassa rendah.

2.1.1 Biomassa di Indonesia

Indonesia kaya akan material biomassa yang berasal dari berbagai sumber daya alam hayati yang tersebar pada berbagai daerah. Indonesia diprediksi telah menghasilkan 146.7 juta ton biomassa per tahun, setara

dengan 470 GJ/ tahun. Adapun berbagai jenis material serta kapasitas hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

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

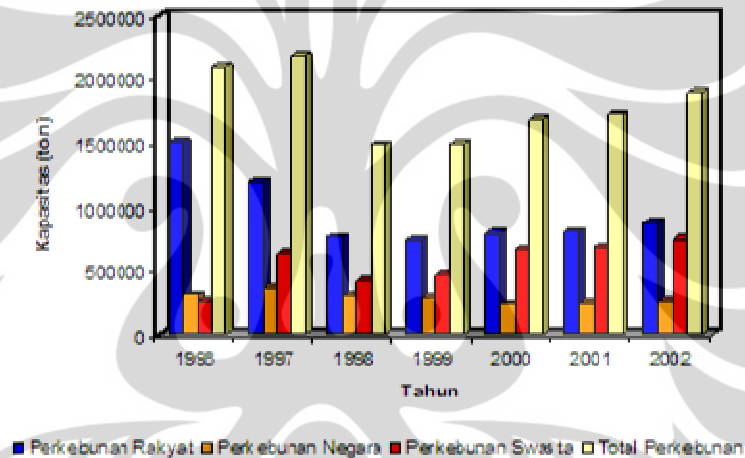
Sumber Biomasa	Limbah	Rasio Limbah (%)	Jumlah Limbah (Juta ton/Tahun)	LHV (MJ/kg)	Potensi Energi Panas (Juta GJ/ Tahun)	Crude Oil Equivalent (10^6 toe/ Tahun)
Tebu	Bagasse Tebu	32	8,5	18,1	78,00	1,87
	Daun dan Pucuk Tebu	30	1,3	15,81	20,55	0,49
Kelapa Sawit	TKKS	27	12,9	8,16	105,26	2,53
	Serat	15	6,7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

Salah satunya dapat terlihat bahwa jumlah limbah baggase tebu yang dihasilkan relatif besar sehingga sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan komoditas pencampuran biobriket. Hal ini merupakan salah satu alasan penggunaan baggase tebu sebagai bahan pencampuran biobriket karena baggase tebu juga unggul dalam hal komoditas di Indonesia sehingga sangat potensial untuk dikembangkan, dan alasan lainnya karena kadar volatile matter baggas tebu yang tinggi sehingga dapat mempercepat waktu penyalaan dan mengurangi emisi CO yang dihasilkan pada proses pembakaran. Hal ini

secara lebih luas akan dijelaskan pada bagian Analisis Proximate pada Bab Tinjauan Pustaka.

2.1.2 Biomassa Baggase Tebu (*Sugar Cane Bagasse*)

Tebu dapat dikatakan sebagai salah satu jenis tanaman yang hanya dapat ditanam pada daerah yang memiliki iklim tropis, termasuk daerah – daerah di Indonesia seperti Medan, Lampung, Semarang, Solo dan Makassar yang secara keseluruhan menempati areal seluas 232 hektar. Dari seluruh perkebunan tebu yang tersebar di Indonesia, 50 % diantaranya adalah perkebunan rakyat, 30 % perkebunan swasta dan 20 % merupakan perkebunan Negara (Witono 2005) .



Gambar 2. 1 Produksi Tebu di Indonesia tahun 1996-2002 (Witono 2005)

Pada tahun 2002, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1, produksi tebu di Indonesia mencapai ± 2 juta ton. Tebu yang dihasilkan perkebunan tebu kemudian diolah menjadi gula melalui berbagai proses pada pabrik gula. Dalam proses produksi di pabrik gula, ampas tebu dihasilkan sebesar 90% dari setiap tebu yang di proses, gula yang dimanfaatkan hanya 5% dan sisanya berupa tetes tebu (molase). Selama ini pemanfaatan baggase tebu masih terbatas untuk makanan ternak, bahan baku pembuatan pupuk, pulp, particle board, dan untuk bahan bakar boiler di pabrik gula (Witono 2005). Oleh karena itu, dengan pemanfaatan baggase tebu sebagai campuran

biobriket diharapkan dapat menambah nilai guna dari komoditas baggase tebu dan menghasilkan produk dengan nilai jual yang lebih tinggi dan juga dapat diaplikasikan sebagai alternatif bahan bakar.

2.2 Batubara

Batubara merupakan salah satu bahan bakar fosil yang dapat terbakar dan terbentuk dari endapan organik yang tertimbun selama ratusan tahun. Batubara terdiri dari unsur-unsur utamanya antara lain karbon, hidrogen dan oksigen dan batu bara juga merupakan batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Karakteristik pembakaran dari batubara memiliki kekurangan antara lain tingginya kadar CO dalam pembakaran batubara sehingga kekurangan ini dapat diminimalisir dengan penambahan biomass membentuk suatu bahan bakar biobriket.

2.2.1 Batubara di Indonesia

Batubara memegang peranan yang cukup penting sebagai komoditas bahan bakar padat yang dimanfaatkan sebagai sumber energi penggerak di industri besar, kecil maupun menengah. Indonesia memiliki cadangan batubara yang cukup besar, yaitu sebesar 6,759 juta ton (Purwanto et.al 2006). Cadangan tersebut sebagian besar terdapat di Sumatera Selatan (39,64%), Kalimantan Timur (30,65%) dan Kalimantan Selatan (27,64%). Sebagian besar cadangan batubara mengandung batubara yang berkalori rendah atau batubara jenis lignit (bernilai kalori kurang dari 5100 kal/gram) sebanyak 43,88% dari total cadangan dan bernilai kalori medium atau berjenis sub-bituminus (5100 – 6100 kal/gram) sebanyak 36,10% (Purwanto et.al 2006). Di tahun 2005, dari 149,67 juta ton batubara yang diproduksi, sebanyak 36,80 juta ton digunakan di dalam negeri dan hampir 1 juta ton diantaranya digunakan untuk briket batubara yang banyak digunakan sebagai bahan bakar padat di industri kecil dan rumah tangga.

2.2.2 Batubara Subbituminous

Batubara yang dominan terdapat di Indonesia antara lain batubara jenis lignit (43.88%) dan batubara jenis sub-bituminus (18.19%). Jenis batubara ini memiliki kandungan *volatile matter* yang rendah dan masih memiliki kandungan air sehingga penggunaannya pada briket secara mandiri dapat menimbulkan masalah seperti waktu ignisi yang lama dan emisi CO yang tinggi (DESDM, 2005). Pemilihan batubara yang akan dijadikan sebagai campuran biomassa dipengaruhi oleh beberapa aspek terkait dengan analisis proximate yang dimiliki oleh batubara tersebut antara lain :

- ❖ *Volatile Matter*, yang dapat mempercepat waktu ignisi apabila *volatile matter* yang dimiliki oleh batubara tersebut tinggi, karena mempermudah pencapaian waktu ignisi.
- ❖ *Fixed Carbon*, yang dapat mempengaruhi *heating value* dari pembakaran biobriket tersebut. Apabila *fixed carbon* yang dimiliki semakin besar, maka semakin besar pula nilai *heating value* yang dimiliki batubara tersebut.
- ❖ *Moisture Content*, yang dapat mempengaruhi lambatnya waktu ignisi pada pembakaran karena apabila *moisture content* yang dimiliki batubara semakin besar, maka panas pembakaran yang ada akan terlebih dahulu menguapkan *moisture content* tersebut sehingga akan memperlambat waktu pembakaran.

Berikut ini adalah tabel yang mencantumkan kadar *volatile matter*, *fixed carbon* dan *moisture content* yang dimiliki oleh batubara subbituminous dan lignite.

Tabel 2. 2 Analisis Proximate dan Ultimate untuk Baggase Tebu dan Batubara Sub-bituminus
(Vasilev,2009)

Type of Coal	Proximate Analysis (am)					Ultimate Analysis					
	Volatile Matter	Fixed Carbon	Moisture Content	Ash	Sum	C	O	H	N	S	Sum
<i>Lignite</i>	32.8	25.7	10.5	31	100	64	23.7	5.5	1	5.8	100
<i>Sub-bituminous Coal</i>	33.4	34.1	8.2	24.3	100	74.4	17.7	5.6	1.4	0.9	100

Berdasarkan Tabel 2.2, dapat diprediksi bahwa penggunaan batubara subbituminus lebih cocok sebagai komposisi campuran dalam pembuatan biobriket, karena kadar *volatile maternya* yang lebih tinggi, *fixed carbon* yang lebih tinggi dan *moisture content* lebih rendah dibandingkan batubara lignite. Oleh karena itu, pencampuran batubara subbituminous dengan biomassa diharapkan akan menghasilkan biobriket yang mempunyai karakteristik pembakaran dengan waktu ignisi yang rendah (cepat).

2.3 Analisis Proximate Baggas Tebu dan Batubara Subbituminous

Untuk memilih jenis biomass dan batubara yang digunakan yang akan digunakan, perlu dipertimbangkan beberapa spesifikasi dan karakteristik sehingga pemilihan bahan sesuai dapat dengan kebutuhan. Adanya perbedaan sifat dan karakteristik yang terdapat pada bahan bakar biomass akan mempengaruhi kualitas pembakaran biomass itu sendiri. Sifat dan karakteristik yang paling penting terkait meliputi kandungan air, kandungan abu, kandungan zat volatil. Sedangkan kandungan kimia dari bahan biomassa dan batubara tersebut juga penting untuk diperhatikan seperti karbon, hidrogen, oksigem, sulfur. Analisis Proximate terdiri dari persen berat fixed carbon, bahan mudah menguap, abu dan moisture content dalam biomassa, seperti yang tertera pada contoh analisa proximate untuk bagas tebu dan batubara subbituminous di Tabel 2.3.

A. *Fixed Carbon*

Kandungan utama yang terdapat dalam *fixed carbon* adalah karbon, hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen yang tidak terbawa gas. Kandungan *fixed karbon* juga dapat memperkirakan nilai panas biomassa yang mempengaruhi kualitas biomassa.

B. Kandungan Zat Volatil (*Volatile Matter*)

Zat Volatil atau bahan yang mudah menguap merupakan indeks dari kandungan bahan bakar bentuk gas. Kandungan zat volatil ini akan mempengaruhi peningkatan panjang nyala api dimana dengan bertambahnya kandungan zat volatil maka akan semakin meningkatkan waktu penyalaan (waktu ignisi semakin cepat). *Volatile matter* yang biasanya terdapat dalam biomassa antara lain hidrokarbon ringan, CO, CO₂, H₂, dan *tar* (Stanislav V. Vasilev 2009). Zat Volatil dapat membantu mempersingkat waktu untuk mencapai temperatur pembakaran, berkaitan dengan karakteristiknya yang mudah terbakar (Supramono, 2009). Proses penyingkatan waktu ini terjadi karena pada saat pembakaran *volatile matter* akan membentuk efek awan zat volatil yang dapat memberikan panas radiasi pada material briket. Panas radiasi yang dihasilkan berfungsi sebagai tahap awal penyalaan material karbon biobriket dan akan mempersingkat waktu pembakaran (Supramono, 2009).

C. Kadar Abu

Kandungan abu pada biomassa dipengaruhi pada tipe tanaman dan kontaminasi tanah tempat tanaman tumbuh. Kadar abu pada biomassa berpengaruh terhadap tempertur pembakaran, karena konduktivitas termal dari kadar abu yang lebih besar dari konduktivitas termal *fixed carbon* sehingga panas pembakaran akan lebih banyak terserap oleh abu.

D. Kandungan Air

Kandungan air berpengaruh pada peningkatan kehilangan panas (*heatloss*) karena penguapan dan pemanasan berlebihan dari uap, membantu

peningkatan partikel halus pada tingkatan tertentu, dan membantu radiasi tranfer panas

Tabel 2. 3 Analisis Proximate untuk Baggase Tebu dan Batubara Subbituminus (Vasilev 2009)

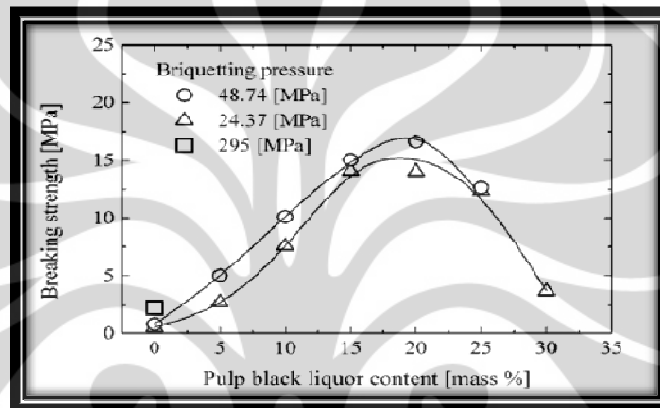
	Volatile Matter (%)	Fixed Carbon (%)	Moisture Content (%)	Ash Yield (%)
Sugar Cane Baggase	76.6	11.1	10.4	1.9
Sub-bituminous Coal	33.4	34.1	8.2	24.3

2.4 Biobriket

Coal-Biomass Briquette Technique (yang kemudian ditunjukkan sebagai Biobriket) telah dipelajari sebagai salah satu teknologi batubara bersih yang digunakan untuk megurangi emisi CO dan mempersingkat waktu ignisi (Wang et al.1999, Sakamoto et al. 2000, Gao et al. 2001). Biobriket merupakan merupakan bahan bakar berbentuk briket dengan campuran biomassa (jerami, sekam padi, limbah pertanian) dan batubara. Komposisi biobriket ini dikembangkan dengan persen campuran biomassa hingga 50%. Selain itu, pengembangan biobriket ini bisa juga dilakukan dengan menambahkan material perekat (binder) untuk menjaga ketahanan bentuk briket. Pengembangan biobriket juga dipilih karena pembuatan bahan bakar dalam bentuk biobriket merupakan alternatif paling baik apabila dibandingkan dengan pembuatan biopellet dalam skala rumah tangga, karena pembuatan biopellet memiliki kesulitan yang lebih besar yakni dalam hal pembuatannya yang membutuhkan tekanan tinggi, dibandingkan dengan pembuatan biobriket.

Dalam proses pembuatan biobriket dicampurkan binder sebagai perekat material biomassa dan batubara. Binder berperan dalam karakteristik fisik dari biobriket seperti pada sensitivitas dan kelembapan, ketahanan terhadap kerapuhan (solid), kandungan mineral biobriket serta faktor ekonomi seperti

harga jual dari biobriket (Jean, 2006). Binder yang biasa digunakan adalah kanji, NaOH dan Pulp. Pada penelitian ini digunakan perekat kanji sebagai bahan campuran biobriket. Dengan adanya campuran binder, maka akan meningkatkan ketahanan biobriket terhadap kerapuhan, namun berdasarkan salah satu penelitian menyatakan bahwa hubungan antara penambahan binder dengan *breaking strength* dari briket terjadi secara linear seperti tergambar pada grafik berikut :



Gambar 2.2 Grafik hubungan komposisi binder terhadap breaking strength dari briket (Kim,2002)

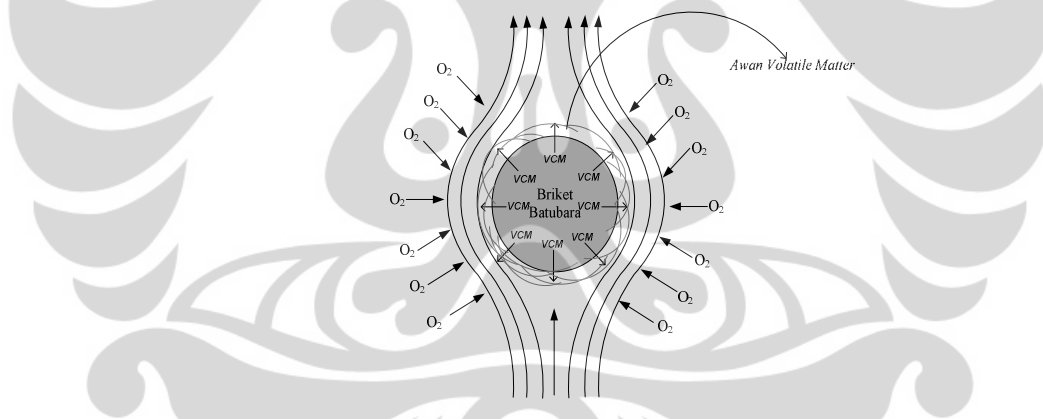
Berdasarkan Gambar 2.2, data optimum terdapat pada komposisi 20% briket, dan setelah melebihi 20% akan berdampak buruk dengan menurunnya tingkat *breaking strength* dari briket.

2.5 Karakteristik Pembakaran Biobriket

2.5.1 Waktu Ignisi Biobriket

Waktu ignisi merupakan salah satu faktor penting yang perlu diperhatikan dalam pembuatan biobriket. Terjadinya penyalaan (ignisi) dapat dilihat sebagai tercapainya beberapa kondisi yakni : banyaknya energi dari sumber ignisi cukup tinggi untuk mengatasi hambatan energi aktivasi; (2) laju panas yang terbentuk melebihi laju panas yang hilang; (3) durasi nyala atau sumber ignisi lainnya cukup lama untuk mengawali perambatan nyala (*flame propagation*) (Chigier, 1981 hal. 102). Nyala api yang terjadi oleh reaksi oksidasi *volatile matter* pada permukaan briket tidak cukup memberi panas

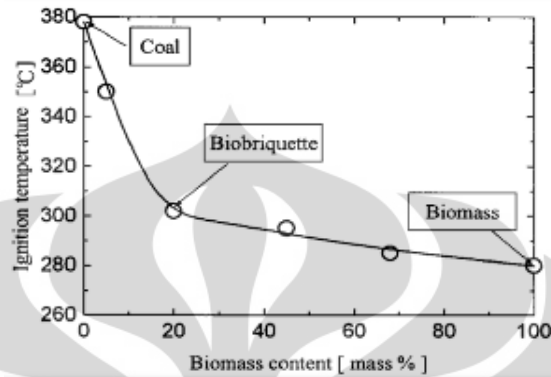
kepada material briket untuk memulai penyalaan dalam pengertian memulai reaksi oksidasi material karbon briket. Di samping itu pelepasan *volatile matter* menghalangi penetrasi udara ke permukaan briket (Lau, 1992) dengan penggambaran secara deskriptif terlihat pada Gambar 2.3. Oleh karena itu penyalaan karbon material briket terjadi setelah *volatile matter* habis terlepas dari permukaan briket di mana halangan terhadap difusi oksigen ke permukaan briket sudah tidak ada lagi padahal terbakarnya *volatile matter* mempunyai potensi memberikan panas radiasi kepada material briket. Setelah semua zat volatil terbakar, oksigen mulai dapat berdifusi secara eksternal, yang nantinya akan teradsorpsi untuk kemudian bereaksi pada permukaan partikel batubara. Selanjutnya akan terjadi proses transfer panas secara konduksi ke bagian dalam briket. Reaksi pembakaran yang terjadi antara oksigen dengan karbon ini adalah awal proses penyalaan batubara yang didefinisikan sebagai terbakarnya karbon 1%.



Gambar 2. 3 Deskripsi penyalaan *volatile matter* pada permukaan material briket (Supramono, 2009)

Dengan pencampuran material biomassa dan batubara, maka material biomassa akan membuat waktu ignisi briket batubara biasa menjadi lebih singkat (Mahayothin dkk, 2007). Hal ini disebabkan bagian material biomassanya memerlukan suhu ignisi yang lebih rendah dibanding bagian batubara pada briket sehingga dapat dipastikan kualitas pembakaran zat-zat volatil dari briket dapat ditingkatkan (Lu, 2000). Kemudian dapat dinyatakan

bahwa teknik briket biobriket dapat menurunkan waktu penyalaan dan nilai bakarnya sekaligus dibanding briket batubara murni (Wilaipon, 2008).



Gambar 2. 4 Efek kandungan biomassa terhadap penurunan waktu ignisi briket (Lu, 2000)

Berdasarkan Gambar 2.4 di atas terlihat bahwa biomassa memiliki peran yang signifikan dalam temperatur ignisi biobriket. Temperatur ignisi biobriket menurun dengan cepatnya dengan penambahan biomassa di bawah 20% massa. Kemudian, temperatur ignisi biobriket semakin mendekati temperatur ignisi biomassa ketika penambahan biomassa melebihi 20% massa. Fenomena ini terjadi karena biomassa memiliki kandungan *volatile matters* yang lebih banyak sehingga mempercepat proses penyalaan biobriket yang tentunya lebih rendah dari briket batubara. *Volatile matters* dapat membantu mempersingkat waktu untuk mencapai temperatur pembakaran, berkaitan dengan karakteristiknya yang mudah terbakar (Supramono, 2009). Proses penyingkatan waktu ini terjadi karena pada saat pembakaran volatile matter akan membentuk efek awan zat volatil yang dapat memberikan panas radiasi pada material briket. Panas radiasi yang dihasilkan berfungsi sebagai tahap awal penyalaan material karbon biobriket dan akan mempersingkat waktu pembakaran (Supramono, 2009).

Waktu ignisi pembakaran biobriket juga dipengaruhi ukuran pori dari biomassa, dimana semakin besar ukuran pori dari biomassa akan mempengaruhi peningkatan efek turbulensi saat aliran udara melewatinya. Efek turbulensi tersebut akan meningkatkan kemampuan konveksi panas pada saat proses devolatilisasi *volatile matter* dan perpindahan panas akan

terjadi secara lebih merata. Faktor pengontrol dari waktu penyalaan lainnya adalah : kadar air (karena semakin tinggi kadar air dalam bahan bakar dapat menyebabkan temperatur pembakaran menurun), ukuran dan bentuk bahan bakar, ketersediaan udara. Kemudian, hal lain yang berpengaruh terhadap waktu ignisi dari pembakaran biobriket adalah adanya pellet promotor yang digunakan dan akan diuraikan pada pembahasan dibawah ini.

2.5.1.1 Pellet Promotor

Penelitian pembakaran briket batubara untuk mempersingkat waktu penyalaan telah dilakukan dengan memanfaatkan briket promotor bentuk bola yang berfungsi sebagai penyedia oksigen secara internal dalam material briket karena ketidak-cukupan oksigen saat briket promotor mengalami *devolatalisasi* dan sebagai penguat terjadinya perpindahan panas konveksi dari bara api pada briket promotor ke briket pemasakan yang diletakkan di sekitarnya karena menambahkan cekungan-cekungan pada permukaan briket promotor berbentuk bola guna mengubah boundary layer menjadi turbulen yang akan meningkatkan perpindahan kalor secara konveksi (Supramono, 2009). Penggunaan promotor ini tidak hanya dapat diaplikasikan dalam bentuk briket (dengan bahan baku batubara, biomassa atau campuran keduanya), namun juga dapat diaplikasikan dalam bentuk pellet dengan bahan baku promotor berupa biomassa. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, penggunaan pellet promotor dengan bahan baku biomassa terbukti dapat meningkatkan waktu penyalaan pada pembakaran briket (Tanto, 2011). Pellet promotor akan dipanaskan diluar kompor hingga membentuk bara pada permukaannya, setelah itu pellet promotor ditempatkan di dalam kompor. Di dalam kompor, awan *volatile matter* promotor yang telah terbentuk akan memberikan panas pembakaran awal pada briket pemasakan hingga awan *volatile matter* tersebut habis dan dilanjutkan dengan pembakaran antara karbon dengan oksigen yang terkandung dalam oksigenat dalam pellet promotor tersebut. Dengan menggunakan promotor dalam bentuk pellet, waktu nyala yang dibutuhkan dapat dipercepat secara signifikan karena memiliki porositas yang lebih besar dan bara api yang lebih luas setelah penyulutan. Pellet kayu karet

membutuhkan waktu 1.67 menit untuk menyala pada pellet itu sendiri sedangkan pellet serabut kelapa membutuhkan 2.1 menit (Tanto, 2011).

2.5.2 Emisi Biobriket

Emisi Biobriket juga dipertimbangkan sebagai hal penting yang perlu diperhatikan dalam penggunaan bahan bakar biobriket. Emisi yang dapat dihasilkan dari pembakaran biomassa dalam kompor, yang dapat menyebabkan polusi udara antara lain adalah: karbon monoksida, partikulat, sulfur oksida, nitrogen oksida, dan hidrokarbon. Emisi CO berasal dari reaksi tak sempurna yang terjadi antara hidrokarbon dan karbon yang terkandung dalam briket. Untuk memperoleh reaksi yang sempurna menuju pembentukan CO₂, harus memenuhi tiga syarat utama pembakaran (Makino, 1992), yakni :

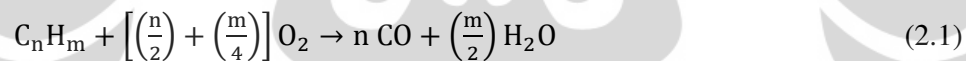
1. Kecukupan waktu tinggal reaksi (*residence time*) untuk reaksi CO ke CO₂
2. Kecukupan oksigen untuk menyempurnakan reaksi oksidasi
3. Temperatur reaksi yang cukup tinggi untuk memperbesar kinetika reaksi oksidasi.

Pembakaran material karbon mengalami beberapa proses yang berbeda yang berlangsung secara berurutan seiring dengan kenaikan temperatur material karbon:

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

briket karena terjadinya awan *volatile matter*. Terbentuknya nyala api oleh *volatile matter* menghalangi penetrasi udara ke permukaan briket. Proses selanjutnya adalah proses pencampuran gas-gas yang terbentuk dari hasil pemanasan dan devolatilisasi dengan oksigen internal bertermperatur tinggi yang terjadi di permukaan batubara untuk melakukan proses pembakaran *volatile matters* yang menghasilkan panas untuk menaikkan temperatur batubara. Difusi oksigen eksternal yang berpenetrasi setelah zat *volatile* terbakar mengawali proses penyalaan, kemudian oksigen teradsorpsi dan bereaksi pada permukaan briket. Selanjutnya terjadi proses transfer panas secara konduksi dari permukaan ke bagian dalam briket.

3. *Char* yang terbentuk bereaksi dengan udara setelah material *volatile* terlepas dari permukaan briket sehingga terbentuk gas CO dan CO₂. Proses pembakaran dari briket pada prinsipnya melibatkan reaksi simultan dari oksigen (udara) dan hidrokarbon yang terkandung dalam zat *volatile* dan reaksi oksigen dengan karbon batubara. Dalam reaksi yang melibatkan zat *volatile*, gas CO dihasilkan menurut reaksi berikut (Thurgood & Smoot, 1979):



Atau

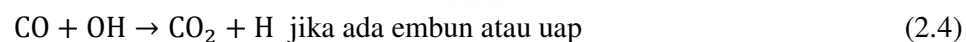


Reaksi kelanjutan ialah reaksi oksidasi CO, menurut reaksi :



(Makino, 1992)

Atau



(Lau & Niksa, 1992)

Reaksi (2.3) dan (2.4) adalah reaksi pengendali karena laju reaksi reaksi tersebut lebih lambat daripada reaksi (2.1) dan (2.2) kecuali reaksi (2.3) terjadi pada temperatur yang sangat tinggi. Penghilangan CO tergantung dari laju reaksi

dari reaksi (2.3) dan (2.4) dan kondisi yang menunjang terjadinya reaksi tersebut. Reaksi ini memerlukan kondisi yang kaya oksigen untuk meningkatkan konversi menjadi CO₂ (Beck & Hayhurst, 1990).

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



dan reaksi dalam fasa gas:

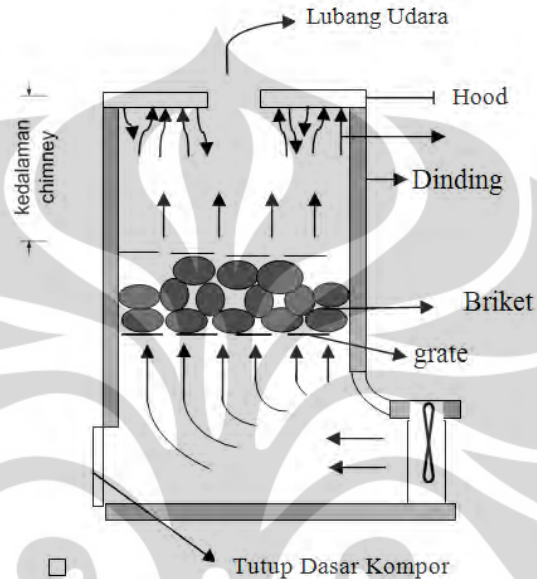


CO merupakan produk utama dari reaksi oksidasi karbon, dan CO kemudian teroksidasi dalam fasa gas saat meninggalkan permukaan briket batubara (Ayling & Smith, 1972). Laju reaksi untuk reaksi C – O₂ memiliki orde yang lebih tinggi daripada reaksi C – CO₂ atau CO – O₂ (Walker, Rusinko, & Austin, 1959). Untuk terciptanya reaksi lanjutan yaitu reaksi (2.3) maka diperlukan waktu tinggal yang cukup lama dalam medium pembakaran, sehingga CO yang dihasilkan dari (2.1) dapat teroksidasi lagi oleh O₂ yang berlebih. Reaksi lanjutan tersebut bisa mengkonversi CO menjadi CO₂.

Emisi CO berasal dari reaksi oksidasi tak sempurna hidrokarbon dan karbon yang terkandung dalam briket. Untuk memperoleh reaksi yang sempurna menuju pembentukan CO₂, tiga syarat harus dipenuhi, yaitu kecukupan waktu tinggal reaksi untuk reaksi CO ke CO₂, kecukupan oksigen untuk menyempurnakan reaksi oksidasi, dan temperatur reaksi yang cukup tinggi untuk memperbesar kinetika reaksi oksidasi (Makino, 1992). Temperatur yang rendah tidak menguntungkan untuk konversi CO ke CO₂ yang membutuhkan temperatur yang tinggi.

Untuk mengimbangi kondisi yang tidak menguntungkan ini, briket batubara harus memenuhi persyaratan pertama yaitu tersedianya waktu tinggal yang lebih lama untuk meningkatkan konversi dari CO ke CO₂ karena konversi dari CO menjadi CO₂ terjadi dengan lambat. Salah satu cara yang dapat dilakukan meningkatkan waktu tinggal dapat dilakukan dengan menciptakan resirkulasi udara pada daerah *chimney* dengan menggunakan *hood* sebagai penahan laju alir udara keluar kompor yang diharapkan dapat mengurangi

pembentukan emisi CO (Supramono, 2008). Gas hasil pembakaran akan mengurangi kecepatan udara sehingga menyebabkan residence time akan lebih lama dan sirkulasi hanya terjadi di sejumlah kecil ruang sehingga tidak banyak pengaruhnya terhadap pengurangan CO.



Gambar 2. 5 Sketsa Kompor Briket dengan Blower dengan Blind Hood (Sumarni, 2009)

Hal lain yang mungkin dilakukan adalah memenuhi persyaratan kedua yaitu kecukupan oksigen yang kontak dengan hidrokarbon yang tak teroksidasi sempurna dan CO untuk bereaksi membentuk CO_2 . Sebaliknya, udara yang berlebihan akan menyerap panas pembakaran (efek *quenching*) dan menyulitkan terbentuknya temperatur yang tinggi untuk konversi dari CO ke CO_2 sehingga reaksi oksidasi terjadi secara parsial. Produk dari reaksi oksidasi parsial adalah senyawa-senyawa beroksigen seperti $-\text{CH}_2\text{O}$, $-\text{CHO}$ and CO gas (Walker, Rusinko, & Austin, 1959). Dengan demikian, agar emisi gas CO dan hidrokarbon bisa diperkecil, di semua zona pengontakan briket dan udara dalam medium pembakar briket dan zona pencampuran fluida, waktu pengontakan di fasa gas cukup panjang, konsentrasi udara cukup dan temperatur di fasa gas terjaga tinggi.

Tabel 2. 4 Emisi dari beberapa sistem dan jenis bahan bakar (Smith, 1987)

<i>Sistem/Bahan Bakar</i>	<i>Estimasi Efisiensi Termal</i>	<i>Partikulat *</i>	<i>SOx*</i>	<i>NOx*</i>	<i>Hidrokarbon *</i>	<i>COx *</i>
<i>Cooking Stoves</i>						
Kayu	15	9	0,6	0,7	7,5	80
Batubara (Indian)	20	1,2	6	7	7	83

*gram polutan/kg bahan bakar

Berdasarkan Tabel 2.4 terlihat bahwa material biomassa dan batubara memiliki perbedaan yang cukup signifikan dalam hal emisi COx yang dihasilkan. Artinya, ketika batubara dipadukan dengan biomassa dalam bentuk biobriket maka harapannya emisi yang terpapar tidak sebanyak ketika menggunakan briket batubara murni.

2.5.3 Efisiensi Termal

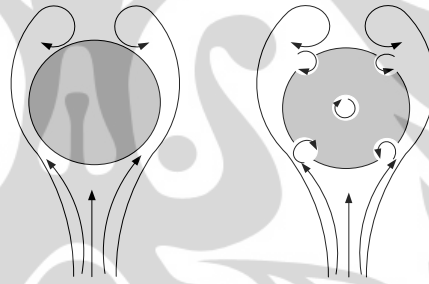
Efisiensi Termal didefinisikan sebagai perbandingan nilai kalor yang dimanfaatkan dengan nilai kalor yang dihasilkan oleh briket batubara (dalam percobaan ini adalah nilai kalor yang dihasilkan oleh biobriket). Pada penelitian ini, perhitungan untuk besar efisiensi termal didefinisikan sebagai berikut :

$$\% \text{ Efisiensi Termal } (\eta) = \frac{Q \text{ yang terserap oleh air di dalam panci}}{Q \text{ netto bahan bakar}}$$

Untuk dapat memperoleh kualitas pembakaran yang baik, maka biobriket ini harus memiliki nilai efisiensi termal yang tinggi, sehingga waktu pemanasan yang dibutuhkan dapat dipercepat dan panas yang dihasilkan lebih merata. Efisiensi termal dipengaruhi oleh adanya proses perpindahan panas secara konveksi yang terjadi antara gas hasil pembakaran dan dasar *boiling pot* yang diletakkan di atas kompor briket. Sedangkan proses perpindahan panas secara konveksi tersebut sangat dipengaruhi oleh kecepatan superfisial dari blower yang diletakkan pada bagian bawah kompor briket. Semakin tinggi kecepatan superfisial maka akan mempercepat terbentuknya aliran udara turbulen yang dapat mempercepat terjadinya proses perpindahan panas

secara konveksi (pada kompor aliran turbulen mungkin tak terbentuk karena kecepatan udaranya rendah). Maka dari itu, perlu ditentukan kecepatan superficial yang paling optimum yang dapat menghasilkan efisiensi termal tinggi dari proses pembakaran biobriket.

Dengan adanya campuran biomassa nilai bakar briket turun. Untuk dapat menyeimbangkan hal ini, maka harus dilakukan penambahan kenaikan panas konveksi yang menuju dasar pot yang akan menerima panas. Cara yang dapat dilakukan antara lain dengan membuat cekukan-cekukan (*dimples*) pada permukaan biobriket. Dimples dapat membuat aliran udara yang akan menuju biobriket mengalami resirkulasi, sehingga waktu tinggal/kontak untuk bereaksi dengan zat-zat volatile dan permukaan pada batubara lebih lama dan reaksi pembakaran menjadi lebih cepat sehingga perpindahan panas konveksi dan radiasi ke dinding boiling pot sekitarnya dapat lebih cepat. (Tanto, 2011), seperti diilustrasikan pada Gambar 2.6



Gambar 2. 6 Perbandingan Aliran Udara yang Melewati Permukaan Briket dengan dan tanpa *Dimples* (Tanto, 2011)

Namun adanya penambahan cekukan (*dimples*) pada briket tidak sepenuhnya akan mempengaruhi kenaikan efisiensi termal kompor secara signifikan. Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap efisiensi termal adalah variasi kecepatan superficial udara yang berpengaruh apabila *Reynold Number* (Re) aliran udara yang melewati masing-masing briket bernilai lebih dari 200 karena adanya pengaruh *Vortex Shedding* (Turbulensi). Efisiensi termal juga dipengaruhi oleh besar *moisture content* dalam biobriket tersebut, karena semakin besar kandungan *moisture content* maka akan mempengaruhi terhadap penurunan temperature pembakaran dan juga laju transfer panas pembakaran yang terbentuk.

Namun secara garis besar, efisiensi termal sangat erat kaitannya dengan nilai kalor yang dikandung oleh bahan bakar. Pada batubara dengan nilai kalor yang tinggi, maka akan semakin banyak panas yang disuplai dari bahan bakar, sedangkan biomassa memiliki karakteristik nilai kalor yang rendah, sehingga hal tersebut berpengaruh terhadap rendahnya jumlah panas yang disuplai pada pembakaran. Pada bahan bakar berupa biobriket yang memadukan batubara dan biomassa, tingginya nilai kalor sesuai dengan komposisi batubara dan biomassa pada briket tersebut. Jika kandungan batubara dalam biobriket tersebut lebih besar, maka nilai kalor yang dimiliki lebih besar, dan sebaliknya jika kandungan biomassa dalam biobriket lebih besar maka nilai kalor yang dimiliki oleh biobriket tersebut cenderung semakin menurun. Hal ini yang kemudian akan mempengaruhi jumlah panas yang disuplai pada pembakaran yang selanjutnya dapat mempengaruhi besar efisiensi termal pembakaran biobriket tersebut.

Efisiensi termal juga erat kaitannya dengan desain kompor yang digunakan. Efisiensi dapat dikatakan sebagai acuan kinerja kompor briket karena secara keseluruhan kinerja kompor hanya dapat ditinjau berdasarkan nilai efisiensi termal, yakni efisiensi tungku akan meningkat bila persentase panas yang dipindahkan meningkat (UNEP, 2006). Berikut ini adalah faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja kompor, yang secara tidak langsung juga akan mempengaruhi besar efisiensi termal dari hasil pembakaran biobriket :

1. Rasio tinggi terhadap diameter/lebar ruang bakar
2. Ketebalan unggun bahan bakar
3. Sistem kisi (grate)
4. Ukuran alat memasak atau bejana
5. Bahan Konstruksi
6. Konfigurasi Kisi (grate)
7. Lubang masukan udara primer

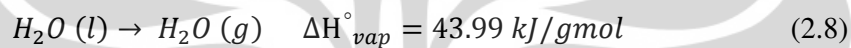
2.6 Mekanisme Pembakaran Bahan Bakar Padat

Pembakaran material karbon pada bahan bakar padat, seperti batubara dan biomassa, mengalami beberapa proses yang berbeda yang berlangsung secara

berurutan seiring dengan kenaikan temperatur material karbon (Smoot, 1991 dan Chigier, 1981 hal. 63-66):

1. Pengeringan

Pada tahap ini dilakukan pengeringan pada biomasa sehingga air yang terkandung dalam biomasa akan keluar dan membentuk uap air. Lamanya tahap ini tergantung pada tingkat kandungan air dalam batubara atau biomasa. Semakin tinggi kandungan air yang terdapat di dalam biomasa, maka akan semakin lama pula waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeringan ini. Reaksi yang terjadi pada proses pengeringan adalah sebagai berikut (Bell, 2011):



2. Devolatilisasi:

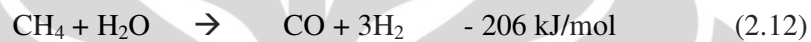
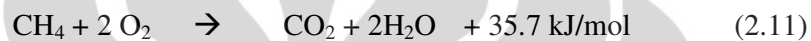
Proses ini terjadi pada batubara yang dipanaskan pada lingkungan inert. Devolatilisasi dapat diawali dengan induksi atau *ignition delay time*. Devolatilisasi hampir bersamaan dengan lepasnya gas dan *volatile matters* (material yang mudah menguap) termasuk tar dari permukaan dan pori-pori partikel material karbon sehingga terbentuk *char* (arang). Partikel yang ada menjadi lebih lunak dan bersifat plastik.

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

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

3. Pembakaran Zat Volatil

Bahan bakar padat mengandung komponen penyusun yang sangat kompleks dimana zat-zat volatil yang ada di dalamnya berbeda untuk tiap jenis batubara atau biomassanya. Berikut ini merupakan reaksi pembakaran sederhana dari zat volatil yang kerap terjadi pada proses pembakaran bahan bakar padat.



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

4. Pembakaran Char

Char merupakan bahan residu yang kaya akan karbon namun miskin akan oksigen dan hidrogen. *Char* masih mengandung N dan S dan beberapa kandungan mineral lainnya. Partikelnya terkadang memiliki patahan dan lubang yang disebabkan oleh hilangnya gas dan *volatile matter* serta terdapat kemungkinan ukurannya membesar dari sebelumnya. *Char* memiliki porositas yang tinggi (~0.7) dan luas permukaan spesifik yang tinggi juga (~100 m²/g). Sifat yang dimiliki *char* dipengaruhi oleh proses pirolisis yang terjadi sebelumnya.

Dalam pembakaran *char*, terjadi reaksi heterogen antara *char* dan oksigen yang terjadi pada *gas-solid interface*. Produk utama dari reaksi permukaan ini berupa CO. CO nantinya bereaksi dalam fasa gas untuk membentuk CO₂ (sangat eksotermis). Tahap ini relatif lebih lama dibanding devolatilisasi. Proses reaksi yang terjadi diawali dengan difusi spesi pengoksidasi ke permukaan partikel dan selanjutnya ke dalam struktur pori internal. Ini diikuti dengan *chemisorption* reaktan gas ke permukaan internal dan eksternal. Setelah reaksi terjadi pada permukaan partikel, gas produksi

reaksi yang terbentuk harus didesorpsi dan didifusikan keluar dari permukaan.

Laju pembakaran char awalnya tergantung dari suhu yang ditransfer oleh radiasi, konveksi, dan konduksi dari lingkungan sekitar. Setelah itu, laju reaksi akan lebih tergantung pada kondisi suhu setempat yang ditentukan dari reaksi karbon-oksigen pada permukaan dan juga laju difusi O_2 . Reaktivitas char juga bergantung pada jenis batubaranya, suhu, tekanan, dan karakteristik char (ukuran, luas permukaan, dan lain-lain), dan konsentrasi O_2 .

2.7 State of The Arts Biobriket

Sejak tahun 1996 telah dilakukan banyak penelitian yang berkaitan dengan bahan bakar Biobriket dengan berbagai variasi yang diinvestigasi. Bahan biomass yang digunakan pun beragam sehingga dapat dilakukan perbandingan antara variasi bahan biomass yang digunakan megacu pada criteria biobriket yang memiliki waktu nyala tinggi, emisi CO rendah dan efisiensi termal yang tinggi.

Tabel 2. 5 *State of The Arts* Biobriket

Pembanding	Tekanan/	Variabel yang Diinvestigasi	Penggunaan Binder	Bahan yang Digunakan
Peneliti	Teknologi			
Watanabe, 1996	Tinggi/	Emisi, karakteristik pembakaran, dan ketahanan mekanis	Tidak Ada	Serbuk gergaji
	<i>High roller pressure</i>			Batubara Nanton asal China
Lu, 2000	Tinggi	Temperatur ignisi, emisipartikel, <i>Self Desulfurization</i>	Tidak Ada	Serbuk Gergaji
	<i>High roller pressure</i>			Batubara Berperingkat Rendah
Kim, 2002	Sedang-Tinggi	Pengaruh binder terhadap ketahanan mekanis dan karakteristik pembakaran	Pulp Black Liquor	Serbuk Gergaji
	<i>Roller press</i>			Batubara Berperingkat Rendah
Jean, 2006	Tinggi	Karakteristik pembakaran (<i>ignition time, burning rate, dan viability test</i>)	Kanji dan Tanah Liat	Kayu
	<i>Rotor Press dan Carbonization</i>			Charcoal
Singh, 2009	Tinggi	Temperatur ignisi, Desulfurization, dan Calorific Value	Tidak Ada	Crofton weed, Eupatorium adenophorum
	<i>Roller press</i>			Indian Coal
Ramadani, 2012	Rendah	Waktu Ignisi, Emisi CO dan Efisiensi Termal	Kanji	Bagasse Tebu
	Besi pengepres (mould)			Batubara Sub-Bituminuos

Kelebihan dari penelitian ini dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya adalah pembuatan biobriket dilakukan pada tekanan rendah, dan penelitian ini juga dapat meningkatkan nilai guna dari bagasse tebu karena digunakan sebagai campuran bahan bakar. Selain itu, belum adanya penelitian yang mengobservasi mengenai kinerja dari biobriket ampas tebu berdasarkan komposisi campuran biomassa dan batubaranya dan juga berdasarkan kecepatan superficial yang mempengaruhi proses pembakarannya.

Berdasarkan penjelasan pada bab Tinjauan Pustaka ini, dijelaskan bahwa penggunaan bahan bakar biobriket memadukan antara kelebihan dan kekurangan yang dimiliki oleh batubara subbituminous dan bagasse tebu guna mencapai karakteristik pembakaran yang optimum. Kelemahan dari pembakaran batubara

subbituminous disebabkan karena rendahnya kandungan *volatile matters* yang menyebabkan lambatnya waktu ignisi dan banyaknya emisi CO yang terbentuk sedangkan kelebihan dari batubara ditinjau dari kandungan *fixed carbon*nya yang dapat meningkatkan *heating value* dari pembakaran batubara dan komoditas cadangan bahan bakar batubara yang melimpah di Indonesia. Sedangkan kelemahan dari pembakaran biomassa adalah tingginya kadar *moisture content* yang mengakibatkan pembakaran biomassa menjadi tidak stabil akibat panas dari pembakaran terlebih dahulu terkonsentrasi untuk pemanasan *moisture content* yang dimiliki oleh biomassa tersebut, serta rendahnya kandungan *fixed carbon* dalam biomassa yang mempengaruhi nilai kalor dan memperkecil suplai panas dari bahan bakar pada pembakaran. Jumlah panas yang diterima pada pembakaran juga dipengaruhi oleh peristiwa transfer panas secara konveksi sehingga permukaan biobriket akan dicetak dengan cekungan (*dimples*) yang akan memberikan efek turbulensi dan meningkatkan perpindahan panas secara konveksi yang akan meningkatkan efisiensi termal dibandingkan dengan biobriket dengan permukaan halus.

Hipotesis yang akan diberikan oleh penulis adalah dengan adanya pencampuran antara biomassa baggase tebu dan batubara subbituminous membentuk sebuah biobriket yang permukaannya akan dicetak dengan permukaan cekung (*dimples*) maka akan meningkatkan efek turbulensi pada aliran gas hasil pembakaran sehingga terjadi proses perpindahan panas secara konveksi yang lebih besar menuju *Water Boiling Pot* yang artinya efisiensi pembakaran juga akan meningkat. Selain itu, besar *volatile matter* yang dikandung oleh biomassa bagasse tebu akan mempecepat waktu ignisi dna juga akan menurunkan emisi CO. Dengan meningkatnya efisiensi termal, cepatnya waktu ignisi serta rendahnya emisi CO maka diharapkan bahan bakar biobriket ini dapat menjadi bahan bakar berkualitas tinggi untuk dimanfaatkan oleh masyarakat sehari-hari. khususnya sebagai bahan bakar pemasakan skala rumah tangga maupun industri kecil dan menengah.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Pikir Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan kajian dan observasi mengenai tiga karakteristik pembakaran biobriket yakni waktu ignisi, emisi CO dan efisiensi termal yang akan dilakukan pada kompor briket dengan *perforated hood*. Penelitian ini lebih diarahkan dengan menggunakan kompor briket dibandingkan dengan *furnace* salah satunya karena pembakaran biobriket menggunakan kompor dapat memperlihatkan secara lebih kompleks mengenai pengaruh aspek mekanika fluida pada proses pembakaran tersebut yang antara lain dipengaruhi oleh kecepatan superficial pembakaran dan komposisi campuran pada biobriket. Pembakaran menggunakan kompor memungkinkan terjadinya interaksi antar biobriket dan interaksi biobriket dengan promotornya, sehingga proses pembakaran yang terjadi dapat menjadi lebih efisien. Selain itu, penelitian ini menggunakan kompor sebagai media pembakaran biobriket agar dapat lebih aplikatif untuk diterapkan pada kehidupan masyarakat sehari-hari sehingga dapat menggunakan bahan bakar biobriket pada kompor briket untuk proses pemasakan skala rumah tangga maupun industri kecil dan menengah.

Kompor yang akan digunakan adalah kompor dengan *perforated hood*, yang telah digunakan sebagai media penelitian pada Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia (Gambar 3.1) dengan tinggi *chimney* sebesar 5 cm, karena menurut penelitian sebelumnya (Sari, 2008), tinggi *chimney* sebesar 5 cm menyebabkan *back pressure* yang rendah dan kecepatan suplai udara yang tinggi pada kompor, sehingga *ignition time* lebih cepat.

Sejatinya pada percobaan ini, akan terjadi pengurangan emisi CO dan percepatan waktu ignisi karena pengaruh volatile matters pada biomassa, namun pengaruh hood pada kompor briket juga sedikit banyak akan mempengaruhi hal tersebut. Akan tetapi, peninjauan karakteristik hasil pembakaran akan lebih dikaitkan dengan karakteristik campuran biomassa dan briket walaupun tetap

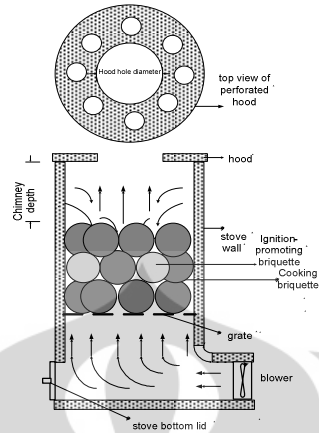
mempertimbangkan pengaruh digunakannya perforated hood kompor briket tersebut.

Kompor dengan perforated hood ini akan memperpanjang residence time dan meningkatkan temperatur briket pada ruang pembakaran, sehingga dapat meminimalisir pembentukan CO pada produk pembakaran. Kompor ini juga memiliki blower pada bagian bawah kompor yang dapat divariasikan kecepatannya. Blower tersebut dapat memungkinkan terjadinya *forced updraft* untuk menjamin kecukupan udara ketika pembakaran terjadi dan memperbesar transfer panas secara konveksi. Berikut ini adalah gambar kompor yang akan digunakan pada penelitian ini:



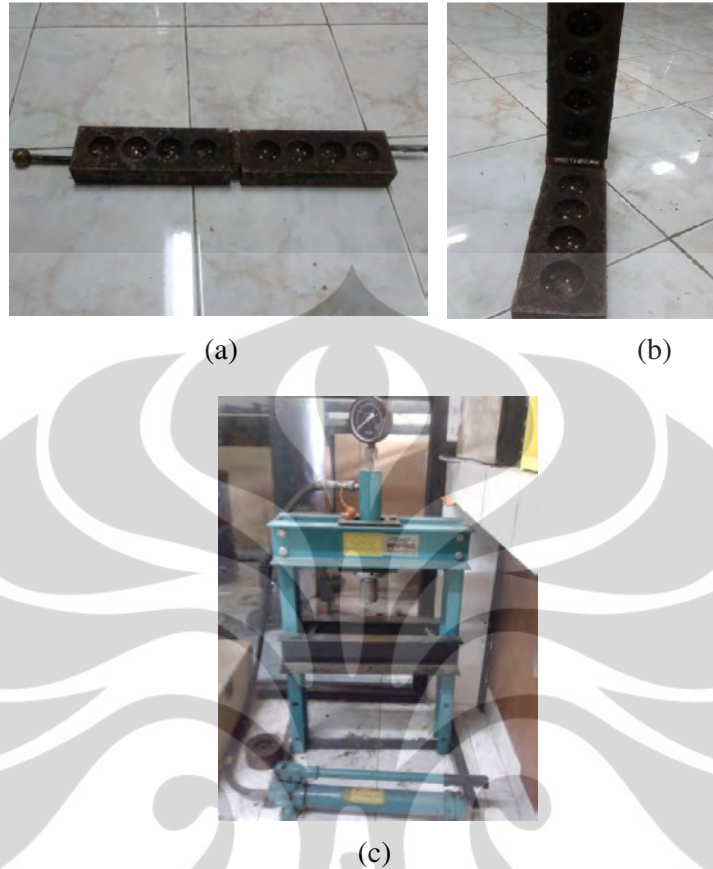
Gambar 3.1 Kompor briket batubara DTK dengan blower (Tanto, 2011)

Dalam kompor briket, biobriket dan biopellet promotor disusun dengan formasi susunan promotor diletakan pada layer ke dua, dan biobriket pemasakkan diletakan pada layer pertama serta layer ketiga (Gambar 7). Tujuan dari formasi peletakan ini adalah agar panas penyalaan dari promoter dapat berpindah secara konveksi dan konduksi menuju biobriket yang berada di sekelilingnya. Untuk mengobservasi kinerja pembakaran biobriket ampas tebu, tiga karakteristik pembakaran yang akan ditinjau antara lain adalah Waktu Ignisi, yang akan diuji menggunakan kawat termokopel yang tersambung dengan data logger; Emisi CO yang akan diuji dengan CO analyzer ; dan Efisiensi Termal yang akan dilakukan menggunakan pemanasan air menggunakan Water Boiling Pot untuk menghitung besar panas yang terbuang dan panas yang diterima oleh air.



Gambar 3.2 Skema penyusunan biobriket dan biopellet promotor pada kompor biobriket dengan blower pada bagian dasar dan *perforated hood* pada bagian atas kompor (Supramono, 2010)

Sedangkan sebagai bahan baku briket digunakan campuran biomassa baggase tebu dengan batubara Subbituminous, dengan berbagai variasi komposisi yakni : Briket 100 % biomassa; Briket 75% Biomassa dan 25% Batubara; serta Briket 50% Biomassa dan 50% Batubara. Adanya pencampuran penggunaan biomassa dan batubara antara lain untuk memanfaatkan keunggulan karakteristik kedua bahan baku tersebut, yakni dimana penambahan biomassa bertujuan untuk mempercepat waktu penyalaan (*Ignition Time*) dan mengurangi Emisi CO dari pembakaran biobriket yang disebabkan oleh adanya kandungan volatile matter yang tinggi serta diameter pori-pori yang lebih besar (Singh dkk, 2009). Sementara keunggulan dari batubara yakni nilai *Heating Value* yang tinggi (Baxter, 2010) sehingga dapat mempengaruhi proses perpindahan panas yang berhubungan dengan performa pembakaran itu sendiri. Setelah melalui proses preparasi bahan, yakni pencacahan biomassa dan penghalusan batubara sub-bituminous hingga mencapai ukuran ± 20 mesh, kemudian dilakukan pencampuran kedua bahan baku pembuatan briket tersebut sesuai dengan variasi komposisi yang digunakan (Briket 100 % biomassa; Briket 75% Biomassa dan 25% Batubara; serta Briket 50% Biomassa dan 50% Batubara) dengan larutan kanji 15% dengan massa yang seragam untuk setiap briketnya, yakni 40 gram. Kemudian campuran briket tersebut dicetak dengan menggunakan cetakan briket dengan diameter 4 cm, dan kemudian ditekan menggunakan alat pengepres.



Gambar 3.3 (a) dan (b) Mould (Pencetak) Briket ; (c) Alat Pengepres

Briket yang dibuat berjumlah 30 buah untuk sekali pembakaran, sehingga akan diperoleh berat total briket pemasakan kurang lebih 1,2 kg (@40 gram untuk setiap briket). Kemudian briket-briket yang telah dicetak dikeringkan dibawah sinar matahari kurang lebih selama 7 hari untuk mengurangi kandungan air yang ada di dalam briket, karena tingginya *moisture content* dari briket akan mempengaruhi lamanya waktu penyalaan pada pembakaran.

Pada proses pembakaran briket, digunakan Pellet Promotor yang terbuat dari biomassa sebagai promotor sekaligus sumber panas pada tahap awal proses pembakan dimulai. Pellet promotor akan dipanaskan diluar kompor hingga membentuk bara pada permukaannya, setelah itu pellet promotor ditempatkan di dalam kompor. Di dalam kompor, awan volatile matter promoter yang telah terbentuk akan memberikan panas pembakaran awal pada briket pemasakan hingga awan volatile matter tersebut habis dan dilanjutkan dengan pembakaran

antara karbon dengan oksigen yang terkandung dalam oksigenat dalam pellet promotor tersebut. Dengan menggunakan promotor dalam bentuk pellet, waktu nyala yang dibutuhkan dapat dipercepat secara signifikan karena memiliki porositas yang lebih besar dan bara api yang lebih luas setelah penyulutan (Tanto, 2011). Pellet promotor yang digunakan terbuat dari bahan baku berupa biomassa Baggase Tebu, dengan proses pembuatan pellet promotor tersebut dilakukan di Balai Mekanisasi Pertanian, Serpong. Tahapan pembuatan pellet promotor ini antara lain dengan terlebih dulu mereduksi ukuran biomassa menggunakan mesin crusher, kemudian serbuk biomassa dicampurkan dengan sedikit perekat dan dimasukkan ke dalam alat pencetak dan selanjutnya di tekan dengan menggunakan alat pengepres. Pellet yang dicetak memiliki dimensi panjang 3 cm dan diameter 2 cm. Jumlah pellet promotor yang digunakan pada setiap pembakaran briket antara lain 17 buah, yang dihitung sesuai dengan persamaan luas permukaan antara pellet promotor dengan briket promotor apabila menggunakan briket promotor dalam pembakaran sebanyak 4 buah (Tanto, 2011). Dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Jumlah Briket} \times \text{Luas Briket Promotor} = \text{Jumlah Pellet} \times \text{Luas Pellet Promotor}$$

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

$$n \approx 17 \text{ Pellet}$$

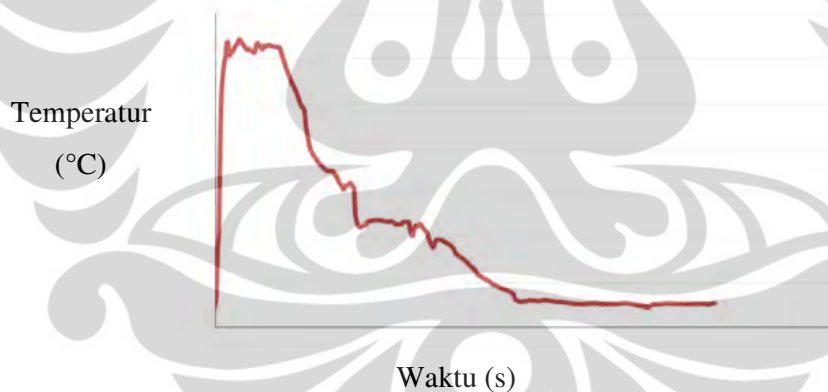
Kemudian pellet promotor tersebut dikeringkan di bawah sinar matahari selama ± 2 hari untuk menghilangkan moisture content pada promotor tersebut. Mekanisme penggunaan pellet promotor dilakukan dengan terlebih dulu mencelupkan setengah bagian dari pellet tersebut ke dalam larutan etanol yang berfungsi sebagai oksigenat, dengan tujuan sebagai penyuplaian oksigen yang akan memicu reaksi antara oksigen dalam briket, dimana rekasi oksidasi tersbeut masih berlangsung dalam temperatur di bawah titik nyala dari briket pemasakanm sehingga kalor hasil reaksi eksotermis tersebut tidak terlepas dalam wujud nyala api akan tetapi disimpan dalam briket untuk menaikkan suhu briket tersebut (Hasibuan, 2007).

Untuk mendeteksi perubahan temperature selama proses pembakaran terjadi, digunakan termokopel tipe K yang diletakan pada lapisan kedua, setelah meletakan seluruh pellet promotor yang telah terbakar dan menjadi bara. Pengukuran temperature dimulai ketika pellet promotor diletakkan hingga proses pembakaran selesai (ditandai dengan penurunan suhu mendekati suhu awal pembakaran dan penurunan emisi CO yang semakin mendekati angka 0 ppm). Sedangkan waktu penyalaan ditentukan sejak diletakkannya briket promotor pada susunan layer kedua hingga terjadi kenaikan temperature secara cepat yang ditandai dengan terbentuknya abra api pada briket pemasakan tersebut.

3.2 Ekstraksi Data Penelitian

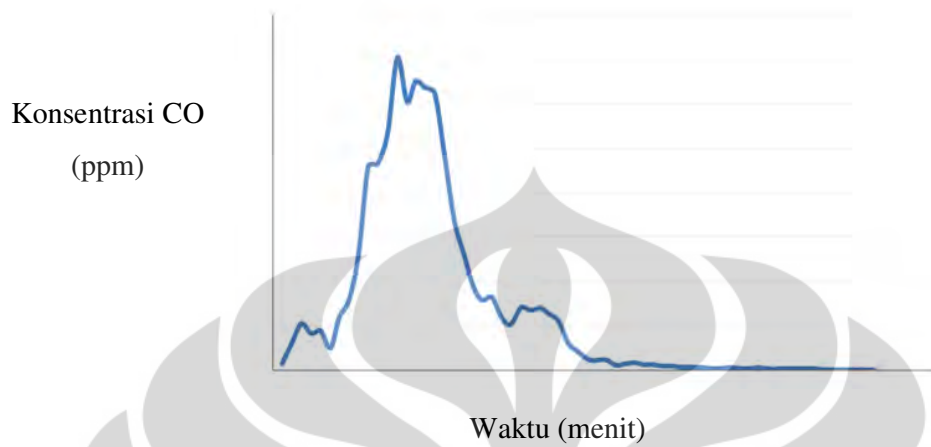
Berikut ini adalah profil data penelitian yang akan diperoleh berdasarkan uji waktu ignisi, uji emisi CO dan uji efisiensi termal.

1. Waktu Ignisi



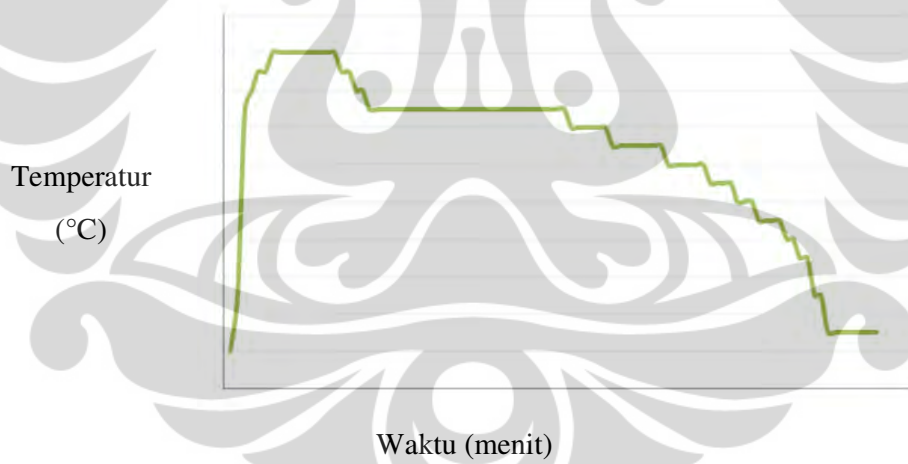
Gambar 3. 4 Profil Temperatur Pembakaran Penentuan Waktu Ignisi

2. Emisi CO



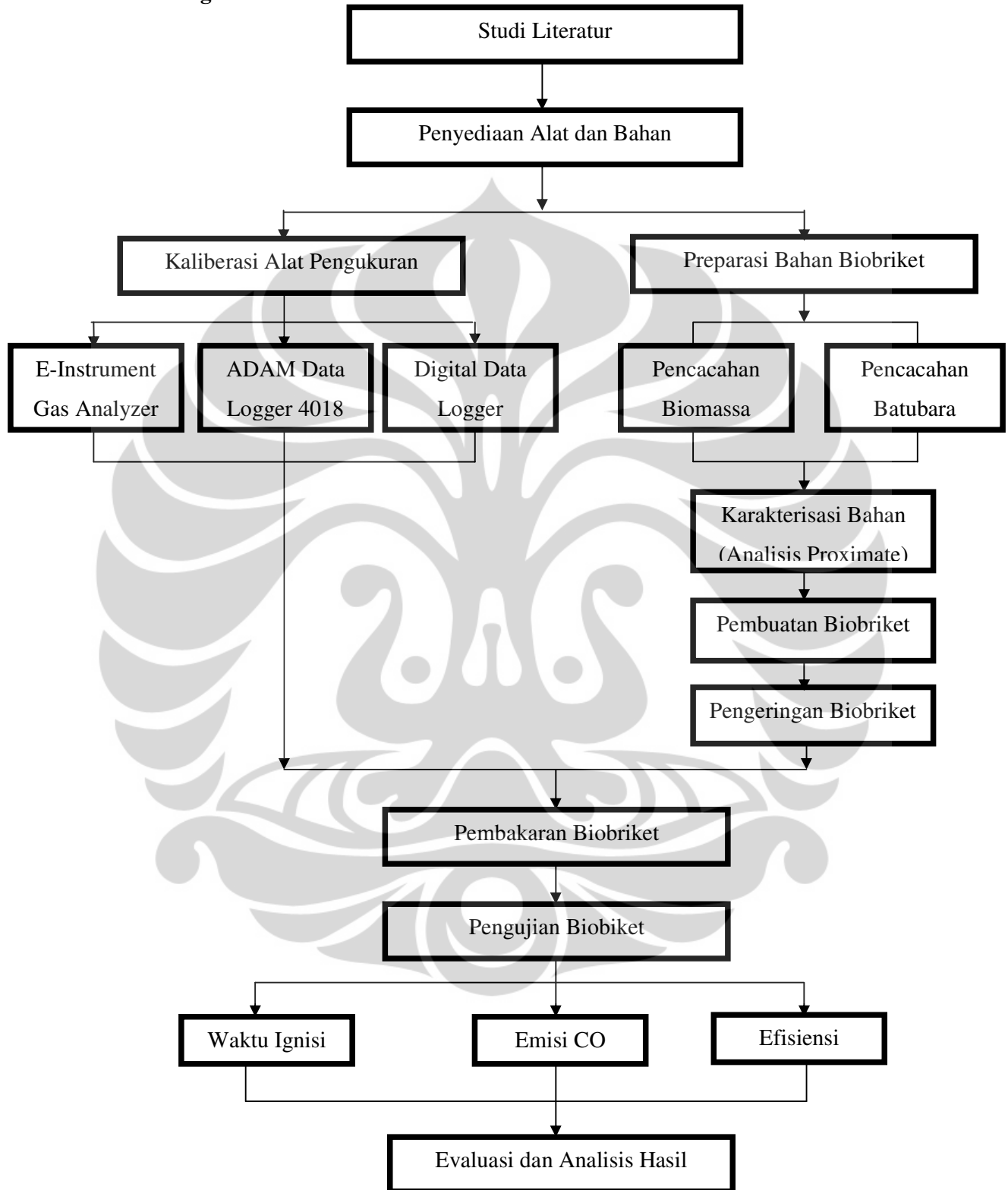
Gambar 3.5 Profil Emisi CO Pembakaran

3. Efisiensi Termal



Gambar 3. 6 Profil Temperatur Pemanasan Air dalam *Water Boiling Pot*

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 7 Diagram Alir Penelitian

3.4 Variabel dalam Penelitian

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

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang divariasikan dalam penelitian.

Pada penelitian ini yang digunakan sebagai variabel bebas adalah :

A. Komposisi campuran antara biomass dan batubara

Pada penelitian ini komposisi yang digunakan pada pencampuran biomass dan batu bara meliputi 3 variasi sampel yakni :

Tabel 3.1 Variasi komposisi campuran Biomassa (Bagasse Tebu) dan Batubara Subbituminous dalam Biobriket

Sampel	Komposisi Massa (%)	
	Biomass	Batubara
1	50	50
2	75	25
3	100	0

B. Kecepatan Supervisial Blower pada Kompor Biobriket

Pada penelitian ini digunakan 4 variasi kecepatan superfisial dari blower yang digunakan adalah 0,4, 0,3 dan 0,2 m/s. Variasi kecepatan superfisial ini dilakukan untuk mendapatkan kecepatan superfisial yang paling optimum untuk pembakaran biobriket pada kompor briket. Pada kecepatan superfisial yang lebih tinggi, kebutuhan oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi CO ke CO₂ dapat dikatakan cukup dibandingkan kebutuhan oksigen pada kecepatan superfisial yang lebih rendah (Sumarni,2009), namun apabila mempertimbangkan karakteristik biobriket maka semakin besar kecepatan superfisial yang digunakan akan berpotensi untuk meningkatkan kerapuhan biobriket saat proses pembakaran, karena biobriket sejatinya merupakan campuran antara biomassa dan briket dan direkatkan dengan binder namun saat terbentuk

biobriket tidak benar-benar menyatu dengan sempurna. Oleh karena itu akan dibuktikan apakah akan terjadi perbedaan hasil yang signifikan pada pembakaran biobriket menggunakan kecepatan superficial blower pada range 0.2 m/s (variasi kecepatan terendah), 0.3 m/s, 0.4 m/s (variasi kecepatan tertinggi). Aktivitas penelitian ini secara garis besar akan dilakukan di Laboratorium Rekayasa Reaksi Kimia, Departemen Teknik Kimia, FTUI Depok. Beberapa lokasi penunjang lainnya adalah Laboratorium Uji Analisis Proximate.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas yang digunakan. Pada penelitian ini yang merupakan variabel terikat adalah waktu ignisi, emisi CO dan efisiensi termal dari pembakaran pada masing-masing variasi komposisi campuran antara biomassa dan briket serta variasi kecepatan superficial blower pada kompor briket.

3.4.3 Variabel Terkontrol

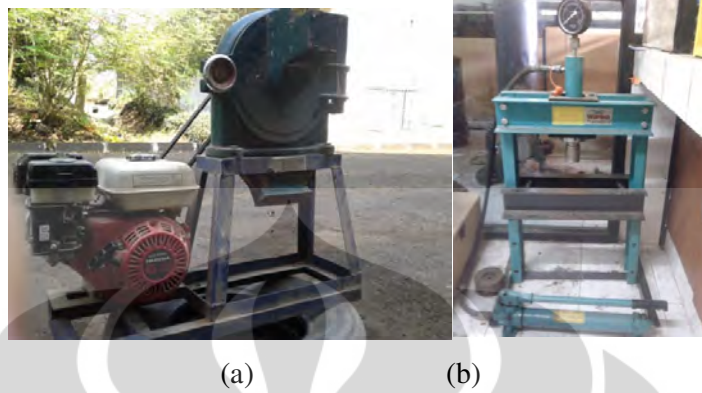
Variabel terkontrol merupakan variabel yang dikondisikan selalu sama pada setiap percobaan yang dilakukan. Pada penelitian ini yang menjadi variabel terkontrol adalah jenis biomassa dan jenis batubara yang digunakan yakni Baggase Tebu dan Batubara Subbituminous, Pellet Promotor yang digunakan serta media pembakaran berupa kompor perforated hood.

3.5 Alat dan Bahan

Berikut ini adalah alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini beserta kegunaannya masing-masing :

Tabel 3. 2 Daftar Alat-Alat yang Digunakan Dalam Penelitian

No	Nama Alat	Kegunaan
1	Mesin <i>Crusher</i>	Menghaluskan bahan biomassa yang digunakan
2	<i>Mould</i> (pencetak) Biobriket	Mencetak bahan campuran biobriket hingga membentuk bulatan briket
3	<i>Stove</i> (Kompor)	Media pembakaran biobriket, digunakan dengan mengalirkan udara dengan kecepatan tertentu ketika melakukan pembakaran menggunakan kompor ini
4	<i>E-Instrument Gas Analyzer</i>	Mengukur besar emisi CO yang dihasilkan setiap menit dalam pembakaran biobriket
5	Termokopel Tipe-A	Mendeteksi temperatur pembakaran yang terjadi di dalam kompor ketika pembakaran berlangsung
6	Data Akuisisi ADAM 4018	Menampilkan dan merekam perubahan data temperatur yang terjadi di dalam kompor ketika pembakaran berlangsung
7	Anemometer	Mengukur laju alir udara yang masuk ke dalam kompor ketika pembakaran berlangsung
8	<i>Water Boiling Pot</i>	Sebagai wadah diletakkannya air untuk pengukuran efisiensi thermal pembakaran
9	Alat Pengepres	Untuk memberikan tekanan ketika proses pencetakan biobriket agar biobriket yang dihasilkan padat dan kompak.
10	Bunsen Pembakar Alkohol	Sebagai pemanas ketika dilakukan persiapan pemanasan pellet promotor
11	Digital Data Logger	Menampilkan perubahan data temperatur yang terjadi pada air dalam <i>Water Boiling Pot</i>



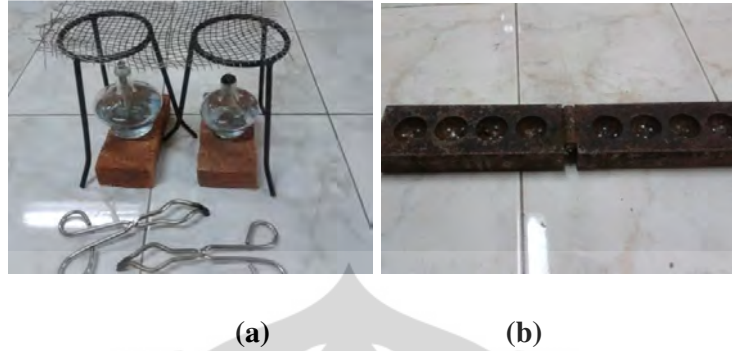
Gambar 3.8 (a) Mesin Crusher (b) Mesin Pencetak



Gambar 3.9 Kompor briket DTK UI dengan *blower*



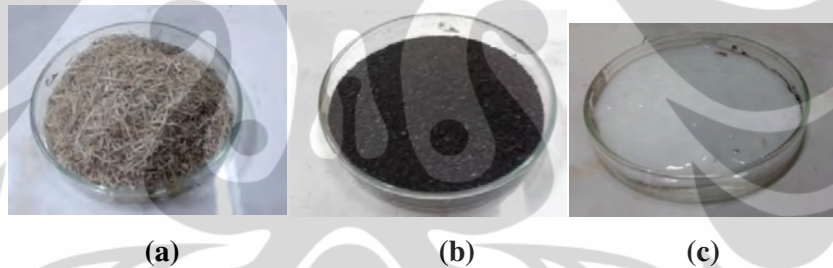
Gambar 3. 10 (a) Anemometer (b) *E-Instrument Gas Analyzer*



Gambar 3. 11 (a) Bunsen Pembakar Alkohol (b) *Mould* (Pencetak) Briket

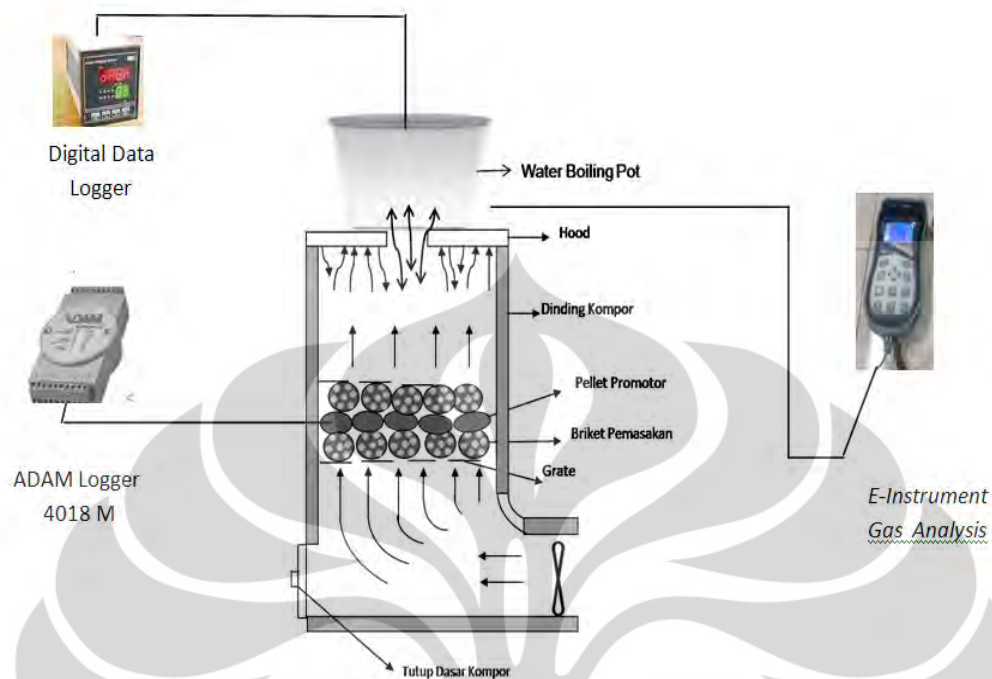
Sedangkan bahan-bahan yang digunakan adaah :

- Ampas/Baggas Tebu (*Baggase Sugar Cane*)
- Batubara Subbituminous
- Perekat (Binder) : Larutan kanji 15%
- Etanol



Gambar 3. 12 (a) Baggase Tebu (b) Batubara Subbituminous (c) Larutan Kanji 15%

Berikut ini adalah skema kompor briket yang akan digunakan dalam penelitian ini beserta penyusunan briket promotor serta briket pemasakan yang digunakan.



Gambar 3. 13 Skema Alatt dan Penyusunan Bioriket dan Pellet Promotor

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Perancangan Biobriket

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

3.6.2 Persiapan Awal Bahan Biomassa dan Batubara Subbituminuos

3.6.2.1 Analisis Proximate Biomassa dan Batubara Subbituminuos

Analisis proximate dilakukan dengan tujuan untuk menentukan persen berat dari *fixed carbon*, *volatile matters*, *ash*, dan *moisture content*. Berdasarkan hasil analisis proximate maka dapat diketahui informasi mengenai kandungan peningkat kalor pembakaran (*volatile matters* dan *fixed carbon*) dan kandungan penurun kalor pembakaran (*moisture content* dan *ash*).

3.6.2.2 Persiapan Biomassa

1. Karena biomassa yang digunakan sudah cukup kering maka tidak dilakukan proses pengeringan sebelum biomassa dicacah.
2. Menghancurkan biomassa menggunakan mesin pencacah (*crusher*) sampai terbentuk partikel kecil.

3.6.2.3 Persiapan Batubara Subbituminous

1. Menghancurkan batubara Subbituminous menggunakan mesin pencacah (*crusher*) sampai terbentuk partikel kecil..
2. Batubara tidak perlu pengeringan sehingga batubara yang sudah dicacah siap untuk dicampur dengan biomassa.

3.6.2.4 Persiapan Perekat

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

3.6.2.5 Preparasi Biobriket

1. Melakukan pencampuran bahan biomassa dengan 5 variasi komposisi, dengan berat total per satuan biobriket sebesar 40 gram, dengan komposisi seperti pada Tabel 3.2
2. Melakukan proses kompresi dengan tekanan yang telah ditentukan sebelumnya yakni 5 MPa
3. Melakukan proses pencetakan biobriket dengan *mould* biobriket sekaligus membuat pola-pola cekungan (*dimples*) pada biobriket untuk meningkatkan efek turbulensi pada proses pembakaran berlangsung.
4. Mengambil sedikit sampel dari tiap biobriket untuk diukur *moisture content* akhir (campuran batubara dan biomassa)

3.6.2.6 Preparasi Pellet Promotor

1. Melakukan Preparasi Pellet Promotor dengan bahan baku biomassa baggase tebu, dengan ukuran diameter 2 cm dan panjang 3 cm (Tanto, 2011).

3.6.3 Pengujian Biobriket

3.6.3.1 Pengujian Emisi CO

Proses pengujian Emisi CO dilakukan dengan menggunakan alat *E-Instrument Gas Analyzer* yang berfungsi sebagai detektor gas CO, bertempat di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia. Prosedur yang dilakukan antara lain sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat pemasakan berupa kompor briket dengan blower yang telah berisikan biobriket pemasakan pada layer pertama dan ketiga serta pellet promotor yang telah membara pada layer kedua.
2. Menyiapkan kawat penyambung antara *flue gas* yang berasal dari *kompur briket* dengan *gas analyzer* yang berada di luar *kompur briket*.
3. Mengalirkan udara ke arah briket pemasakan dengan menggunakan blower dengan kecepatan superficial sebesar 0.4 m/s dan mengukur kecepatan superficial aliran udara *forced draft* dengan menggunakan anemometer dengan menyetel variasi blower dengan beberapa kecepatan udara tertentu.
4. Ketika proses pembakaran terjadi maka gas keluar dari kompor briket sehingga kadar emisinya tertangkap oleh kawat penyambung yang kemudian dibaca oleh sensor dalam *gas analyzer*.
5. Mengulangi percobaan menggunakan variasi komposisi % berat biobriket dan variasi kecepatan superficial blower.

3.6.3.2 Pengujian Waktu Ignisi

Prosedur yang dilakukan:

1. Menyalakan komputer dan membuka *software* ADAM-4018M.
2. Menyalakan *exhaust fan*.
3. Meletakkan termokopel di atas/menempel pada permukaan biobriket di dalam kompor pembakaran.
4. Mencatat waktu penyalaan biobriket. Waktu penyalaan briket dimulai dari saat diletakkannya biobriket dalam kompor briket hingga waktu dimana temperatur yang dicapainya merupakan temperature

terbentuknya bara api pada biobriket (sekitar 60°C atau lebih kecil dari 60°C)

5. Melakukan kembali prosedur percobaan 1 sampai 5 untuk pada variasi komposisi biobriket dan variasi kecepatan superficial blower lainnya.

3.6.3.3 Pengujian Efisiensi Termal

Pada pengujian efisiensi termal digunakan Boilling Water Pot dengan prosedur yang dilakukan sebagai berikut :

1. Ketika pembakaran biobriket berlangsung, memanaskan sejumlah air pada Boilling Water Pot yang telah diketahui massa dan kalor jenisnya.
2. Mengukur massa air (M), kalor jenis air (C_p) dan temperatur awal air (T_a)
3. Menentukan bahan bakar biobriket dengan variasi komposisi campuran tertentu, yang telah ditentukan beratnya sebesar 1 kg dan telah dihitung *calorific value* nya.
4. Mengukur perubahan temperatur air yang berada di dalam Water Boiling Pot dengan rentang waktu setiap 1 menit.
5. Pengukuran dilakukan hingga biobriket habis terbakar yang ditandai dengan tidak ada lagi emisi CO dan temperatur pembakaran di dalam kompor telah turun mendekati temperatur kompor sebelum dilakukan pembakaran (sekitar 60°C atau lebih kecil dari 60°C).
6. Setelah itu membuat kurva temperature vs. waktu., berdasarkan data yang telah diperoleh.
7. Menghitung Efisiensi Termal masing-masing variasi komposisi, dengan penjelasan sebagai berikut :

Pada perhitungan water boiling test yang dilakukan, besar efisiensi termal dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah kalor (energi panas) yang diterima oleh air di dalam water boiling pot dengan energi yang tersedia di dalam bahan bakar.

❖ Q total yang diserap air

Jumlah kalor yang diterima oleh air dipengaruhi oleh ;

-Q *sensible* air,

yakni panas yang diterima air seiring dengan kenaikan temperatur, dan dipengaruhi oleh massa air (kg) dan kalor jenis air (kkal/kg °C)

-Q latent air, yakni energi yang diperlukan untuk menguapkan air apabila temperatur pemanasan mencapai dan melebihi titik didih air. Jumlah Q latent air ini dipengaruhi oleh massa air (kg) dan kalor latent air (kkal/kg)

-Q *sensible Water Boiling Pot*, yakni panas yang diterima oleh dinding panci (water boiling pot) seiring dengan kenaikan temperatur, yang dipengaruhi oleh massa panci (kg) dan kalor jenis aluminum sebagai bahan dasar panci (kkal/kg °C)

-Q *free convection*, yakni merupakan *heat loss* yang disebabkan adanya transfer panas dari air di dalam panci ke udara lingkungan (*ambient*). Hal ini perlu diperhitungkan karena pada penelitian ini digunakan Water Boiling Pot tanpa penutup pada bagian permukaan panci, sehingga perlu diperhitungkan adanya besar panas yang terbuang ke lingkungan.

Sehingga total kalor yang diterima oleh air :

$$Q \text{ total yang terserap oleh air} = Q \text{ sensible air} + Q \text{ latent air} + Q \text{ Sensible Water Boiling Pot} - Q \text{ free conversion}$$

❖ Q netto bahan bakar

Jumlah nilai kalor netto yang dimiliki oleh bahan bakar dipengaruhi oleh ;

- Q bruto bahan bakar, yakni nilai kalor total yang dikandung dalam bahan bakar, hal ini dipengaruhi oleh massa bahan bakar briket (kg) dan jumlah calorific value bahan bakar (kkal/kg) yang diketahui dengan melakukan analisa proximat bahan baku briket, yakni batubara subbituminous dan biomassa bagase tebu.

- Q *sensible moisture*, yakni panas yang dibutuhkan untuk memanaskan *moisture* yang masih terkandung dalam briket. Jumlah Q *sensible moisture* ini dipengaruhi oleh massa *moisture* yang masih terkandung dalam briket (kg) yang dihitung dengan mengalikan massa bahan bakar briket dengan *% moisture content* pada briket sesuai dengan variasi komposisi biomassa dan batubara dalam briket, kenaikan temperatur ($^{\circ}\text{C}$) dan kalor jenis air (kkal/kg $^{\circ}\text{C}$).
- Q *latent moisture*, yakni panas yang dibutuhkan untuk menguapkan kandungan *moisture* yang masih terkandung dalam briket. Jumlah Q *latent moisture* ini dipengaruhi oleh massa *moisture* yang masih terkandung dalam briket (kg) yang dihitung dengan mengalikan massa bahan bakar briket dengan *% moisture content* pada briket sesuai dengan variasi komposisi biomassa dan batubara dalam briket, kalor latent air (kkal/kg).
- Q *sensible abu*, yakni panas yang diserap oleh abu yang dihasilkan pada proses pembakaran. Besar Q *sensible abu* dipengaruhi oleh massa *moisture* yang masih terkandung dalam briket (kg) yang dihitung dengan mengalikan massa bahan bakar briket dengan *% ash* (kadar abu) pada briket sesuai dengan variasi komposisi biomassa dan batubara dalam briket, kenaikan temperatur ($^{\circ}\text{C}$) dan kalor jenis abu (kkal/kg $^{\circ}\text{C}$).

Sehingga jumlah Q netto yang terdapat pada bahan bakar briket adalah :

$$Q \text{ netto bahan bakar} = Q \text{ bruto bahan bakar} - Q \text{ sensible moisture} \\ - Q \text{ latent moisture} - Q \text{ sensible abu}$$

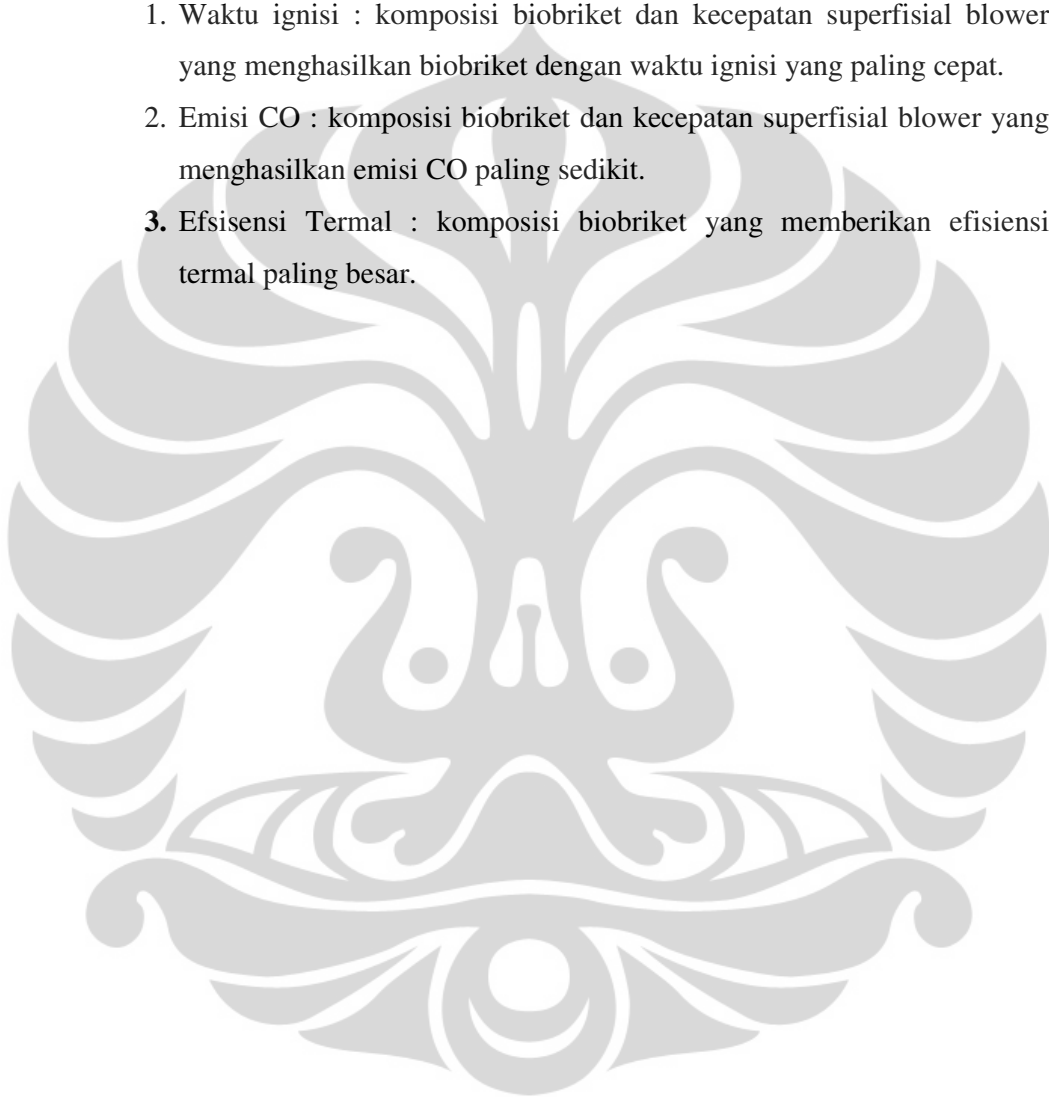
Kemudian besar persentase efisiensi termal dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\% \text{ Efisiensi Termal } (\eta) = \frac{Q \text{ yang terserap oleh air di dalam panci}}{Q \text{ netto bahan bakar}}$$

3.7 Analisis dan Evaluasi Hasil Penelitian

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

1. Waktu ignisi : komposisi biobriket dan kecepatan superfisial blower yang menghasilkan biobriket dengan waktu ignisi yang paling cepat.
2. Emisi CO : komposisi biobriket dan kecepatan superfisial blower yang menghasilkan emisi CO paling sedikit.
3. Efsisensi Termal : komposisi biobriket yang memberikan efisiensi termal paling besar.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Biobriket (Campuran Biomassa dan Batubara)

4.1.1 Preparasi Baggase Tebu dan Batubara Subbituminous

Proses preparasi bahan baku briket yang dilakukan melingkupi preparasi terhadap biomassa baggase tebu dan batubara subbituminous. Biomassa yang digunakan adalah biomassa baggase tebu yang diperoleh dari hasil sisa produksi pabrik gula PT. *Sugar Group Company*, Lampung, Indonesia., sedangkan batubara subbituminous yang digunakan berasal dari PT. Bukit Asam Unit Tanjung Enim, Indonesia. Preparasi yang dilakukan berfokus pada dua hal, yakni proses pengeringan dan proses reduksi ukuran bahan baku tersebut.

Tingginya kadar *moisture content* pada biomassa merupakan salah satu penyebab kelemahan pada pembakaran biomassa, karena pengaruhnya terhadap waktu nyala yang relatif lama, sehingga pengeringan terhadap biomassa merupakan salah satu hal utama yang perlu diperhatikan. Pengeringan merupakan suatu proses penguapan kandungan air dan merupakan suatu reaksi endotermis, sehingga ketika memasuki ruang pembakaran, proses pengeringan menggunakan energi yang dihasilkan dari proses pembakaran, menurunkan temperatur pada ruang pembakaran dan melambatkan proses pembakaran (Loo,2004). Kadar *moisture content* dalam biomassa merupakan salah satu hal yang akan mempengaruhi kualitas pembakaran dari biobriket, yakni pengaruh terhadap cepat atau lambatnya waktu nyala pembakaran yang dicapai. Hal ini berhubungan dengan besarnya panas laten yang dibutuhkan untuk penguapan dan panas sensible ketika suhunya ditingkatkan. Selain itu, semakin besar *moisture content*, maka akan semakin mengurangi temperatur pembakaran dan meningkatkan waktu tinggal di ruang pembakaran yang kemudian akan menghasilkan pembakaran tidak sempurna dan meningkatkan emisi hasil pembakaran tersebut (Loo. 2004). Contohnya pada pembakaran dengan biomassa kayu, proses pembakaan tidak dapat dilakukan dengan *moisture content* biomassa kayu yang melebihi 60% karena energi yang dibutuhkan untuk menguapkan kandungan air dan proses

pemanasan uap air yang sangat tinggi sehingga terjadi penurunan temperatur hingga melewati temperatur minimum untuk menunjang proses pembakaran (Loo,2004). Untuk pembakaran skala besar, kadar maksimum *moisture content* yang terkandung dalam biomassa adalah 60-65wt % (Svoboda, 2005), dan agar tidak menghalangi proses gasifikasi, maka kadar *moisture content* biomassa yang menunjang sebesar 5-25% (Kavalov, 2005).

Melalui proses pengkajian Analisis Proximate yang dilakukan di Balai Besar Teknologi Energi, Balai Pengkaji Penerapan Teknologi (BPPT), Serpong-Tangerang, dapat diketahui kadar *moisture content* dari biomassa baggase tebu dan batubara subbituminous yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan briket dalam penelitian ini, dengan hasil proximate analysis ditampilkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 1 Kadar Moisture Content Batubara Subbituminous dan Baggase Tebu

PARAMETER ANALYSIS	SAMPLE CODE		STANDARD METHOD
	BATUBARA	BAGGASE TEBU	
Total Moisture (% wt,ar)	14,68	14, 21	ASTM D-3302

Berdasarkan hasil analisa proximate diperoleh keterangan kadar *moisture content* biomassa baggase tebu sebesar 14,21% (berada dalam range kadar *moisture content* untuk biomassa bahan baku proses pembakaran sekitar 5-25% (Kavalov, 2005)), dan *moisture content* batubara sebesar 14,68%. Bahan baku baggase tebu yang diperoleh merupakan hasil sisa produksi gula, yang mengalami proses penggilingan dan pengeringan pada proses pasca produksi. Proses pengeringan yang dilakukan menggunakan metode *Open-air-drying*, yakni proses reduksi *moisture content* dengan memanfaatkan panas radiasi yang dipancarkan oleh matahari yang dilakukan selama beberapa minggu. Sedangkan pada bahan baku batubara subbituminous cenderung telah memiliki kadar *moisture content* yang rendah, sesuai dengan karakteristik dari jenis batubara subbituminous yang memiliki kadar *moisture content* menengah hingga rendah, apabila dibandingkan dengan jenis batubara Lignit. Maka, dalam penelitian ini tidak dilakukan proses

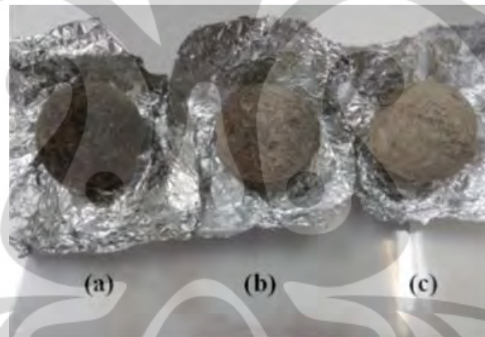
pengeringan baik terhadap biomassa baggase tebu maupun batubara subbituminous.

Selanjutnya, proses reduksi ukuran bahan baku briket dilakukan untuk memudahkan proses pencampuran antara biomassa dengan batubara yang direkatkan dengan bantuan perekat (binder). Ukuran bahan baku briket sebesar ± 20 mesh, dan dapat diperoleh dengan menggunakan mesin penghancur (*crusher*) ataupun mesin penghalus/penepung. Sedangkan untuk baggase tebu yang digunakan juga telah melewati proses penggilingan sehingga berukuran lebih kecil, namun ukuran partikel biomassa yang akan digunakan sebagai bahan baku pencampuran biobriket harus berukuran ± 20 mesh, sehingga perlu dilakukan kembali proses reduksi ukuran biomassa menggunakan mesin penghancur (*crusher*) hingga diperoleh ukuran yang sesuai. Proses penggilingan baggase tebu menggunakan mesin penghancur (*crusher*) ini dilakukan Balai Mekanisasi Pertanian, Serpong. Sedangkan untuk batubara subbituminous juga dilakukan proses reduksi ukuran batubara mencapai ukuran ± 20 mesh dengan menggunakan mesin penghancur (*crusher*) batubara yang dilakukan di Balai Besar Teknologi Energi, Balai Pengkaji Penerapan Teknologi (BPPT), Serpong-Tangerang. Setelah mendapatkan ukuran baggase tebu dan batubara subbituminous yang sesuai dan kadar *moisture content* yang sesuai, maka kedua bahan baku tersebut telah siap digunakan sebagai bahan baku pembuatan briket.

4.1.2 Pembuatan Biobriket

Proses pembuatan biobriket dilakukan dengan mencampurkan baggase tebu dan batubara subbituminous sesuai dengan komposisi yang ditentukan (100 % Biomassa : 75% Biomassa dan 50% Biomassa), sedangkan untuk variasi 25% Biomassa dan 100% Batubara tidak dilakukan karena berdasarkan penelitian sebelumnya diketahui bahwa pada komposisi tersebut memiliki waktu ignisi yang lama dan emisi CO yang tinggi (Sari, 2011). Tujuan dilakukannya variasi komposisi ini adalah untuk mengetahui pengaruh adanya variasi komposisi terhadap waktu nyala, emisi CO dan efisiensi termal dari pembakaran briket, dan akan ditinjau pengaruhnya terhadap variasi kecepatan superficial udara yang dialirkan ke dalam kompor briket.

Pencampuran ini dilakukan dengan menambahkan perekat (binder) berupa larutan kanji 15% . Setelah tercampur merata, campuran briket tersebut kemudian dicetak menggunakan alat pencetak berdiameter 4 cm yang telah diberikan pencetak dimples (guna memberikan efek cekungan pada hasil briket yang telah dicetak) dan selanjutnya diberi tekanan menggunakan alat penekan. Jumlah briket yang digunakan dibuat seragam pada setiap pembakaran, yakni 30 buah briket dengan masing-masing briketnya memiliki berat ± 40 gram. Setelah itu dilakukan pengeringan briket dengan metode *Open Air Drying*, yakni pemanasan dengan memanfaatkan panas radiasi yang dipancarkan oleh matahari, selama 7 hari untuk mengurangi kadar kandungan air yang diperoleh dari larutan kanji 15% yang digunakan sebagai perekat, sehingga memenuhi kriteria *moisture content* biobriket sebesar 10-25% (Bhattacharya,2002)Berikut ini adalah dokumentasi hasil pencetakan briket dengan 3 variasi komposisi biomassa dan batubara.



Gambar 4.1 (a) Briket Campuran 50% : Biomassa 50% Batubara; (b) Briket Campuran 75% : Biomassa 25% Batubara; (c) Briket 100% Biomassa

4.2 Pembakaran Biobriket

4.2.1 Penyulutan Promotor

Penyulutan briket saat ini umumnya dilakukan dengan mencelupkan beberapa briket dari bagian atas unggun ke dalam minyak tanah selama beberapa menit. Briket-briket tersebut kemudian disulut dengan korek api dan diletakkan kembali ke bagian atas unggun briket untuk membakar briket-briket di bagian bawahnya. Namun, pada penelitian ini sumber panas pertama dalam pembakaran briket diperoleh dengan menggunakan pellet promotor yang terbuat dari biomassa

bagasse tebu dan dipanaskan hingga membentuk bara. Penyalaan promotor ini dilakukan dengan menambahkan oksigenat (larutan etanol) ke permukaan promotor, kemudian dilakukan penyulutan promotor diatas pembakar alkohol hingga berbentuk bara api, sekitar ± 5 menit. Adapun tujuan pemberian oksigenat ini adalah sebagai penyuplai oksigen yang akan memicu reaksi pembakaran dalam pellet, sehingga mempercepat proses penyalaan dan pembentukan bara dari pellet promotor. Setelah oksigenat mulai habis terbakar, proses pembakaran pellet selanjutnya bergantung pada kadar volatile matter yang dimiliki oleh pellet promotor tersebut.

Pemilihan penggunaan bentuk pellet sebagai promotor dilakukan karena apabila dibandingkan dengan bentuk briket, bentuk pellet memiliki kecenderungan untuk mengalami pemanasan secara merata di sepanjang selimut silinder dari struktur pellet tersebut. Bila dibandingkan dengan briket yang berbentuk bola, pemanasan hanya akan terfokus pada ujung briket maka hanya membuat titik bara api di sekitar ujung struktur bola briket (Tanto, 2011). Selain itu, penggunaan biomassa pada pellet promotor cenderung memberikan kelebihan terhadap kecepatan pembentukan bara dibandingkan dengan briket yang terbuat dari batubara yang disebabkan karena pengaruh *bulk density* pellet biomassa yang lebih rendah dibandingkan dengan *bulk density* pada briket batubara (Tanto, 2011). *Bulk density* berbanding terbalik dengan nilai porositas suatu bahan, dan dengan meningkatnya porositas pada permukaan akan semakin memicu terbentuknya turbulent boundary layer yang mengakibatkan banyaknya resirkulasi udara pada pori-pori permukaan sehingga mempercepat proses pembentukan bara api.

4.2.2 Pembakaran Biobriket

Pembakaran biobriket dilakukan dengan menggunakan kompor briket dengan *perforated hood* dengan tinggi *chimney* sebesar 5 cm, karena menurut penelitian sebelumnya (Sari, 2008), tinggi *chimney* sebesar 5 cm menyebabkan *back pressure* yang rendah dan kecepatan suplai udara yang tinggi pada kompor, sehingga *ignition time* lebih cepat. Proses pembakaran membutuhkan 3 hal utama, yakni bahan bakar, oksigen dan sumber panas. Pada pembakaran dengan kompor briket ini bahan bakar yang digunakan berupa briket campuran biomassa dan

batubara (biobriket pemasakan), kemudian oksigen diperoleh dari aliran udara *forced draft* dengan bantuan blower pada bagian bawah kompor dan sumber panas pertama proses pembakaran diperoleh dari bara api yang terdapat pada pellet promotor. Briket pemasakan diletakan pada layer pertama dan layer ketiga pada kompor briket, sedangkan untuk layer kedua diisi pellet promotor disela-sela beberapa buah briket pemasakan pada layer kedua tersebut (Sumarni, 2009). Penentuan posisi peletakan pellet promotor pada layer kedua ini bertujuan untuk memaksimalkan perpindahan panas yang terjadi, dengan perpindahan panas secara konveksi, konduksi serta radiasi ke briket pada layer ketiga (layer diatas pellet promotor) dan perpindahan panas secara konduksi dan radiasi ke briket pada layer pertama (layer dibawah pellet promotor).

Kecepatan aliran udara *forced draft* yang digunakan beragam, sesuai dengan variasi kecepatan superficial yang ditetapkan sebagai variabel yang akan dianalisa pengaruhnya terhadap waktu ignisi, emisi CO dan efisiensi termal. Variasi kecepatan yang digunakan adalah 0.4 m/s, 0.3 m/s dan 0.2 m/s. Variasi kecepatan tertinggi yang digunakan adalah 0.4 m/s, karena pada uji coba laju alir sebelum dilakukan penelitian ini, terlihat adanya dominasi efek pendinginan yang mempengaruhi penurunan temperatur briket jika menggunakan kecepatan superficial melebihi 0.4 m/s. Nyala api dari pembakaran biobriket campuran biomassa baggase tebu ini bersifat sangat sensitif terhadap peningkatan kecepatan aliran udara, dimana ketika kecepatan superficial dinaikan menjadi 0.5 m/s, nyala api pembakaran perlahan-lahan padam, diikuti dengan padamnya bara yang mulai timbul dalam briket. Sensitivitas nyala api terhadap kecepatan superficial ini antara lain disebabkan oleh kecepatan aliran *forced draft* yang besar mengakibatkan adanya suplai udara berlebih ke dalam ruang pembakaran yang kemudian menyebabkan banyaknya panas yang hilang dan terjadi dominas efek quenching (*pendinginan*) pada proses pembakaran tersebut. Sedangkan kecepatan terkecil yang digunakan adalah 0.2 m/s untuk menganalisa efek ditimbulkan ketika adanya minimalisasi suplai oksigen ke dalam proses pembakaran yang akan mengakibatkan terjadinya peningkatan konsentrasi emisi CO akibat kurangnya suplai oksigen untuk membantu proses oksidasi dari CO membentuk CO₂. Sebagai nilai tengah, diambil variasi kecepatan diantara 0.4 m/s dan 0.2m/s, yakni

0.3 m/s untuk melihat perbandingan antara kecepatan minimum dan maksimum yang digunakan, berdasarkan kecepatan waktu ignisi, emisi CO dan efisiensi termal yang dihasilkan.

Untuk variasi komposisi bahan bakar, digunakan 3 variasi yakni briket campuran 50% Biomassa Bagasse Tebu : 50% Batubara Subbitumious, briket campuran 75% Biomassa Bagasse Tebu : 25% Batubara Subbitumious dan briket 100% Biomassa Bagasse Tebu. Variasi komposisi ini digunakan untuk mengetahui pengaruh persentasi komposisi terhadap performa pembakaran briket, karena karakter biomassa itu sendiri yang memiliki kadar volatile matter yang tinggi dan permukaan pori-pori yang besar yang dapat mempercepat adanya waktu ignisi namun memiliki kadar *moisture content* yang tinggi yang akan mengurangi temperatur pembakaran dan meningkatkan waktu tinggal di ruang pembakaran yang kemudian akan menghasilkan pembakaran tidak sempurna dan meningkatkan emisi hasil pembakaran tersebut. Sedangkan karakter dari batubara yang memiliki nilai *heating value* yang tinggi sehingga akan mempengaruhi besar efisiensi termal dari pembakaran, namun rendahnya kadar volatile matter dari batubara akan mempengaruhi terhadap lamanya waktu ignisi dari briket dan juga kadar emisi CO yang dihasilkan oleh pembakaran batubara cukup tinggi akibat besarnya kandungan *fixed carbon* pada batubara yang cenderung akan membentuk CO dalam jumlah besar jika terjadi kekurangan suplai udara pada proses oksidasi CO menjadi CO₂. Sehingga dengan adanya variasi komposisi dari campuran batubara dan biomassa ini diharapkan dapat mengurangi emisi CO pembakaran, mempercepat waktu ignisi dan juga akan meningkatkan nilai efisiensi termal dari pembakaran tersebut. Untuk variasi komposisi briket campuran 25% Batubara : 75% Biomassa dan komposisi 100% Batubara tidak digunakan karena berbasis pada peelitian sebelumnya dimana pada 2 komposisi tersebut memiliki nilai emisi CO yang tinggi dan waktu ignisi yang lambat (Sari, 2011).

4.3 Hasil Uji Analisa Proximate

Berikut ini adalah hasil pengkajian Analisis Proximate yang dilakukan di Balai Besar Teknologi Energi, Balai Pengkaji Penerapan Teknologi (BPPT), Serpong-Tangerang.

Tabel 4. 2 Hasil Analisa Proximat Biomassa Baggase tebu dan Batubara Subbituminous

PROXIMATE ANALYSIS		<i>Batubara Subbituminous</i>	<i>Baggase Tebu</i>
Moisture	(% wt, adb)	12,71	14,21
Volatile Matter	(% wt, adb)	41,03	67,83
Ash	(%wt, adb)	3,89	4,17
Fixed Carbon	(% wt, adb)	42,38	13,8
Calorific Value	(kcal/kg)	5416	3636

Berdasarkan hasil analisa proksimat yang dilakukan, diketahui bahwa ;

A. Kadar *Volatile Matter*

Kadar volatile matter bagas tebu tinggi, sehingga diekspektasikan dapat mempercepat waktu ignisi pada pembakaran briket.

B. Kadar Abu

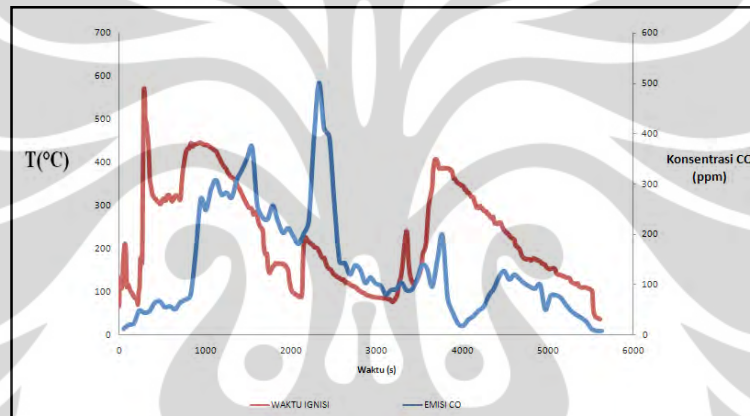
Dengan mengetahui kadar abu pada biomassa dan batubara, sehingga dapat diketahui seberapa besar pengaruh kadar abu terhadap pembentukan emisi CO dan lama dari waktu penyalaan pada pembakaran briket

C. Kadar *Fixed Carbon & Calorific Value*

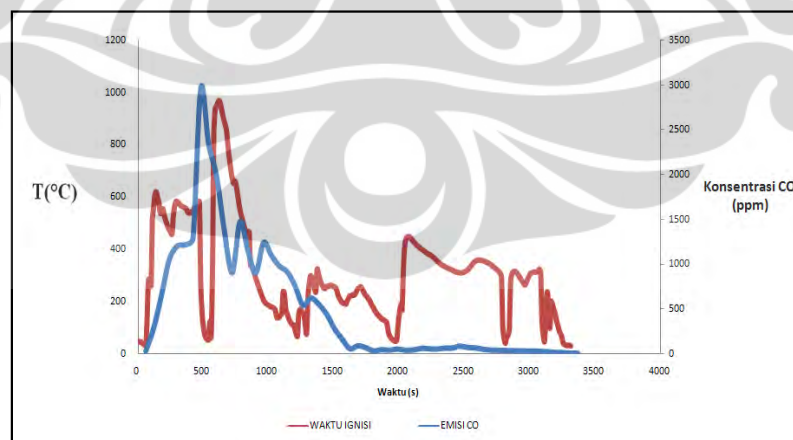
Sebagai penentu nilai kalor, besar *fixed carbon* yang besar pada batubara akan meningkatkan besar emisi CO yang dihasilkan oleh pembakaran, sebaliknya pada biomassa dengan kadar *fixed carbon* yang rendah dapat mengurangi emisi CO yang dihasilkan. Kemudian, besar *calorific value* dari batubara yang cukup besar sangat mempengaruhi nilai kalor, sehingga diekspektasikan akan memberikan pemanasan yang cukup besar sehingga dapat meningkatkan nilai efisiensi termal pada pembakaran briket.

4.4 Hasil Pembakaran Biobriket

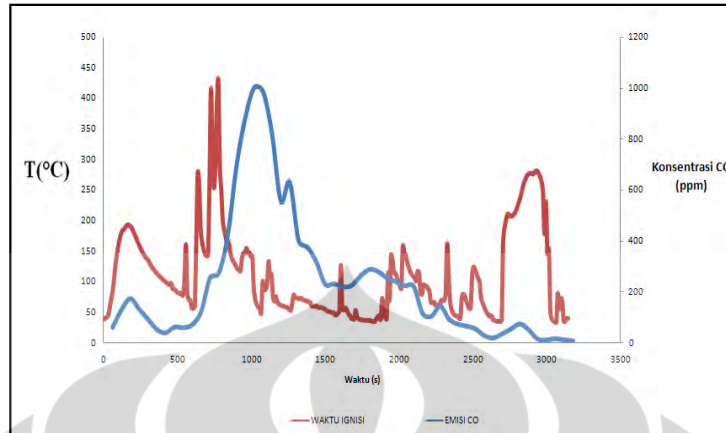
Keseluruhan proses pembakaran yang dilakukan pada penelitian ini adalah 9 proses pembakaran briket yakni dengan 3 variasi kecepatan (0.4 m/s, 0.3 m/s, dan 0.2 m/s) dan 3 variasi komposisi briket (briket campuran 50% Biomassa Bagasse Tebu : 50% Batubara Subbitumious, briket campuran 75% Biomassa Bagasse Tebu : 25% Batubara Subbitumious dan briket 100% Biomassa Bagasse Tebu). Berikut ini adalah profil temperatur pembakaran ($^{\circ}\text{C}$) dan konsentrasi emisi CO yang dihasilkan pada 9 proses pembakaran briket dengan variasi kecepatan dan komposisi briket yang berbeda-beda.



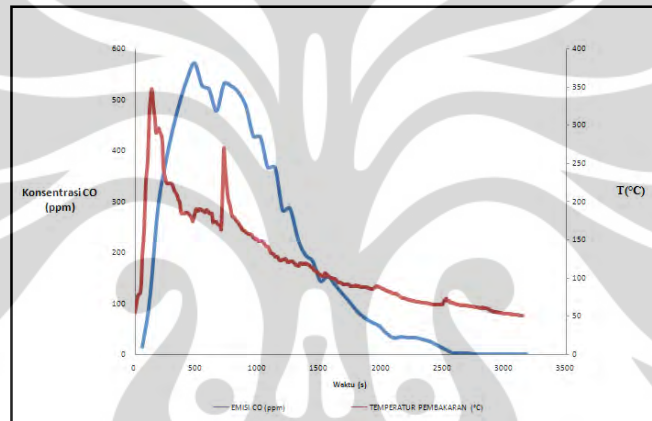
Gambar 4.2 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 50% & Kecepatan Superfisial 0.2 m/s



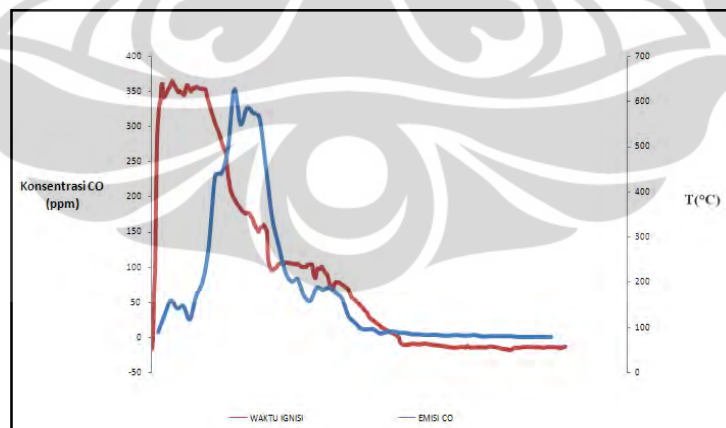
Gambar 4.3 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 75% & Kecepatan Superfisial 0.2 m/s



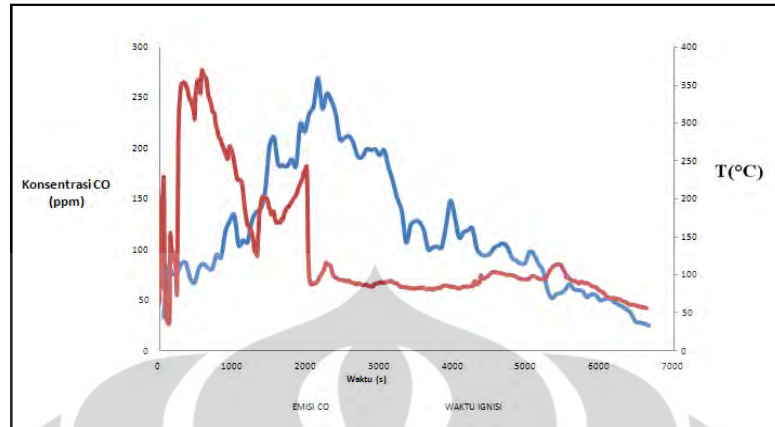
Gambar 4.4 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 100% & Kecepatan Superfisial 0.2 m/s



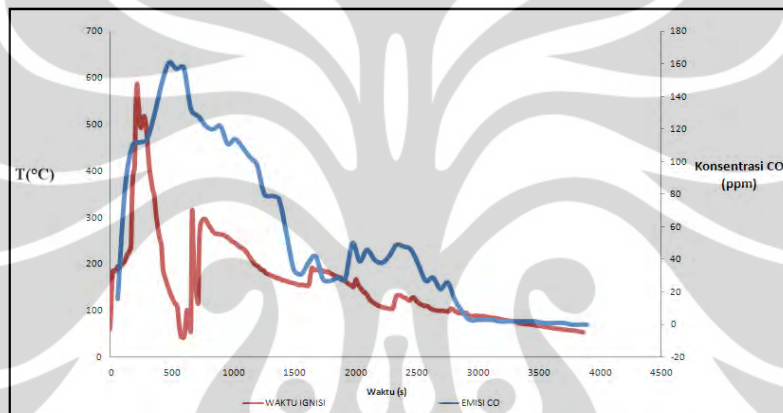
Gambar 4.5 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 100% & Kecepatan Superfisial 0.3 m/s



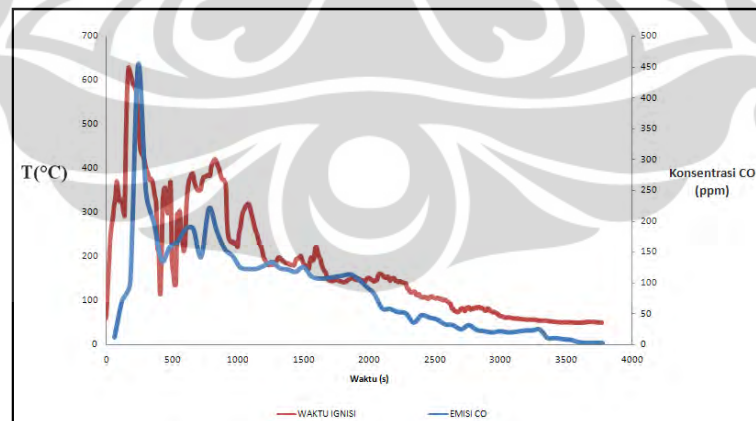
Gambar 4.6 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 75% & Kecepatan Superfisial 0.3 m/s



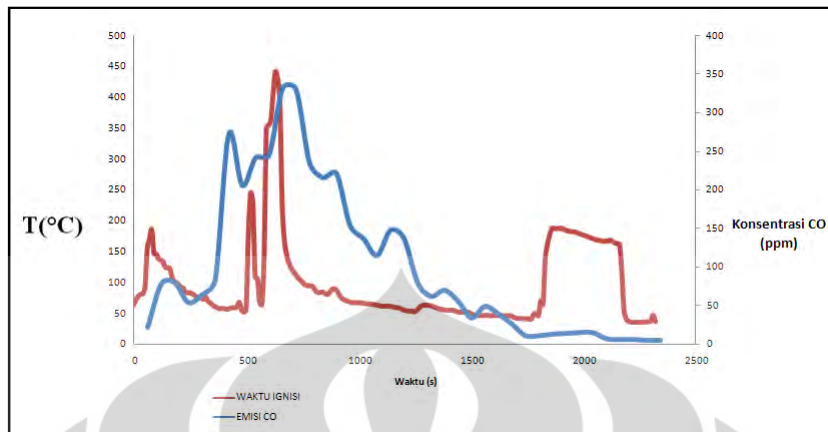
Gambar 4.7 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 50% & Kecepatan Superfisial 0.3 m/s



Gambar 4.8 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 50% & Kecepatan Superfisial 0.4 m/s



Gambar 4.9 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 75% & Kecepatan Superfisial 0.4 m/s



Gambar 4.10 Hubungan Temperatur Pembakaran Dan Emisi CO Komposisi Biomassa Baggase Tebu 100% & Kecepatan Superfisial 0.4 m/s

Grafik pada Gambar 4.2 hingga Gambar 4.10 merepresentasikan fenomena yang terjadi pada peristiwa pembakaran pada setiap variasi kecepatan superfisial dan variasi komposisi biomassa pada briket. Secara garis besar, fenomena yang tergambar pada grafik-grafik tersebut merepresentasikan terjadinya fenomena pembakaran yang sama antara 9 proses pembakaran tersebut, fenomena yang terjadi antara lain :

- A. Adanya peristiwa *ignition delay* yang kemudian dilanjutkan dengan melonjaknya temperatur pembakaran hingga melewati temperatur ignisi sebagai penanda telah munculnya nyala api (*ignition*). Pada lonjakan kenaikan temperatur tersebut terjadi peristiwa devolatilisasi yakni adanya pelepasan *volatile matters* yang mengakibatkan adanya propagasi panas yang berdampak pada peningkatan suhu pembakaran. *Volatile matter* telah habis terbakar setelah mencapai temperatur maksimum pembakaran, dan komponen yang tersisa adalah char. Reaksi pembakaran antara char dan oksigen merupakan reaksi heterogen yang terjadi pada *gas-solid interface* dengan produk utama berupa gas CO yang akan membentuk CO₂ dengan waktu yang relatif lama. Proses tersebut meliputi adanya difusi spesi pengoksidasi ke permukaan yang kemudian dilanjutkan ke pori internal dari briket.
- B. Adanya fluktuasi temperatur pada profil temperature pembakaran, akibat adanya reposisi dari susunan briket yang terbakar. Pengukuran

temperatur pembakaran yang terjadi menggunakan termokopel terkadang hanya merepresentasikan temperatur pembakaran pada satu titik dari briket yang kontak dengan sensor termokopel. Sedangkan pembakaran briket terjadi secara bertahap pada layer-layer briket, dimana pembakaran terlebih dahulu terjadi briket pada layer kedua dimana pellet promotor diletakkan, dilanjutkan dengan pembakaran pada layer ketiga dan kemudian pembakaran briket pada layer pertama yang berada di bagian paling bawah. Hal ini terjadi karena perpindahan panas pada briket di layer kedua terjadi secara konveksi, konduksi dan radiasi, sama halnya pada perpindahan panas yang diterima pada layer ketiga (layer diatas layer kedua), sehingga briket pada layer kedua dan layer ketiga habis terbakar terlebih dahulu. Sedangkan briket pada layer pertama (layer paling bawah), hanya menerima panas yang ditransfer secara konduksi dan radiasi, dan tidak mendapat transfer panas secara konveksi karena aliran udara *forced draft* mengalir keatas kompor. Ketika sensor termokopel mendeteksi temperatur pembakaran pada briket di layer kedua dan ketiga hingga briket tersebut habis terbakar dan terjadi penurunan suhu, kemudian termokopel mulai mendeteksi pembakaran pada layer pertama yang baru terbakar, akibatnya terjadi fluktuasi kenaikan dan penurunan temperatur pembakaran yang terdeteksi oleh termokopel.

- C. Adanya fluktuasi kenaikan dan penurunan kadar emisi CO, dimana kenaikan emisi CO terjadi setelah pembakaran melewati temperatur penyalaan (lonjakan kenaikan temperatur pembakaran) dan produksi emisi CO terbanyak terjadi ketika adanya penurunan temperatur pembakaran. Pada dasarnya, setelah peristiwa devolatilisasi terjadi dimana naiknya temperatur hingga temperatur tertinggi pembakaran, terjadi penurunan temperatur pembakaran yang terjadi pada fasa pembakaran char yang membentuk abu. Abu yang dihasilkan pada pembakaran *char* memiliki konduktivitas termal lebih tinggi dibandingkan dengan karbon, sehingga untuk proses pembentukan CO₂ yang membutuhkan energi dalam bentuk panas yang tinggi

menjadi kekurangan panas dan hanya dapat membentuk emisi CO ($k_{ash} = 8 \text{ W/mK}$ (Slifka, 1998), dibandingkan dengan $k_{karbon} = 1.7 \text{ W/mK}$). Hal ini disebabkan karena pada pembakaran sempurna membutuhkan energi berupa panas yang besar guna mengkonversi CO menjadi CO_2 , sehingga ketika suhu pembakaran rendah pembentukan CO_2 tidak dapat dilakukan, dan produk yang terbentuk adalah emisi CO yang tinggi. Penyebab lainnya adalah karena porsi volatile matter yang terbakar semakin berkurang karena pada saat-saat sebelumnya telah keluar melalui perpindahan panas. Volatile matter merupakan substansi yang mempengaruhi temperatur nyala api, ketika volatile matter berkurang dan temperatur nyala api menurun, suplai energi panas untuk mengkonversi CO menjadi CO_2 tidak mencukupi, maka kadar CO yang lebih mendominasi dibandingkan CO_2 .

Setelah menjabarkan fenomena yang terjadi secara umum dari profil temperatur pembakaran dan emisi CO dari setiap pembakaran yang dilakukan pada penelitian ini, kemudian dilakukan pembahasan lebih lanjut mengenai pengaruh komposisi biomassa pada briket dan pengaruh kecepatan superficial aliran udara terhadap waktu ignisi, produksi emisi CO dan efisiensi termal.

4.5 Uji Waktu Ignisi Pembakaran Biobriket

4.5.1 Temperatur Pembakaran Biobriket

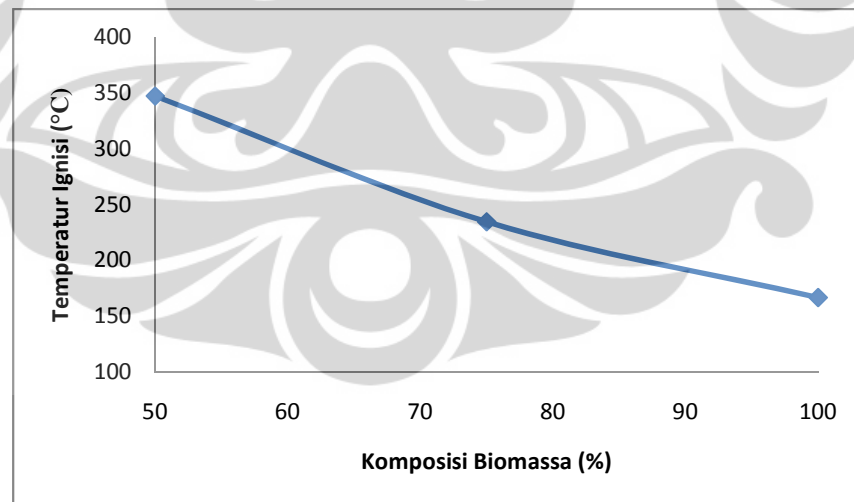
Temperatur ignisi (T_{ig}) merupakan temperatur yang harus dicapai oleh bahan bakar untuk memulai penyalaan, sedangkan waktu ignisi merupakan waktu yang dibutuhkan oleh bahan bakar untuk mencapai temperatur ignisi tersebut. Terjadinya proses ignisi dapat dilihat sebagai pencapaian beberapa kondisi: (1) jumlah energi dari sumber ignisi cukup tinggi untuk mengatasi hambatan aktivasi; (2) laju panas yang terbentuk melebihi laju panas yang hilang; (3) durasi nyala atau sumber ignisi lainnya cukup lama untuk mengawali perambatan nyala (*flame propagation*) (Chigier, 1981). Untuk mengetahui waktu ignisi perlu

diketahui temperatur ignisi dari masing-masing variasi komposisi briket, yang diketahui melalui percobaan pembakaran pada masing-masing variasi komposisi briket dan diukur temperatur ketika mulai terbentuk nyala api pada briket tersebut. Adapun temperatur ignisi untuk setiap variasi komposisi briket adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 3 Temperatur Ignisi Setiap Variasi Komposisi Biomassa Pada Briket

Komposisi Briket (%)		Temperatur Ignisi °C
Biomassa Bagasse Tebu	Batubara Subbituminous	
100	0	167
75	25	235
50	50	347

Setelah mengetahui temperatur ignisi setiap komposisi briket, maka dapat ditentukan waktu ignisi yang diperoleh dengan mengukur lama waktu yang dibutuhkan dari *starting* suhu pembakaran yang diseragamkan yakni pada temperatur 60°C hingga mencapai temperatur ignisi setiap komposisi.



Gambar 4.11 Pengaruh Komposisi Briket Terhadap Temperatur Ignisi

Berdasarkan data temperatur ignisi dari setiap komposisi briket, dapat dilihat bahwa briket dengan komposisi 100% biomassa merupakan

briket yang paling mudah menyala, dan temperatur ignisi komposisi briket terus meningkat seiring dengan berkurangnya komposisi biomassa pada briket tersebut. Hal ini disebabkan karena tingginya *volatile matter* pada briket yang mempengaruhi waktu ignisi dimana semakin tinggi kadar *volatile matter* dalam briket maka semakin cepat waktu ignisi yang dibutuhkan (Grotkjaer & Johansen, 2003).

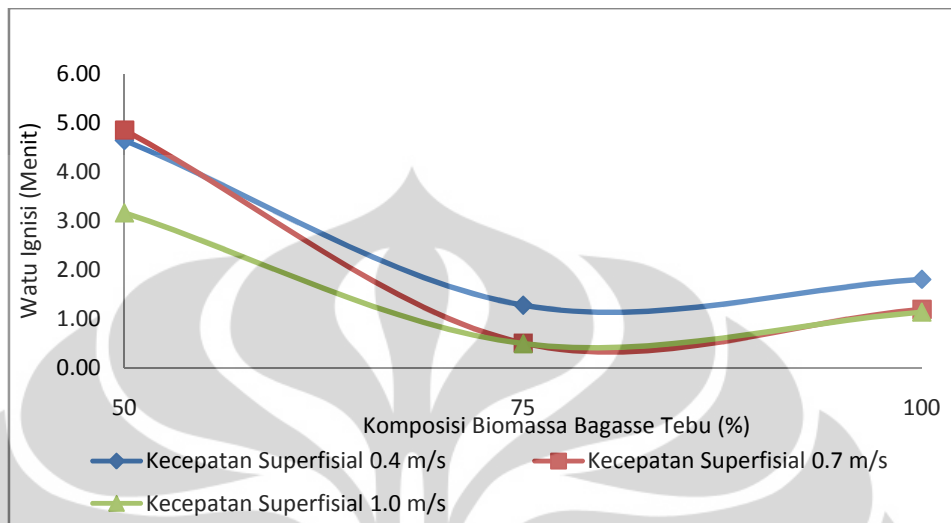
4.5.2 Pengaruh Komposisi Biomassa Terhadap Waktu Ignisi Pada Setiap Variasi Kecepatan Superfisial

Berikut ini adalah data waktu ignisi terdapat pada pembakaran briket dengan variasi kecepatan superfisial dan komposisi biomassa bagasse tebu. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa waktu ignisi ditentukan ketika temperatur pembakaran telah mencapai temperatur ignisi dari setiap macam komposisi briket. Penyajian data keterangan waktu ignisi diklasifikasikan berdasarkan variasi kecepatan superfisial, untuk mengetahui pengaruh adanya variasi komposisi biomassa bagasse tebu dalam briket terhadap waktu ignisi, sehingga pembahasan akan dilakukan dengan fokus berupa pengaruh karakteristik biomassa terhadap pembakaran sedangkan untuk pengaruh kecepatan terhadap temperatur ignisi briket akan dibahas pada bagian selanjutnya.

Tabel 4. 4 Resume Data Waktu Ignisi Pembakaran Briket Pada Variasi Komposisi Briket

Kecepatan Superfisial (m/s)	Komposisi Briket (%)		Waktu Penyalaan		Temperatur Ignisi °C	Temperatur Tertinggi °C
	Biomassa Bagasse Tebu	Batubara Subbituminous	Detik	Menit		
0.2	100	0	108.46	1.81	167	430
	75	25	76.57	1.28	235	968
	50	50	278.64	4.64	347	572
0.3	100	0	71.58	1.19	167	347
	75	25	30.39	0.51	235	644
	50	50	291.03	4.85	347	370
0.4	100	0	68.21	1.14	167	442
	75	25	29.55	0.49	235	627
	50	50	189.80	3.16	347	588

Dengan profil waktu ignisi pada variasi komposisi biomassa sebagai berikut :



Gambar 4. 12 Waktu Ignisi Pada Variasi Komposisi Biomassa Baggase Tebu

Pada dasarnya, lama waktu ignisi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: kadar air, ukuran dan bentuk bahan bakar, suplai oksigen dari aliran udara, kandungan volatile matters pada permukaan bahan bakar dan besar pori-pori pada permukaan. Adanya variasi komposisi briket pada briket memfokuskan analisa pengaruh waktu penyalaan dari faktor kandungan volatile matters dan besar pori-pori pada permukaan.

Pada Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa adanya variasi komposisi biomassa dalam briket mempengaruhi waktu nyala dari briket, dimana hampir di ketiga variasi kecepatan, waktu nyala tercepat terjadi pada seluruh variasi komposisi 75% Biomassa Baggase Tebu : 25% Batubara Subbituminous (1.28 menit; 0.51 menit dan 0.41 menit) Pada variasi komposisi biomassa ini pula temperatur pembakaran mencapai temperatur tertinggi (968°C, 644°C, 627°C)., bila dibandingkan dengan 2 variasi komposisi lainnya. Berdasarkan besarnya kandungan *volatile matter*, briket dengan komposisi 100% biomassa seharusnya muncul sebagai variasi komposisi dengan waktu ignisi tercepat, karena dengan adanya peningkatan kandungan biomassa pada briket, maka ikut meningkatnya temperatur ignisi ketika terbakar di sekitar permukaan bahan dengan memberikan

panas ke permukaan briket secara radiasi (Chigier, 1981) yang kemudian memicu briket lainnya untuk mengalami penyalaan (ignisi)

Selain pengaruh kadar *volatile matters* yang tinggi pada biomassa baggase tebu, terdapat juga pengaruh dari besar pori-pori pada permukaan briket. Ketika terjadi proses devolatilisasi, *volatile matter* akan membentuk suatu *flux volatile* (gas pirolisis) dengan dua macam *fluks volatile*, yakni tar dan gas. Tar terlepas dari permukaan partikel untuk mempertahankan adanya *flame* di sekitar partikel. *Flame* ini kemudian bekerja sebagai media transfer panas ke sekitarnya. Sesaat ketika tar habis untuk mempertahankan adanya *flame*, maka gas terdevolatilisasi untuk menggantikan tar dalam mempertahankan *flame*. Adanya fluks *volatile* dalam jumlah besar akan mendorong *flame sheet* menjauhi permukaan dan *diffusion flame* akan terbentuk jauh dari permukaan, yang akan mengakibatkan oksigen menjadi tidak dapat berdifusi melalui *boundary layer* tersebut ke permukaan (Grotkjer et al, 2003), yang juga akan mempengaruhi pengurangan panas yang diterima oleh partikel.

Fluks volatile yang didefinisikan sebagai suatu laju alir massa yang melewati satu luas penampang (pori) dan besarnya fluks dapat ditentukan dengan menggunakan asumsi bahwa perpindahan massa yang terjadi sangat cepat, sehingga *fluks volatile* ditentukan menggunakan persamaan berikut (Alves and Figueiredo, 1998) =

$$F(r) = \frac{1}{r^\sigma} G_d(r) dr \quad (4.1)$$

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

$$\frac{\partial \rho(r,t)}{\partial t} = -G_d(r) \quad (4.2)$$

Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa secara tidak langsung, fluks berbanding lurus dengan kepadatan (ρ) bahan bakar padat yang

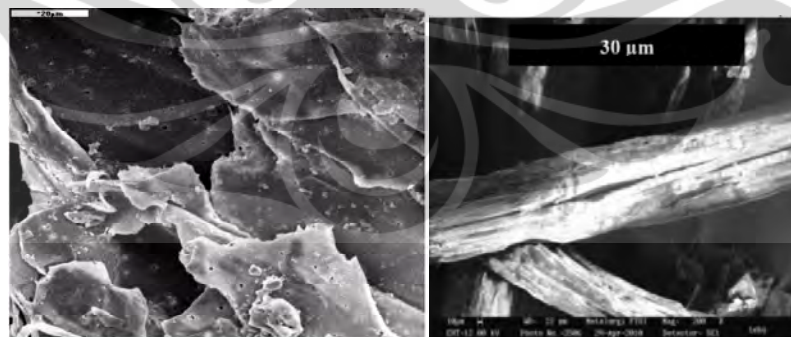
digunakan. Untuk itu, dapat dibandingkan fluks volatile berdasarkan perbandingan kepadatan (ρ) dari bahan pembentuk briket yakni batubara dan biomassa, dimana

$$\rho_{\text{Batubara Subbituminous}} = 1300 \text{ kg m}^{-3} \text{ (Labuschagne, 1987)}$$

$$\rho_{\text{Bagassae tebu}} = 492 \text{ kg m}^{-3} \text{ (Rasul, 1999)}$$

Berdasarkan perbandingan tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar densitas suatu bahan maka akan besar pula *fluks volatile*, sehingga penggunaan biomassa baggase tebu dapat mengurangi laju fluks volatile yang akan mempengaruhi terhadap waktu penyalaan.

Pengaruh besar pori dapat meminimalisir besarnya laju alir volatile yang melewati penampang pori, sehingga fluks *volatile matters* tidak terlalu besar. Biomassa baggase tebu merupakan salah satu biomassa yang memiliki banyak sekali pori pada permukaannya yang memiliki diameter besar karean struktur serat selulosanya, terutama apabila dibandingkan dengan batubara yang memiliki diameter pori yang kecil. Dengan karakter struktur penyusun baggase tebu tersebut, maka dapat menghambat fluks volatile yang berlebih. Berikut ini adalah gambar struktur pori dari biomassa baggase tebu dengan menggunakan metode *Scanning Electron Micrograph* (SEM).

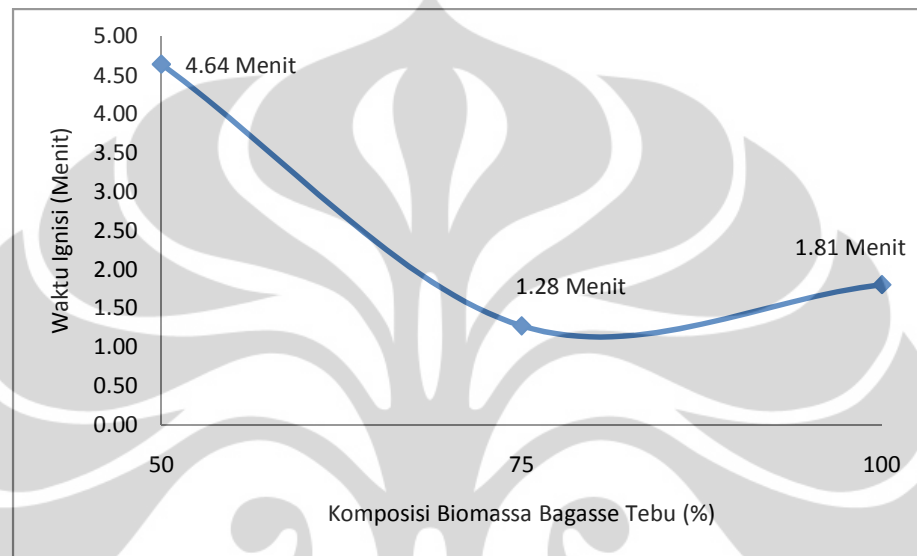


(a)

(b)

Gambar 4. 13 (a) *Scanning Electron Micrograph* dari *Bagasse* Mentah yang Menunjukkan Banyak Pori Besar pada Permukaan (Devnarain dkk., 2002) ; (b) Hasil SEM bagas tebu (Fisafarani, 2010).

Berdasarkan penjelasan tersebut, adanya penambahan biomassa baggase tebu dapat mempengaruhi fluks volatile yang berkaitan dengan proses devolatilisasi yang juga berkaitan dengan cepatnya waktu ignisi yang terjadi. Berikut ini adalah grafik pengaruh penambahan komposisi biomassa baggase tebu terhadap waktu ignisi pada kecepatan 0.2 m/s.



Gambar 4. 14 Waktu Ignisi Pada Kecepatan Superfisial 0.2 m/s dengan 3 Variasi Komposisi Biomassa

Pada grafik ini, kecepatan superfisial diseragamkan pada 0.4 m/s sehingga analisa terhadap waktu ignisi hanya dilakukan berdasarkan pengaruh karakteristik biomassa dan batubara dalam briket. Terlihat bahwa terjadi perbedaan yang signifikan terhadap waktu ignisi pada komposisi 50% biomassa baggase tebu (waktu ignisi = 4.64 menit) dibandingkan dengan dua komposisi lainnya yang lebih cepat (waktu ignisi komposisi 75% biomassa = 1.28 menit dan waktu ignisi komposisi 100% biomassa = 1.81 menit). Pada briket dengan komposisi 50% biomassa masih adanya separuh dominasi dari karakteristik batubara yang memiliki waktu ignisi yang lambat, karena kadar *volatile matter* yang rendah pada batubara dan juga batubara memiliki porositas dan besar pori yang terhitung rendah, sehubungan dengan semakin tinggi kadar karbon suatu bahan bakar, seperti batubara, maka porositas dan besar pori akan berkurang. (King dan Wilkins, 1944). Berkurangnya pori pada batubara akan berpengaruh pada laju alir volatil per satuan luas penampang (pori) atau yang disebut dengan *fluks volatil*,

yang kemudian mempengaruhi proses devolatilisasi dalam pembakaran. Efek dari karakteristik batubara ini masih mempengaruhi waktu penyalaan meskipun adanya komposisi biomassa baggase tebu pada briket sebesar 50%, dimana biomassa baggase tebu ini memiliki besar pori yang cukup besar dibandingkan dengan batubara, yang dapat mempercepat proses devolatilisasi berlangsung.

Pengaruh kadar *volatile matter* biomassa baggase tebu yang tinggi dan besarnya pori pada baggase tebu maka berdampak pada cepatnya waktu ignisi pada pembakaran briket komposisi 100% biomassa (waktu ignisi = 1.81 menit). Berdasarkan analisa tersebut, seharusnya terjadi penambahan waktu ignisi seiring dengan berkurangnya komposisi biomassa bagasse tebu pada briket. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pembakaran briket dengan komposisi 75% biomasa baggase tebu dan 25% batubara subbituminous menghasilkan waktu ignisi yang paling cepat (waktu ignisi = 1.28 menit). Hal ini antara lain kemungkinan terjadi karena adanya pengaruh kandungan abu (*ash*) dan kandungan *fixed carbon* pada briket. Saat terjadi pembakaran biobriket, abu hasil pembakaran biomassa ini kemudian menghambat naiknya suhu pembakaran biobriket (Vassilev, 2010). Hal ini didukung dengan nilai konduktivitas termal abu (*ash*) yang tinggi, $k_{ash} = 8 \text{ W/mK}$ (Slifka, 1998), dibandingkan dengan $k_{karbon} = 1.7 \text{ W/mK}$ sehingga abu akan menyerap panas lebih cepat dibanding *fixed carbon*. Berikut ini adalah tabel yang menampilkan hasil *proximate analysis* briket pada setiap komposisi briket untuk mempermudah dilakukannya perbandingan kandungan abu dan *fixed carbon* pada setiap variasi komposisi briket.

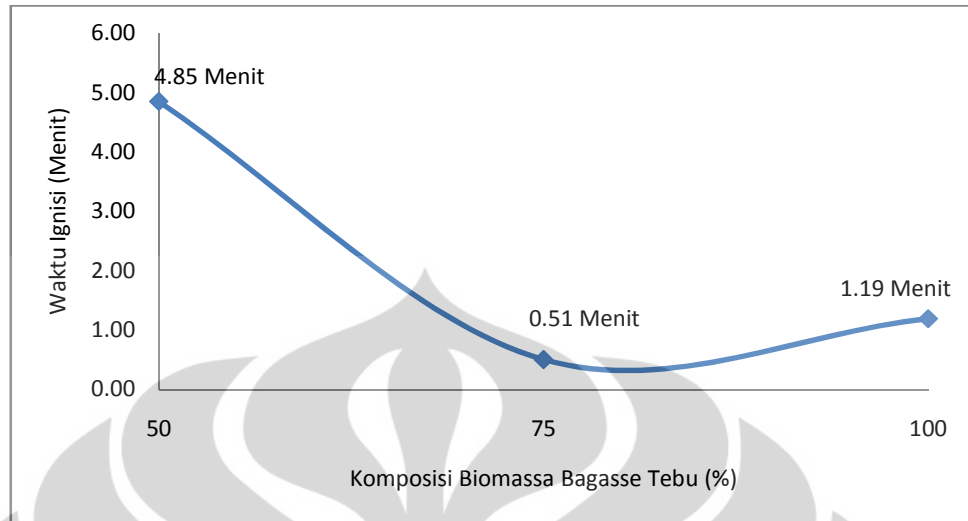
Tabel 4. 5 Hasil Analisa Proximate Briket Pada Setiap Komposisi Briket

Komposisi Briket (%)		Ash (%wt,adb)	Volatile Matter (% wt, adb)	Fixed Carbon (% wt, adb)	Moisture Content (% wt, adb)
Biomassa Bagasse Tebu	Batubara Subbituminous				
100	0	4.17	67.83	13.8	14.21
75	25	4.1	61.13	20.945	13.835
50	50	4.03	54.43	28.09	13.46

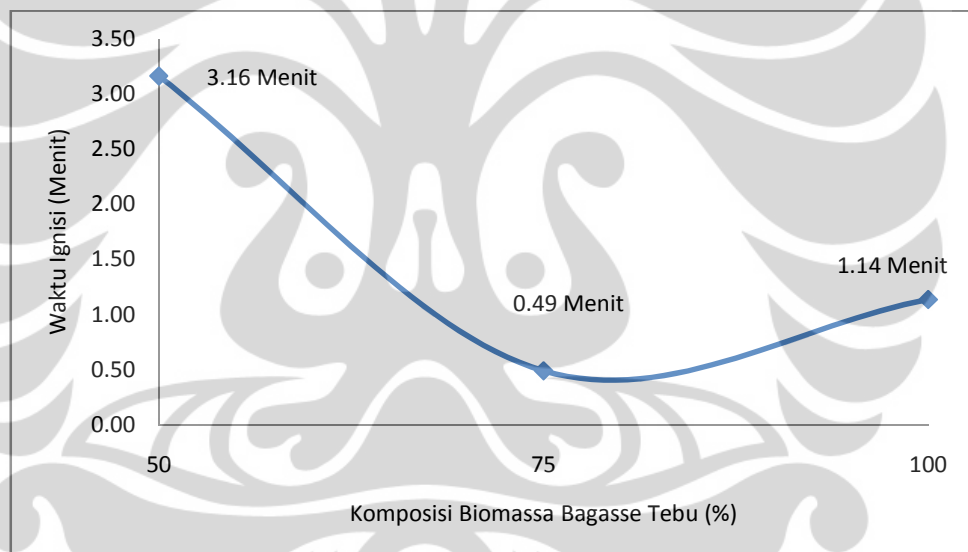
Kandungan abu semakin meningkat seiring dengan meningkatnya persentase komposisi biomassa bagasse tebu pada briket, sedangkan nilai *fixed carbon* semakin menurun seiring dengan peningkatan persentase komposisi biomassa bagasse tebu. Briket dengan komposisi 100% biomassa memiliki kadar abu yang paling tinggi dan kadar *fixed carbon* yang paling rendah, sehingga efek penyerapan panas akibat besarnya kandungan abu masih mendominasi. Selain itu, pada briket dengan komposisi 100% biomassa ini memiliki *kadar moisture content* yang paling tinggi dibandingkan dengan komposisi lainnya, sehingga hal ini berpengaruh terhadap waktu untuk menguapkan *moisture content* dan kemudian pelepasan *volatile matter*. Hal ini terjadi karena semakin tinggi *moisture content* maka akan memperpanjang waktu penguapan *moisture content* pada briket.

Pada briket dengan komposisi 75% Biomassa bagasse tebu : 25% batubara merupakan komposisi yang optimal untuk meminimalisir pengaruh abu yang dapat menyerap panas pembakaran yang kemudian menghambat naiknya suhu pembakaran biobriket, karena adanya persentase *fixed carbon* yang terhitung tinggi. Selain itu, pada komposisi ini, kadar *moisture content* tidak tinggi sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan *moisture content* relatif singkat. Maka dari itu, komposisi briket yang optimal ini menghasilkan waktu penyalaan yang paling cepat diantara kedua variasi komposisi lainnya.

Fenomena serupa juga tampak pada pembakaran briket pada dua variasi kecepatan yang terdapat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 berikut ini.



Gambar 4. 15 Waktu Ignisi Pada Kecepatan Superfisial 0.3 m/s dengan 3 Variasi Komposisi Biomassa



Gambar 4. 16 Waktu Ignisi Pada Kecepatan Superfisial 0.4 m/s dengan 3 Variasi Komposisi Biomassa

4.5.3 Pengaruh Kecepatan Superfisial Terhadap Waktu Ignisi Pada Setiap Variasi Komposisi Biomassa

Setelah mengetahui pengaruh komposisi biomassa bagase pada briket terhadap waktu ignisi, maka selanjutnya akan dianalisa pengaruh kecepatan superfisial terhadap waktu ignisi. Penyajian data keterangan

waktu ignisi berikut ini diklasifikasikan berdasarkan variasi komposisi biomassa, untuk mengetahui pengaruh adanya variasi kecepatan superfisial aliran udara terhadap waktu ignisi, sehingga pembahasan akan dilakukan dengan fokus pengaruh kecepatan superfisial terhadap pembakaran

Tabel 4. 6 Resume Data Waktu Ignisi Pembakaran Briket Pada Variasi Kecepatan Superfisial

Komposisi Briket (%)		Kecepatan Superfisial (m/s)	Waktu Penyalaan		Temperatur Ignisi °C	Temperatur Tertinggi °C
Biomassa Bagasse Tebu	Batubara Subbituminous		Detik	Menit		
100	0	0,2	108,46	1,81	167	430
		0,3	71,58	1,19	167	347
		0,4	68,21	1,14	167	442
75	25	0,2	76,57	1,28	235	968
		0,3	30,39	0,51	235	644
		0,4	29,55	0,49	235	627
50	50	0,2	278,64	4,64	347	572
		0,3	251,03	4,18	347	370
		0,4	189,80	3,16	347	588

Pada dasarnya, lama waktu ignisi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain : kadar air, ukuran dan bentuk bahan bakar, suplai oksigen dari aliran udara, kandungan *volatile matters* pada permukaan bahan bakar dan besar pori-pori pada permukaan. Adanya variasi kecepatan superfisial pada pembakara briket memfokuskan analisa pengaruh waktu penyalaan dari faktor suplai oksigen dari aliran udara serta pengaruh efek turbulensi karena adanya *forced draft* aliran udara yang dialirkan melalui bagian bawah kompor dengan menggunakan bantuan blower.

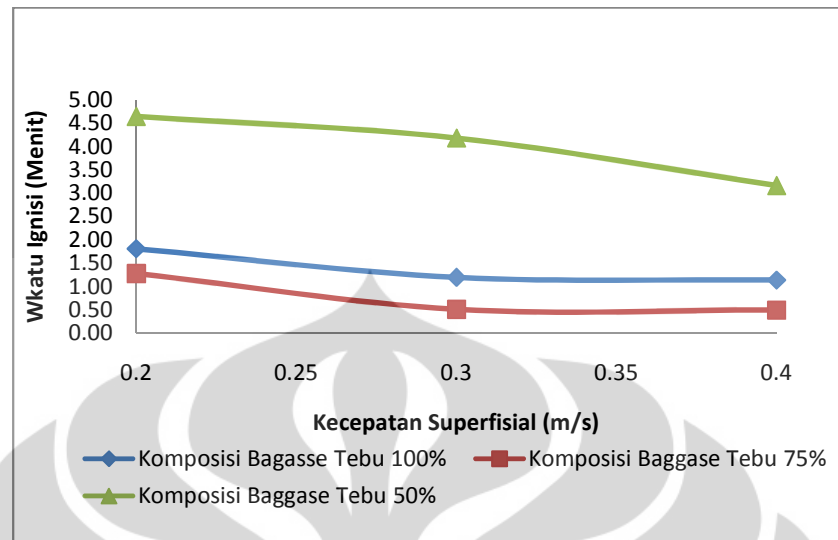
Berdasarkan Tabel 4.6 diatas,dapat terlihat bahwa waktu ignisi tercepat terjadi pada pembakaran dengan kecepatan superfisial 0.4 m/s (waktu ignisi = 1.14 menit; 0.49 menit dan 3.16 menit). Hal ini terjadi karena semakin besar kecepatan superfisial aliran udara, maka akan terjadi peningkatan temperatur maksimum yang disebabkan oleh laju reaksi pembakaran yang semakin cepat akibat adanya eksese oksigen. Eksese oksigen ini menyebabkan adanya peningkatan koefisien perpindahan massa oksigen sehingga tahanan perpindahan massa oksigen akan semakin kecil

(Sumarni, 2010). Peningkatan kecepatan superfisial ini juga berpengaruh terhadap adanya efek turbulensi dan *quenching* pada pembakaran. Turbulensi meningkat seiring dengan adanya peningkatan kecepatan superfisial aliran udara, yang kemudian mempengaruhi perpindahan panas secara konveksi dari pellet promotor ke briket akan semakin. Hal ini akan menyebabkan awan *volatile matters* pada permukaan briket yang muncul setelah proses devolatilisasi akan lebih mudah untuk dipecahkan sehingga oksigen eksternal akan mudah menyentuh briket dan berakibat pasokan oksigen untuk proses pembakaran pada permukaan briket menjadi cukup sehingga waktu ignisi yang dihasilkan semakin cepat. (Rusmalasari, 2008)



Gambar 4. 17 Resirkulasi Aliran Udara Pada Pembakaran Briket (Muliana, 2008)

Pengaruh peningkatan waktu ignisi ini juga disebabkan karena adanya dimples (cekukan) pada biobriquet yang menyebabkan timbulnya aliran turbulen. Adanya dimples maka akan memperbesar aliran udara yang mengelilingi bola yang menyebabkan adanya resirkulasi udara sehingga waktu tinggal udara dalam kompor menjadi lebih lama.

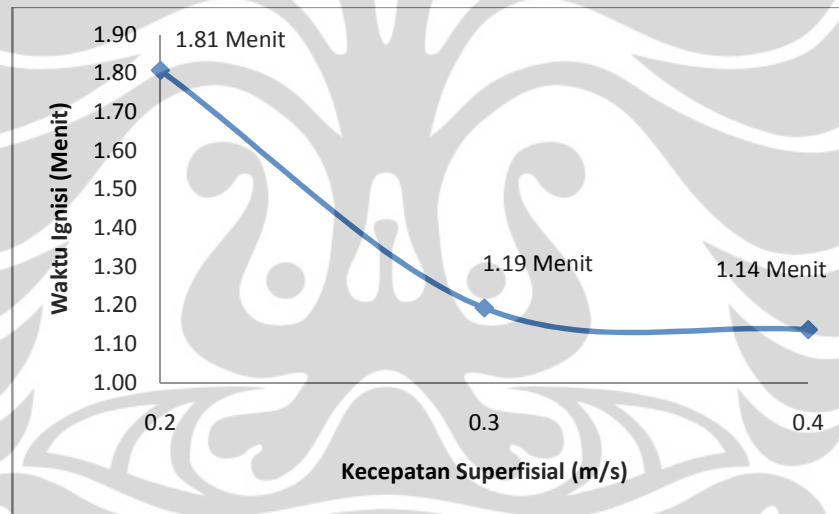


Gambar 4. 18 Waktu Ignisi Pada Variasi Kecepatan Superfisial (m/s)

Berdasarkan Gambar 4.18, terlihat profil yang hampir sama untuk setiap variasi kecepatan, dimana pada variasi kecepatan superfisial terbesar terdapat waktu ignisi yang semakin singkat. Hal ini berdasarkan pada peningkatan turbulensi udara yang mempengaruhi perpindahan panas secara konveksi. Sedangkan pada kecepatan superfisial kecil dimana suplai udara sedikit ke ruang pembakaran menyebabkan efek turbulensi yang kecil sehingga peristiwa transfer panas secara konveksi dari pellet promotor ke promotor ke briket pemasakan kecil, akibatnya awan *volatile matters* pada permukaan briket setelah terjadi proses devolatilisasi akan sulit untuk dipecahkan. Oleh karena itu oksigen eksternal akan sulit menyentuh briket dan berakibat pada kurangnya pasokan oksigen untuk proses pembakaran pada briket sehingga ignition time yang dihasilkan menjadi lebih lama.

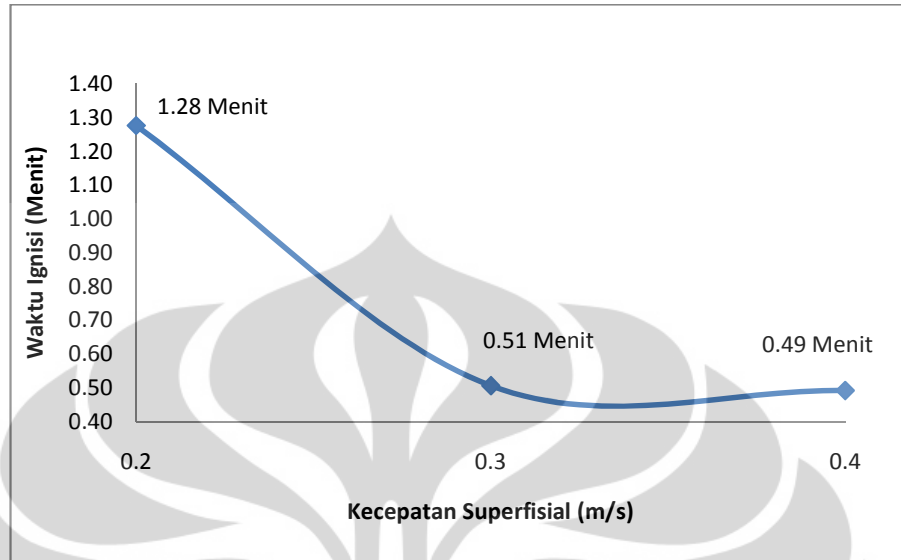
Dengan meninjau Gambar 4.19, dapat dilakukan analisa pengaruh variasi kecepatan terhadap waktu ignisi, karena pada gambar tersebut komposisi biomassa yang digunakan seragam, yakni briket dengan komposisi 100% biomassa. Terdapat profil yang serupa sesuai dengan pembahasan pada dua paragraf sebelumnya, dimana waktu ignisi tercepat terjadi pada variasi kecepatan terbesar yakni 0.4 m/s (waktu ignisi = 1.14 menit) karena adanya pengaruh turbulensi pada udara yang mengakibatkan besarnya perpindahan panas secara konveksi yang akan mempercepat

terjadinya proses devolatilisasi sehingga mempercepat waktu penyalan. Waktu ignisi semakin meningkat (semakin lama) sesuai dengan penurunan kecepatan superfisial yang digunakan, dimana pada kecepatan 0.3 m/s waktu ignisi yang diperoleh adalah 1.19 menit dan waktu ignisi terlama diperoleh dari variasi kecepatan superfisial 0.2 m/s yakni selama 1.81 menit akibat dari menurunnya turbulensi udara sehingga sehingga perpindahan panas konveksi dari pellet promotor ke briket pemasakan kecil, akibatnya awan *volatile matters* pada permukaan briket setelah terjadi proses devolatilisasi akan sulit untuk dipecahkan. Oleh karena itu oksigen eksternal akan sulit menyentuh briket dan berakibat pada kurangnya pasokan oksigen untuk proses pembakaran pada briket sehingga ignition time yang dihasilkan menjadi lebih lama.

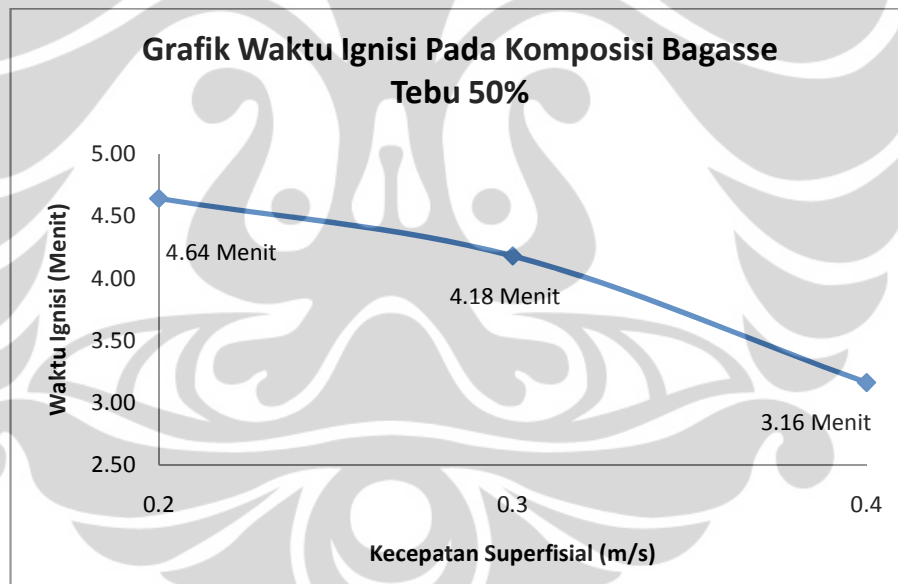


Gambar 4. 19 Waktu Ignisi Pada Komposisi Bagase Tebu 100%

Fenomena yang terjadi pada profil waktu ignisi terhadap kecepatan superfisial juga terjadi pada pembakaran briket komposisi 75% biomassa dimana pada komposisi 75% (Gambar 4.20) waktu ignisi tertinggi dicapai pada variasi kecepatan superfisial 0.4 m/s (0.49 menit) dan waktu ignisi terlama dicapai pada variasi kecepatan superfisial 0.2 m/s (1.28 menit). Sama halnya pada 50% biomassa (Gambar 4.21) waktu ignisi tertinggi dicapai pada variasi kecepatan superfisial 0.4 m/s (3.16 menit) dan waktu ignisi terlama dicapai pada variasi kecepatan superfisial 0.2 m/s (4.64 menit).



Gambar 4. 20 Waktu Ignisi Pada Komposisi Bagase Tebu (75%)



Gambar 4. 21 Waktu Ignisi Pada Komposisi Bagase Tebu (50%)

4.6 Uji Emisi Pembakaran Biobriket

Emisi CO diperoleh dari reaksi oksidasi tidak sempurna hidrokarbon dan karbon yang terkandung dalam briket. Peristiwa pembakaran biobriket diawali dengan proses penghilangan kadar air adan gas yang terdapat pada briket,

kemudian dilanjutkan dengan reaksi pembakaran volatile matter yang menghasilkan panas hingga mencapai temperatur maksimumnya, dimana ketika mencapai temperatur maksimum terjadi reaksi pembakaran sempurna dimana CO terkonversi menjadi CO₂. Pada saat terjadi pembakaran sempurna tersebut, kadar CO menurun drastis hingga sangat rendah. Ketika terjadi penurunan temperatur secara gradual, maka tidak lagi terjadi pembakaran secara sempurna sehingga emisi CO kembali tinggi, sehingga dapat dikatakan bahwa untuk mencapai kadar emisi CO yang rendah pada pembakaran perlu dilakukan upaya agar dapat diperoleh reaksi pembakaran sempurna. Reaksi pembakaran sempurna itu sendiri meliputi tiga faktor, yakni kecukupan waktu tinggal reaksi untuk reaksi CO ke CO₂; kecukupan oksigen untuk menyempurnakan reaksi oksidasi dan temperatur reaksi yang cukup tinggi untuk memperbesar kinetika reaksi oksidasi. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat dilihat pengaruh kecepatan superfisial dan variasi komposisi biomassa pada briket terhadap emisi CO pada pembakaran menggunakan kompor briket dengan bahan bakar berupa biobriket.

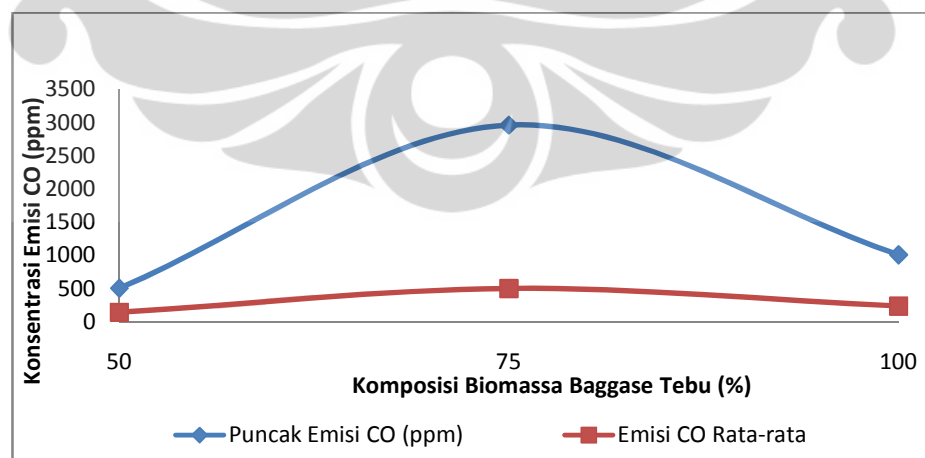
4.6.1 Pengaruh Komposisi Biomassa Terhadap Emisi CO Pada Setiap Variasi Kecepatan Superfisial

Tabel 4.7 Resume Data emisi CO Pembakaran Briket Pada Variasi Komposisi Briket

Kecepatan Superfisial (m/s)	Komposisi Briket (%)		Puncak Emisi CO (ppm)	Emisi CO Rata-Rata (ppm)
	Biomassa Bagasse Tebu	Batubara Subbituminous		
0.4	100	0	1003	232
	75	25	2958	497
	50	50	501	138
0.3	100	0	571	196
	75	25	352	67
	50	50	269	119
0.2	100	0	332	100
	75	25	453	89
	50	50	161	54

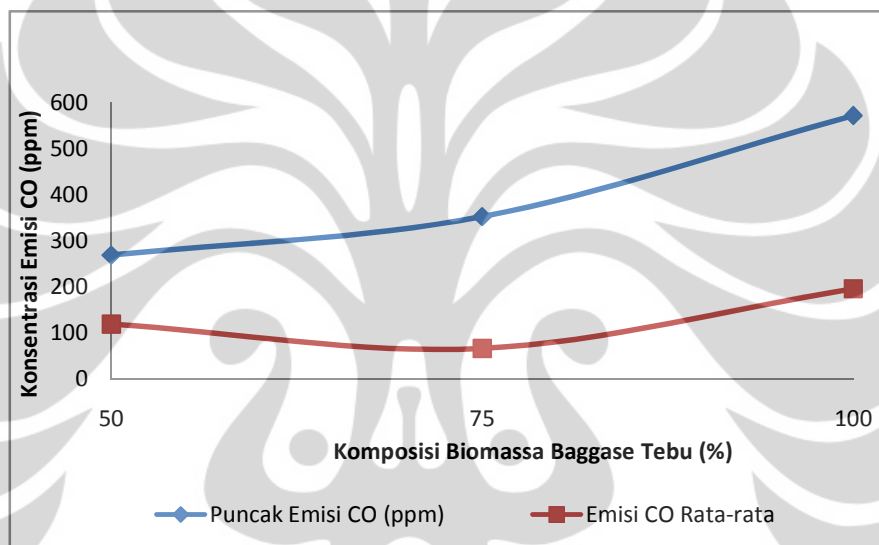
Komposisi biomassa dan batubara dalam briket sejatinya akan memberikan pengaruh terhadap emisi CO yang dihasilkan, hal ini terkait dengan

kandungan *volatile matters*, abu serta *fixed carbon* pada briket. Pengaruh ini terlihat karena semakin besarnya komposisi *fixed carbon* pada bahan baku briket akan mengakibatkan semakin kecilnya porositas briket sehingga keluaran flux *volatile* semakin besar. Flux *volatile* bila terlalu besar akan mendorong *flame sheet* menjauhi permukaan dan *diffusion flame* akan terbentuk jauh dari permukaan. Bila ini terjadi, oksigen menjadi tidak dapat terdifusi melalui *boundary layer* tersebut ke permukaan (Grotkjær dkk., 2003) dan kurangnya pasokan udara maka dapat menyebabkan proses konversi CO menjadi CO₂ tidak sempurna sehingga banyak terbentuk emisi CO. Kemudian pengaruh yang dapat diberikan oleh biomassa terhadap besarnya kadar emisi CO yakni besarnya kandungan abu pada biomassa bila dibandingkan dengan batubara (Tabel 4.5). Bila dihubungkan dengan kadar abu pada briket, emisi CO yang tinggi disebabkan oleh penurunan temperatur yang terjadi pada fasa pembakaran *char* dimana pada tahap ini banyak abu yang terbentuk karena konduktivitas termal abu (*ash*) lebih tinggi dibandingkan konduktivitas termal karbon sehingga pembentukan CO₂ yang membutuhkan energi (panas) tinggi mengalami kekurangan panas dan hanya bisa membentuk emisi CO. Berdasarkan Tabel 4.7, diperoleh data yang beragam terhadap besar emisi CO rata-rata, dimana kadar CO rata-rata tertinggi dan terendah tidak sama pada setiap variasi kecepatannya. Untuk itu akan dilakukan analisa hubungan profil emisi CO terhadap komposisi biomassa dan batubara dalam briket, yang dilakukan pada beberapa variasi kecepatan yang telah ditentukan.



Gambar 4. 22 Profil Emisi CO Pada Kecepatan Superfisial 0.2 m/s

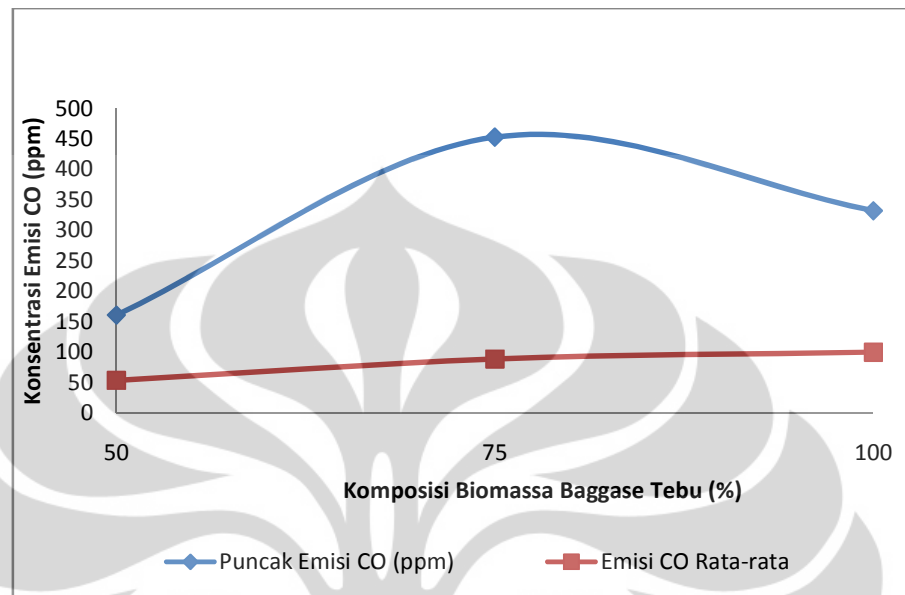
Pada Gambar 4.22, terlihat profil dimana emisi CO rata-rata terbesar dihasilkan pada variasi komposisi 75% biomassa (497 ppm). Besar dugaanterjadinya hal ini disebabkan karena pada komposisi 75% biomassa ini masih dipengaruhi oleh kadar abu yang tinggi dan juga *fixed carbon* yang tinggi. Adanya kadar abu menyebabkan penurunan temperatur pembakaran akibat konduktivitas termal dari abu yang lebih besar dari konduktivitas termal pada karbon sehingga ketika terjadi penurunan temperatur pembakaran, temperatur reaksi tidak cukup tinggi untuk memperbesar kinetika reaksi oksidasi, sehingga tidak terbentuk reaksi oksidasi sempurna yang menghasilkan CO₂.



Gambar 4. 23 Profil Emisi CO Pada Kecepatan Superfisial 0.3 m/s

Pada Gambar 4.23 terlihat profil dimana terjadi kenaikan emisi CO seiring dengan kenaikan komposisi biomassa pada briket, dengan rata-rata emisi CO tertinggi terbentuk pada variasi 100% biomassa baggas tebu. Hal ini menandakan besarnya pengaruh kadar abu yang tinggi pada briket, yang kemudian menyerap panas pembakaran sehingga temperatur pembakaran tidak cukup memenuhi untuk memenuhi terjadinya pembentukan CO₂ dengan reaksi pembakaran sempurna. Berdasarkan hasil penelitian ini juga diketahui bahwa pada kecepatan superfisial 0.7 m/s, emisi CO yang dihasilkan paling kecil dihasilkan oleh pembakaran briket dengan komposisi biomassa 75% (67 ppm). Diduga komposisi ini merupakan

komposisi paling optimum untuk pembakaran dengan emisi CO terendah pada kecepatan superfisial 0.3 m/s.



Gambar 4. 24 Profil Emisi CO Pada Kecepatan Superfisial 0.4 m/s

Pada Gambar 4.24, terlihat bahwa emisi CO rata-rata dihasilkan tertinggi oleh komposisi biomassa 100% (100 ppm) karena kandungan abu yang paling tinggi pada komposisi 100% biomassa yang mengakibatkan kadar abu adanya peranan abu dalam penyerap panas sehingga emisi CO cenderung naik. Sedangkan emisi CO rata-rata terendah diperoleh dari komposisi 50% biomassa 50% batubara (54 ppm), yang merupakan rata-rata emisi CO terkecil diantara keseluruhan emisi CO yang dihasilkan pada setiap variasi komposisi. Dengan melihat keseluruhan profil temperatur pada variasi kecepatan superfisial ini, dapat dikatakan bahwa pengaruh komposisi biomassa pada briket cenderung berbeda-beda dan sulit untuk dianalisa tren yang sama pada profil-profil emisi CO tersebut. Hal ini terjadi karena besarnya emisi CO tidak terlepas dari variabel kecepatan superfisial udara pada proses pembakaran, sehingga efek dari kecepatan superfisial dan komposisi biomassa saling berpengaruh dan tidak dapat dianalisa secara terpisah.

4.6.2 Pengaruh Kecepatan Superfisial Terhadap Emisi CO Pada Setiap Variasi Komposisi Biomassa

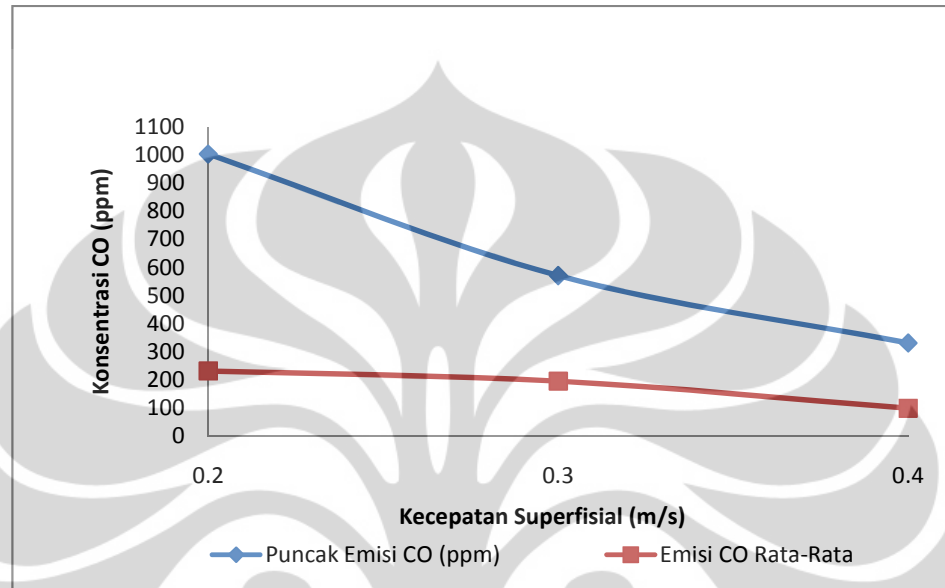
Untuk hasil pengamatan terhadap emisi CO yang dihasilkan pada setiap pembakaran dengan variasi kecepatan superfisial dapat dilihat pada Tabel 4.7. Berdasarkan pengamatan terhadap data emisi CO yang diperoleh, dua dari tiga data emisi CO terendah ada pada variasi kecepatan 0.4 m/s (100 ppm dan 54 ppm). Sedangkan satu data dengan variasi CO tertinggi lainnya yakni pada kecepatan superfisial 0.3 m/s pada komposisi 75% Biomassa dan 25% batubara.

Tabel 4. 8 Resume Data emisi CO Pembakaran Briket Pada Variasi Kecepatan Superfisial

Komposisi Briket (%)		Kecepatan Superfisial (m/s)	Puncak Emisi CO (ppm)	Emisi CO Rata-Rata (ppm)
Biomassa Bagasse Tebu	Batubara Subbituminous			
100	0	0.2	1003	232
		0.3	571	196
		0.4	332	100
75	25	0.2	2958	497
		0.3	352	67
		0.4	453	89
50	50	0.2	501	138
		0.3	269	119
		0.4	161	54

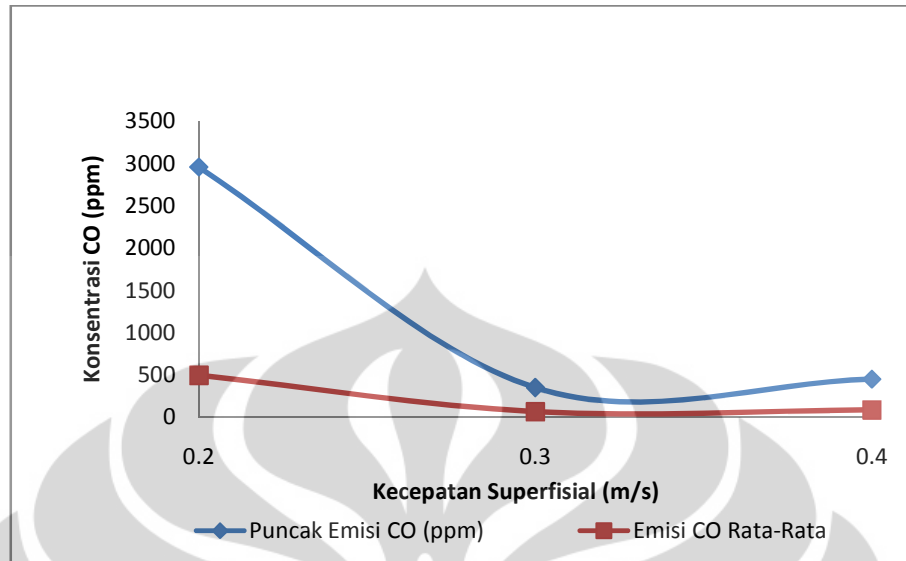
Kemudian dilakukan analisa terhadap setiap profil emisi CO pada setiap variasi kecepatan pada pembakaran briket yang memiliki komposisi seragam, guna melihat efek kecepatan superfisial terhadap pembentukan CO. Pada Gambar 4.25 dapat merepresentasikan adanya hubungan kecepatan terhadap pembentukan emisi CO dimana pada variasi kecepatan superfisial tertinggi (0.4 m/s) diperoleh emisi CO rata-rata yang paling sedikit (100 ppm). Hal ini terjadi karena pada kecepatan superfisial yang tinggi, maka suplai oksigen untuk kebutuhan reaksi oksidasi CO menjadi CO₂ telah tercukupi. Kemudian pada kecepatan superfisial yang lebih kecil, maka suplai oksigen untuk membentuk sebuah pembakaran sempurna kurang yang akhirnya menyebabkan terjadinya

peristiwa pembakaran tidak sempurna yang menghasilkan emisi CO dengan kadar yang tinggi (pada kecepatan superfisial 0.2 m/s menghasilkan emisi CO rata-rata sebesar 232 ppm).



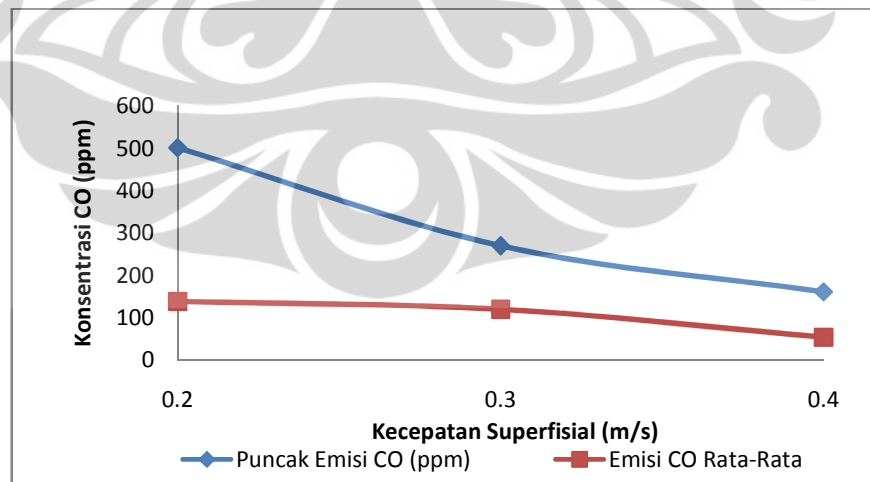
Gambar 4. 25 Profil Emisi CO Pada Komposisi Biomassa 100%

Namun suatu fenomena terjadi pada peristiwa pembakaran dengan variasi kecepatan superfisial pada komposisi briket yang diseragamkan pada briket dengan komposisi 75% biomassa (Gambar 4.26). Emisi CO rata-rata paling kecil dihasilkan pada kecepatan superfisial 0.3 m/s (67 ppm) dimana seharusnya emisi CO yang dihasilkan lebih besar dari emisi CO pada kecepatan superfisial 0.4m/s berdasarkan suplai oksigen. Namun, hal ini bisa terjadi karena pada komposisi briket 75% Biomassa ini terjadi pengaruh dimana pada kecepatan superfisial 0.4 m/s telah terjadi efek *quenching* (pendinginan) akibat adanya eksesi udara yang memicu terbentuknya CO. Akan tetapi perbedaan emisi CO rata-rata pada kecepatan superfisial 0.3 m/s dan kecepatan 0.4 m/s ini tidak terlalu signifikan (22 ppm), dibandingkan dengan perbedaannya dengan emisi CO rata-rata pada kecepatan 0.2 m/s yang paling tinggi (497 ppm) karena adanya peristiwa pembakaran tidak sempurna akibat kurangnya suplai oksigen pada pembakaran akibat kecilnya kecepatan superfisial udara yang memasuki ruang pembakaran.



Gambar 4. 26 Profil Emisi CO Pada Komposisi Biomassa 75%

Pada Gambar 4.27 terlihat profil emisi CO yang hampir sama dengan profil emisi CO pada gambar 4.25, dimana rata-rata emisi CO terkecil terdapat pada kecepatan superfisial 0.4 m/s akibat terbentuknya pembakaran sempurna CO menjadi CO_2 karena suplai oksigen yang memadai. Sedangkan untuk kecepatan superfisial terendah 0.2 m/s, emisi CO rata-rata yang dihasilkan merupakan yang paling tinggi diantara kedua variasi kecepatan lainnya (138 ppm) akibat peristiwa pembakaran yang tidak sempurna karena kurangnya suplai udara pada pembakaran



Gambar 4. 27 Profil Emisi CO Pada Komposisi Biomassa 50%

Untuk mengetahui hubungan kecepatan superfisial udara dengan emisi CO dapat pula dianalisa menggunakan perhitungan nilai kalor pembakaran yang merupakan kondisi real dari besarnya energi panas yang diberikan oleh pembakaran. Perhitungan nilai kalor pembakaran ini menggunakan persamaan berikut :

$$Q = \text{Massa Udara (kg)} \times C_p \text{ Udara } \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) \times \text{Integrasi Temperatur Pembakaran } (^{\circ}\text{C}) \quad (4.3)$$

Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Nilai Kalor Pembakaran

Komposisi Biobriket	Q (kkal)		
	0,2 m/s	0,3 m/s	0,4m/s
50% Bagasse Tebu	15513.5	14344.2	13924.5
75% Bagasse Tebu	12905.6	15570.1	16234.4
100% Bagasse Tebu	3677.2	4530.4	4591.6

Perhitungan nilai kalor pembakaran (entalpi pembakaran) dilakukan guna mengidentifikasi besar energi panas yang diberikan oleh pembakaran terhadap sistem. Perhitungan nilai kalor pembakaran terkait dengan kenaikan dan penurunan suhu pembakaran, laju aliran udara dan *physical properties* dari udara, seperti densitas dan kalor jenis udara, dimana udara bertindak sebagai media pembawa aliran panas (*flue gas*). Apabila transfer panas = 0, maka produk pembakaran menerima semua energi yang dibangkitkan dari prose pembakaran sehingga mencapai temperatur maksimum pembakaran yang disebut dengan *Adiabatic Flame Temperatur* (Rohmat, 2000). Namun pada penelitian ini terdapat panas yang terserap akibat radiasi ke sekitar dinding kompor dan terbuang secara konveksi alamiah (*natural convection*), sehingga sistem pembakaran ini diklasifikasikan sebagai *Non Adiabatic Flame Temperature*. Berdasarkan hasil perhitungan nilai kalor pembakaran, diperoleh suatu tren yang hampir sama untuk ketiga variasi kecepatan pada satu komposisi biobriket yang sama, dimana semakin tinggi kecepatan, akan semakin tinggi kalor pembakaran yang dihasilkan. Pada kecepatan rendah dengan temperatur pembakaran yang rendah akan memperbesar panas yang terbuang secara radiasi, karena perpindahan panas radiasi terjadi pada suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan panas konveksi.

Semakin rendah temperatur pembakaran, maka panas yang dihasilkan tidak memenuhi panas yang dibutuhkan untuk reaksi pembakaran sempurna, sehingga terjadi pembakaran tidak sempurna yang menghasilkan emisi CO. Maka dapat dikorelasikan bahwa semakin tinggi kecepatan superfisial aliran udara akan meningkatkan laju pembakaran biobriket dan semakin meningkatnya laju pembakaran maka temperatur pembakaran semakin meningkat. Ketika temperatur pembakaran meningkat, produksi emisi CO menurun sehingga semakin tinggi kecepatan superfisial emisi CO yang dihasilkan akan semakin rendah.

4.7 Uji Efisiensi Termal Pembakaran Biobriket

4.7.1 Hasil Perhitungan Efisiensi Termal

Berdasarkan hasil perhitungan (Lampiran B) diperoleh nilai efisiensi termal untuk setiap variasi komposisi briket sebagai berikut :

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Efisiensi Termal Untuk Setiap Variasi Komposisi Biomassa

Komposisi Briket (%)		Calorific Value (kKal/kg)	Efisiensi Termal (%)
Biomassa Bagasse Tebu	Batubara Subbituminous		
100	0	3636	0.338
75	25	4081	0.349
50	50	4526	0.383

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan besar kecepatan superfisial aliran udara yang sama yakni 0.2 m/s, karena peninjauan yang akan dilakukan mengarah pada pengaruh komposisi biomassa bagasse tebu pada efisiensi termal pembakaran. Berdasarkan hasil perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 4.9, terlihat bahwa nilai efisiensi termal briket pada seluruh variasi komposisi biomassa berada sangat rendah apabila dibandingkan dengan kisaran rata-rata efisiensi termal pembakaran briket biomassa pada kompor briket yang dapat mencapai persentase efisiensi termal hingga 31.41% (Supriyatno, 2010). Nilai efisiensi termal akan besar jika terdapat air yang menguap dalam jumlah besar, namun berdasarkan hasil penelitian ini temperatur pemanasan tidak mencapai titik didih air

sehingga tidak terdapat air yang menguap, sehingga panas yang disuplai jauh lebih besar dari panas yang diterima sehingga nilai efisiensi termal sangat kecil.

Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi rendahnya nilai efisiensi termal pada penelitian ini, antara lain karena besarnya panas yang terserap oleh briket untuk memanaskan bagian dalam briket itu sendiri. Hal ini menjadi salah satu kelemahan penggunaan briket sebagai bentuk bahan bakar, dimana pada briket terdapat penyerapan panas yang besar terhadap volume briket, dibandingkan dengan bahan baku bentuk pellet. Kondisi ini akan menyebabkan pengurangan jumlah panas yang terbawa oleh *flue gas* sehingga panas yang diberikan oleh *flue gas* tidak cukup besar untuk memanaskan air hingga menguap.

Selain itu, diduga adanya pengaruh dari desain kompor yang tidak sesuai untuk pembakaran menggunakan bahan bakar biobriket. Pengaruh desain kompor ini dapat dianalisa berdasarkan hubungan dari perpindahan panas secara radiasi ke dinding kompor. Berdasarkan hukum Stefan Boltzman, radiasi merupakan pancaran energi dari suatu sumber kalor yang besarnya dipengaruhi oleh luas penampang benda yang beradiasi, temperatur benda yang mengeluarkan radiasi dan emisivitas (Holman, 1986), dengan persamaan sebagai berikut :

$$H = e\sigma AT^4 \quad (4.4)$$

Dimana H = aliran kalor radiasi, e = emisivitas ($0 \leq e \leq 1$)

A = luas penampang (m^2)

σ = konstanta Stefan Boltzman ($\sigma = 5.6699 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$) dan

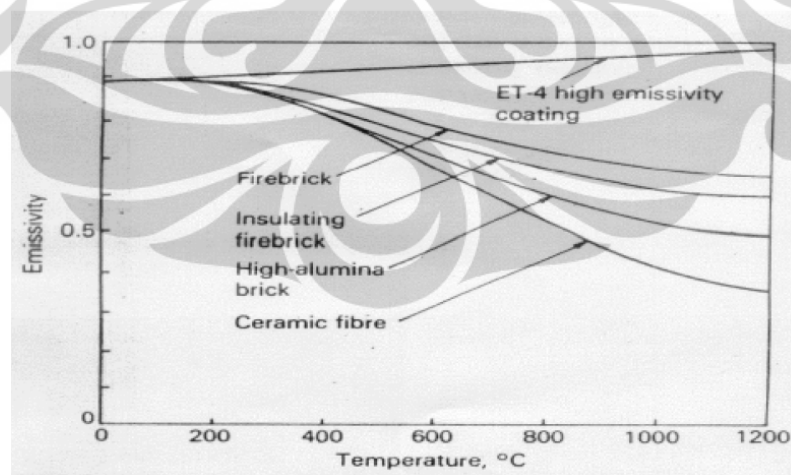
T = temperatur (K)

Emisivitas (e) merupakan sifat karakteristik permukaan yang menggambarkan seberapa efektif permukaan beradiasi dibandingkan dengan “*black body*” atau permukaan ideal yang menerima emisi radiasi termal maksimum pada temperatur yang diberikan. (Holman, 1986). Semakin besar emisivitas yang dimiliki oleh suatu bahan, maka akan berbanding lurus dengan panas radiasi yang diserapnya, sehingga besarnya

heat loss pada dinding kompor bergantung pada emisivitas dari bahan refraktori dinding kompor.

Kompor briket yang digunakan dalam penelitian ini tersusun atas struktur dinding refraktori (batu bata tahan api) yang terbuat dari bahan baku berupa alumina (Al_2O_3). Berdasarkan grafik hubungan antara emisivitas dan temperatur pada Gambar 4.29 maka emisivitas refraktori akan berkurang seiring dengan bertambahnya suhu (BEE, 2005). Ketika dihubungkan dengan kondisi pada penelitian ini dimana kisaran temperatur pembakaran cenderung rendah ($400\text{-}600^\circ\text{C}$) maka nilai emisivitas bahan baku refraktori yang berbahan dasar alumina akan semakin tinggi ($e = 0.85\text{-}0.75$). Kondisi ini akan menurunkan nilai efisiensi termal pembakaran karena tingginya nilai emisivitas alumina akan meningkatkan *heat loss* ke dinding kompor briket secara radiasi, sehingga panas yang diterima oleh air di dalam *water boiling pot* akan semakin kecil.

Berdasarkan analisa tersebut, maka dapat dikatakan penggunaan alumina sebagai bahan baku refraktori kurang sesuai untuk digunakan pada kompor biobriket, karena pembakaran biomassa terjadi pada temperatur rendah sehubungan dengan nilai kalor biomassa yang rendah (bila dibandingkan dengan pembakaran batubara).



Gambar 4. 28 Emisivitas Bahan Refraktori Pada Berbagai Suhu (BEE, 2005)

Faktor lainya yang mempengaruhi besarnya *heat loss* yakni adanya transfer panas secara konduksi dari permukaan briket yang bersentuhan

dengan dinding kompor. Aluminium oksida atau alumina memiliki nilai konduktivitas termal yang cukup besar ($k = 1.8 \text{ Btu}/(\text{hr})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F}/\text{ft})$) pada temperatur pembakaran 1112°F atau 600°C) (Kern, 1965) dibandingkan dengan konduktivitas termal bahan refraktori lainnya, contohnya Silicon Oksida atau Silica (SiO_2) dengan nilai ($k = 0.5 \text{ Btu}/(\text{hr})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F}/\text{ft})$) pada temperatur pembakaran 1112°F atau 600°C) (Kern, 1965). Besarnya konduktivitas termal berbanding lurus dengan nilai konduktivitas termal berdasarkan persamaan untuk laju perpindahan panas secara konduksi (Holman, 1986) :

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (4.5)$$

dimana:

q = laju perpindahan kalor

$\frac{\partial T}{\partial x}$ = gradient suhu ke arah perpindahan kalor

k = konduktivitas (thermal conductivity), dalam $\text{watt}/\text{m}^0\text{C}$

Adanya *heat loss* yang disebabkan oleh transfer panas secara konduksi dari briket yang menempel ke dinding kompor memperkuat dugaan adanya pengaruh dari faktor desain kompor yang kurang sesuai untuk pembakaran biobriket. Hal ini membuktikan bahwa kompor briket batubara tidak dapat digunakan sebagai media pembakaran biobriket, sehingga desain kompor sebaiknya mempertimbangkan jenis bahan bakar yang akan digunakan. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa pemilihan bahan baku refraktori yang tepat dalam perancangan kompor serta pertimbangan bentuk dari bahan bakar (bentuk briket atau pellet) merupakan dua hal yang mempengaruhi nilai efisiensi termal dari pembakaran briket.

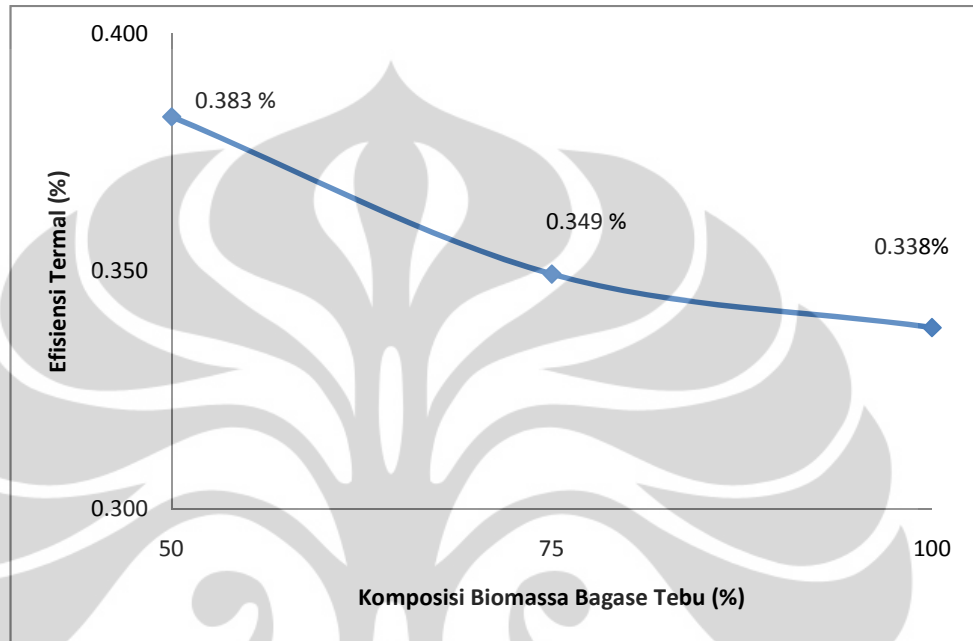
Pada penelitian ini, perekat yang digunakan berupa larutan kanji 15%, sesungguhnya memberikan efek pada penambahan nilai *heating vaule* dari biobriket (Akhmad, 2009). Hal ini disebabkan karena kanji yang tersusun atas amilum, yang memiliki struktur polimer glukosa lebih kompleks dari selulosa ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_x. 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), sehingga penyalaan dan transfer panas akan lebih cepat dibandingkan dengan komponen lignin yang bersifat *humectant* yakni cenderung mengikat air untuk mempertahankan kelembapan (Fisfarani, 2010). Pengaruh terhadap jenis dan kadar perekat ini ditinjau berdasarkan penelitian sebelumnya yang menunjukkan adanya pengaruh jenis binder terhadap nilai kalor biobriket (Irawan, 2011) dimana biobriket dengan bahan dasar kanji memiliki nilai kalor 42.25% lebih kecil dari biobriket dengan perekat tar batubara. Sedangkan bila dibandingkan dengan biobriket berbahan perekat molasses (tetes tebu), biobriket dengan perekat kanji memiliki nilai kalor 5.02% lebih besar. Terdapat penelitian sebelumnya yang juga meninjau hubungan antara kadar kanji yang digunakan dengan nilai kalor (Yudanto, 2008) dimana setiap 4% kenaikan kadar perekat kanji pada biobriket maka akan meningkatkan nilai kalor sekitar 12.19%. Namun pada penelitian ini, penggunaan baik kadar maupun jenis perekat disamakan untuk setiap variasi komposisi biobriket, sehingga pengaruh dari perekat terhadap nilai kalor biobriket memiliki efek yang sama pada setiap variasi komposisi briket.

4.7.2 Pengaruh Komposisi Biomassa terhadap Efisiensi Termal

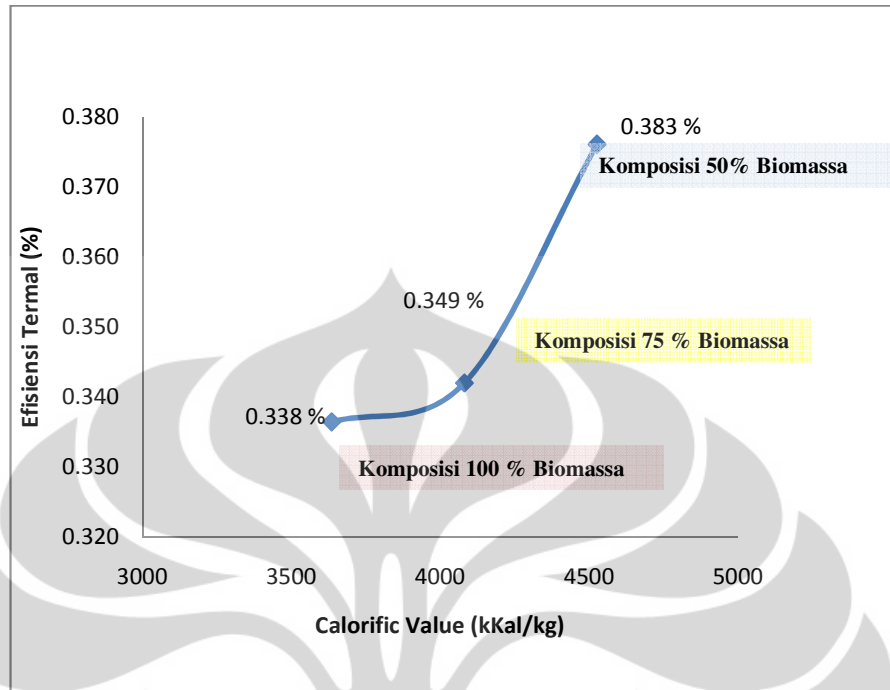
Selanjutnya, merujuk pada data efisiensi termal pada Tabel 4.8 dapat dilakukan perbandingan besar efisiensi termal berdasarkan komposisi biomassa dan batubara penyusun briket. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.30, terjadi penurunan nilai efisiensi termal pada setiap kenaikan persentase biomassa pada komposisi briket. Nilai efisiensi termal tertinggi terdapat pada briket dengan komposisi 50% biomassa bagase tebu dan 50% batubara subbituminus ($\eta = 0.383\%$), dan nilai efisiensi termal terkecil terdapat pada briket dengan komposisi 100% biomassa bagase tebu. ($\eta = 0.338\%$). Hal ini terjadi karena adanya pengaruh besar nilai kalor pada setiap komposisi briket, dimana semakin tinggi nilai *calorific value* suatu bahan maka akan memperbesar suplai panas yang

diberikan pada pembakaran, dengan besar kalor yang dihasilkan dapat diketahui dengan mengalikan nilai *calorific value* (kKal/kg) dengan jumlah massa bahan tersebut (kg).



Gambar 4. 29 Nilai Efisiensi Termal Pada Setiap Variasi Komposisi Biomasa dalam Briket

Pada Gambar 4.31 terlihat bahwa kenaikan nilai efisiensi termal berbanding lurus dengan kenaikan *calorific value* suatu bahan, dimana nilai efisiensi termal tertinggi ($\eta = 0.383\%$) terdapat pada bahan dengan nilai *calorific value* tertinggi yakni briket , dan sebaliknya nilai efisiensi termal terendah terdapat pada bahan dengan nilai *calorific value* terendah yakni briket dengan komposisi 100% biomassa (*calorific value* = 3636 kKal/kg).



Gambar 4. 30 Nilai Efisiensi Termal Pada Setiap Kadar *Calorific Value* dalam Briket

Pada dasarnya hal ini dipengaruhi oleh karakteristik biomassa yang memiliki nilai *calorific value* yang rendah (3636 kKal/kg) dan kadar *fixed carbon* yang rendah (13.8%) (Tabel 4.2), sehingga semakin tinggi kadar biomassa akan menghasilkan bahan bakar suplai panas yang rendah dibandingkan dengan adanya campuran batubara yang memiliki *calorific value* tinggi (5416 kKal/kg) dan kadar *fixed carbon* yang juga tinggi (42.38%) (Tabel 4.2), Tingginya kandungan *fixed carbon* dan *calorific value* ini akan mempengaruhi besarnya panas yang disuplai pada pembakaran, sehingga semakin besar kandungan *fixed carbon* dan *calorific value* akan semakin besar panas yang disuplai dan dapat meningkatkan efisiensi termal dari pembakaran briket. Kelemahan biomassa dalam hal rendahnya nilai *calorific value* dan kadar *fixed carbon* ini menjadi salah satu tujuan dilakukannya pencampuran batubara pada biomassa sebagai bahan baku briket sehingga dengan adanya pencampuran antara karakteristik batubara dan biomassa dapat diperoleh

bahan bakar dengan suplai panas yang besar pada pembakaran, sehingga efisiensi termal pada pembakaran briket akan meningkat.

4.8 Rekomendasi Perpaduan Komposisi Biobriket dan Kecepatan Superficial Pembakaran

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh rekomendasi perpaduan komposisi bioriket dan kecepatan superficial pembakaran briket yang optimal, dengan parameter berupa singkatnya waktu ignisi yang dibutuhkan, rendahnya emisi CO yang dihasilkan, dan efisiensi termal tertinggi guna diaplikasikan pada penelitian selanjutnya. Hasil rekomendasi ditampilkan pada tabel berikut ini :

Tabel 4. 11 Rekomendasi Hasil Penelitian

REKOMENDASI				
Waktu Ignisi Tercepat	Komposisi Briket (%)	Batubara Subbituminous	25%	0.49 Menit
		Biomassa Bagasse Tebu	75%	
	Kecepatan Superfisial (m/s)		0.4	
Emisi CO Terendah	Komposisi Briket (%)	Batubara Subbituminous	50%	161 ppm
		Biomassa Bagasse Tebu	50%	
	Kecepatan Superfisial (m/s)		0.4	
Efisiensi Termal Tertinggi	Komposisi Briket (%)	Batubara Subbituminous	50%	0.383%
		Biomassa Bagasse Tebu	50%	
	Kecepatan Superfisial (m/s)		0.4	

Dengan mempertimbangkan deviasi terkecil dari ketiga komposisi tersebut, maka rekomendasi satu komposisi biobriket terbaik yang memiliki waktu ignisi tercepat, emisi CO terendah dan efisiensi termal terbesar diantara 9 variasi biobriket adalah biobriket 75% biomassa dengan kecepatan 0.4 m/s, dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 4. 12 Rekomendasi Komposisi Biobriket Terbaik

Komposisi	Kecepatan Superfisial (m/s)	Waktu Ignisi (Menit)	Emisi CO Rata-Rata (ppm)	Efisiensi Termal (%)
75% Biomassa	0,4	0,59	497	0,349

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

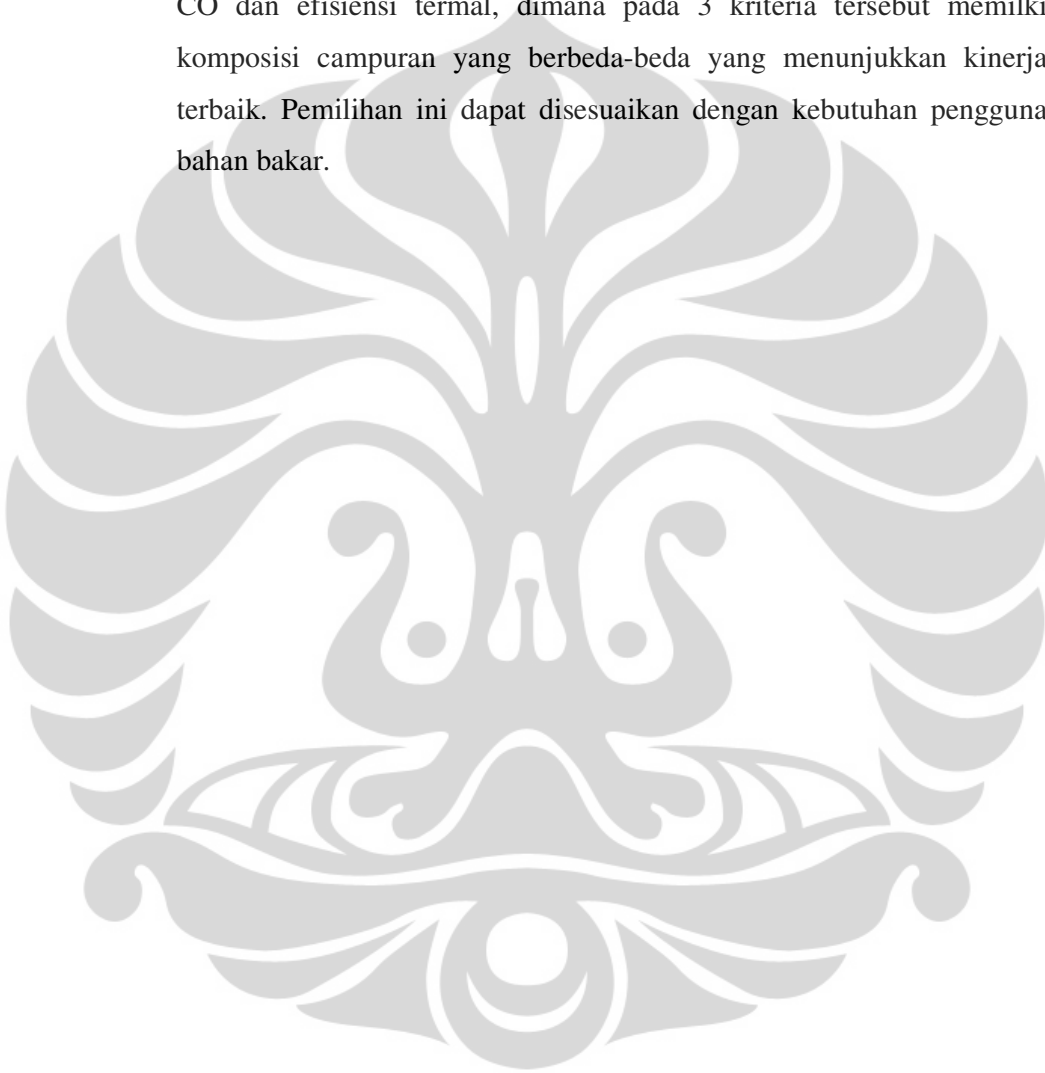
Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Waktu ignisi tercepat terdapat pada pembakaran biobriket dengan komposisi 75% Biomassa : 25% Batubara dengan kecepatan superfisial 0.4 m/s, yakni 0.49 menit.
2. Emisi CO rata-rata terendah terdapat pada pembakaran biobriket dengan komposisi 50% Biomassa : 50% Batubara dengan kecepatan superfisial 0.4 m/s, yakni 161 ppm.
3. Efisiensi termal tertinggi terdapat pada pembakaran biobriket dengan komposisi 50% Biomassa : 50% Batubara, yakni 0.376%.
4. Rekomendasi satu komposisi biobriket terbaik yang memiliki waktu ignisi tercepat, emisi CO terendah dan efisiensi termal terbesar diantara 9 variasi biobriket adalah biobriket 75% biomassa dengan kecepatan 0.4 m/s.

5.2 Saran

1. Perlu evaluasi mendalam terhadap metode peninjauan nilai efisiensi termal sehubungan dengan rendahnya nilai efisiensi termal briket, yang dipengaruhi oleh desain kompor briket dan pemilihan bentuk pada briket.
2. Penggunaan termokopel pada setiap layer dan di beberapa titik yang berbeda pada kompor briket, sehingga data temperatur yang diperoleh dapat merepresentasikan profil temperatur pembakaran secara keseluruhan.

3. Untuk melakukan uji emisi CO, sebaiknya dilakukan pengambilan data sekunder yakni besar O_2 yang disuplai pada pembakaran, untuk mengetahui besar pengaruh suplai O_2 terhadap efek pengenceran CO .
4. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai rujukan pemilihan komposisi biomassa pada campuran bahan bakar berdasarkan waktu ignisi, emisi CO dan efisiensi termal, dimana pada 3 kriteria tersebut memiliki komposisi campuran yang berbeda-beda yang menunjukkan kinerja terbaik. Pemilihan ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna bahan bakar.



DAFTAR PUSTAKA

- Bell, D.A et.al (2011). *Coal Gasification And Its Application*. United Kingdom. Elsevier Inc.
- Bhattacharya, et.al (2002). *Effects of Selected Parameters on Performance and Emission of Biomass-Fired Cookstoves*. Thailand. Elsevier Inc.
- Bureau of Energy Efficiency Ministry of Power, India. (2005) *Energy Efficiency in Thermal Utilities*.
- Chigier, N. (1982). *Energy, Combustion, and Environment*. Amerika Serikat. McGraw Hill Inc. pg. 101
- DESM. (2005). *Rencana Pengembangan Produksi dan Pemanfaatan Briket Batubara 2006-2010*, D.E.d.S.M. RI, Editor.
- Fisafarani, Hanani (2010). *Identifikasi Karakteristik Sumber Daya Biomassa dan Potensi Bio-Pelet di Indonesia* in *Chemical Engineering Departement*, University of Indonesia: Depok
- Hasibuan, F. (2007). *Peningkatan Kualitas Penyalaan Briket Batubara Melalui Penambahan Oksidator*, in *Chemical Engineering Departement*, University of Indonesia: Depok
- Holman, J.P (1997). *Perpindahan Kalor Edisi Keenam*. Jakarta : Erlangga
- Irawan, Anton. 2011. *Pengaruh Jenis Binder Terhadap Komposisi dan Kandungan Energi Biobriket Sekam Padi*. Prosidig Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”. Yogyakarta, 22 Februari 2011.
- Jean, P. (2006). *Biocoal out of Firebreak and Agricultural Residue : Between Forest Protection Management and Local Household Fuel Supply*.
- Kavalov B., Peteves S.D (2005) *Status and perspectives of biomass-to-liquid fuels in the European Union*, European Commission DG JRC, EUR 21745EN.
- Kern, D.Q., (1965). *Process Heat Transfer*. International Edition. McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Kim,H. (2002). *Binding and Desulfurization Characteristics of Pulp Black Liquor in Biocoalbriquettes*. Environ. Sci. Technol. Vol. 36, pp. 1607-1612
- Loo, van S, et al. (2004). *Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing*, Prepared by Task 32 of the Implementing Agreement on Bioenergy under the auspices of the International Energy Agency, Twente University Press, ISBN 9036517737.

- Lu, G. (2000). *Experimental Study on Combustion and Pollutant Control of Biobriquette*. Japan.
- Makino, A. (1992). *Drag Coefficient of a Slowly Moving Carbon Particle Undergoing Combustion*. *Combustion Science and Technology*, 1992, vol. 81, pp.169-192
- Muliana, A. (2008) *Pengaruh Ketinggian Downjet Terhadap Pembentukan Polutan CO Pada Kompor Briket Batubara*, in *Chemical Engineering Departement*, University of Indonesia: Depok
- Rohmat, Tri Agung. (2000) *RPKPS dan Buku Ajar Termodinamika Lanjut*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Singh, R. (2009). *Biobriquettes-an Alternative Fuel for Sustainable Development*. *Nepal Journal of Science and Technology* 10, pp. 121-127
- Slifka, A. (1998). *Thermal Conductivity of Magnesium Oxide from Absolute Steady State Measurements*. *National Institute of Standart Technology Vol. 103* , 357-363.
- Sumarni, I.. (2009). *Perbandingan Efek Blind Hood dan Open Hood Terhadap Pembentukan Emisi CO Pada Kompor Briket Batubara*, in *Chemical Engineering Departement*, University of Indonesia: Depok
- Supramono, D. (2009) .*Penyingkatan Waktu Penyalaan Kompor Briket Batubara*. Paper Jurnal Energi.
- Supramono, D. (2007). *Pengurangan Emisi Polutan Gas CO pada Kompor Briket Batubara dengan Mengintroduksi Downjet*, in *Proposal RUUI Program Unggulan 2007 2007*, University of Indonesia Depok
- Supramono, D, et al. (2010). *Reduction of CO Emission in Coal Briquette by Using a Hood*. The Ist International Seminar on Fundamental & Application of Chemical Engineering (ISFACHE 2010). Bali.
- Suprpto, M. (2005). *Innovative Financing to Promote Bio Coal Briquette as An Alternative Fuel in Indonesia*. Bonn.
- Supriyatno. (2010). *Uji Coba Karkterisasi Contoh Produk Inovasi Briket Batubara Biomassa*, di Pusat Peleitian Fiska-LIPI Bandung.
- Svoboda K., et al.(2005). *Integration of biomass drying with combustion/gasification technologies and minimalization of organic compounds*, , 32nd International Conference of SSCHE, Slovakia, May 23-27.
- Purwanto, et al..(2010). *Biomass Waste and Biomass Pellets Characteristics and Their Potential in Indonesia*. Depok

Quaak, (1999). *Energy From Biomass: a Review of Combustion and Gasification*. USA

Tanto, M.E.H.Y., (2011) *Pengaruh Penggunaan Briket Bio-Batubara, Briket Biomassa, dan Pellet Biomassa Sebagai Promotor Terhadap Waktu Nyala pada Kompor Briket Batubara*, in *Chemical Engineering Department*, University of Indonesia: Depok

Tim Kajian Batu Bara Nasional (2006). *Produksi, Konsumsi dan Ekspor Batubara Indonesia*. Kelompok Kajian Kebijakan Mineral dan Batubara., Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara.

Vassilev, S. V., D. Baxter, et al. (2010). "An overview of the chemical composition of biomass." *Fuel* 89(5): 913-933.

Watanabe, I. (1996). *Studies Integrated Control Techniques for Precursors of Acid Precipitation in South-Eastern Region in China*. China

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

Witono, J. A. (2005) *Produksi Furfural Dan Turunannya : Alternatif Peningkatan Nilai Tambah Ampas Tebu Indonesia*.

Yudanto, Angga. 2008. *Pembuatan Briket Bioarang Dari Arang Serbuk Jati*. Skripsi. Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro, Semarang.

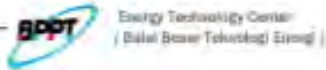
Zhou, S. (2007). *Prospect of briquetting biomass fuel by forest residues in Tibet*. Korean J. Chem. Eng, pp. 170-174

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

LAMPIRAN



LAMPIRAN A ANALISIS PROKSIMAT DAN KALORI

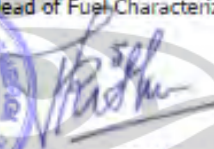


No.: 4A/LapJatek/B2TE/BPPT/IV/12

LAPORAN ANALISA REPORT OF ANALYSIS

PARAMETER ANALYSIS	SAMPLE CODE			STANDARD METHOD
	Batubara UI	TKKS Ayu UI	Baggase Tebu UI	
Total Moisture (% wt, ar)	14.68	13.64	14.21	ASTM D-3302
PROXIMATE ANALYSIS				
Moisture (% wt, adb)	12.71	13.64	14.21	ASTM D-5142
Volatile Matter (% wt, adb)	41.03	65.86	67.83	
Ash (% wt, adb)	3.89	4.88	4.17	
Fixed Carbon (% wt, adb)	42.38	15.56	13.80	
Calorific Value (kcal/kg)	5416	3826	3636	ASTM D 5865

ENERGY TECHNOLOGI CENTER
Head of Fuel Characterization Laboratory,



Ir. Trisaksono BP, MEng
NIP. 196309201988121001

2/2

LAMPIRAN B PERHITUNGAN EFISIENSI TERMAL PADA SETIAP VARIASI KOMPOSISI BRIKET

1. Komposisi 75%

Spesifikasi	Besar	Satuan
V air	1000	ml
ρ air	1	kg/L
m air	1	kg
m briket	1.2	kg
m <i>Water Boiling Pot</i>	0.18	kg
ΔT (T tertinggi pemanasan air – T <i>ambient</i>)	20	
ΔT Briket (T tertinggi pembakaran – T <i>ambient</i>)	600	
Cp air	1	kcal/kg ° C
Cp <i>Water Boiling Pot</i>	0.214	kcal/kg ° C
Cp abu	0.205	kcal/kg ° C
HL air	530.0952	kcal/kg
Calorific Value Briket 50% Biomassa	4081	kcal/kg
<i>Moisture Content</i> Briket 50% Biomassa	13.84	%
Ash Briket 50% Biomassa	4.1	%

Q yang diterima				Q Nett Briket			
Q	Persamaan	Besar	Satuan	Q	Persamaan	Besar	Satuan
Q Sensible Air	$m \text{ air} \times C_p \text{ air} \times \Delta T$	16	kcal	Q Bruto Briket	$m \text{ briket} \times \text{Calorific Value Briket}$	4897.20	kcal
Q Sensible Water Boiling Pot	$m \text{ WBP} \times C_p \text{ WBP} \times \Delta T$	0.619	kcal	Q Sensibel Moisture	$m \text{ briket} \times \text{Moisture Content Briket} \times C_p \text{ air} \times \Delta T$	(-) 99.612	kcal
Q Latent Air	Tidak ada air yang menguap	0	kcal	Q Latent Moisture	$m \text{ briket} \times \text{Moisture Content Briket} \times \text{HL air}$	(-) 89.334	kcal
Q free Convection	Terlampir	(-) 0.189	kcal	Q Sensibel Abu	$m \text{ briket} \times \text{Ash Briket} \times C_p \text{ abu} \times \Delta T$	(-) 6.065	kcal
Total		16.433	kcal	Total		4897.2	kcal
Efisiensi Termal (%) = (Q yang diserap/Q Nett Briket) x 100%				0.349			

❖ Perhitungan Q Free Convection Komposisi 75%

Spesifikasi	Besar	Satuan
Diameter <i>Water Boiling Pot</i>	0.165	m
Luas Permukaan <i>Water Boiling Pot</i>	0.002137163	m ²
Tinggi <i>Water Boiling Pot</i> (L)	0.05	m
g (Holman, 1986)	9.8	
c (Holman, 1986)	0.53	
m (Holman, 1986)	0.25	
v (Holman, 1986)	0.00001569	
k (Holman, 1986)	0.02624	
Pr (Holman, 1986)	0.708	

T_{∞}	298	K
--------------	-----	---

Spesifikasi	Persamaan
Tf	$T - T_{\infty}$
β	$1 / Tf$
Gr.Pr	$(g \beta (T - T_{\infty}) d^3 Pr) / \nu^2$
Nu	$c ((Gr.Pr)^m)$
h	$(Nu k) / L$
Q Free Convection	$h A \Delta T$

Waktu (s)	T(K)	ΔT	Tf	β	ν	k	Pr	Gr.Pr	Nu	h	Q Free Convection	Q integral
60	302	4	300	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	3376245.444	22.71874685	11.9228	0.10192383	
120	303	5	300.5	0.003327787	0.00	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	7.097457566
180	309	11	303.5	0.003294893	0.00	0.02624	0.708	9177602.936	29.17146135	15.30918	0.359900328	14.8367525
240	309	11	303.5	0.003294893	0.00	0.02624	0.708	9177602.936	29.17146135	15.30918	0.359900328	21.59401968
300	309	11	303.5	0.003294893	0.00	0.02624	0.708	9177602.936	29.17146135	15.30918	0.359900328	21.59401968
360	310	12	304	0.003289474	0.00	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.63941	0.401087587	22.82963745
420	310	12	304	0.003289	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.63941	0.401087587	24.06525522
480	311	13	304.5	0.003284	0.00001569	0.02624	0.708	10810638.12	30.39055995	15.94897	0.443111913	25.32598499
540	312	14	305	0.003279	0.00001569	0.02624	0.708	11623140.05	30.94615791	16.24054	0.485921533	27.87100337
600	312	14	305	0.003279	0.00001569	0.02624	0.708	11623140.05	30.94615791	16.24054	0.485921533	29.15529197
660	312	14	305	0.003279	0.00001569	0.02624	0.708	11623140.05	30.94615791	16.24054	0.485921533	29.15529197
720	310	12	304	0.003289	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.63941	0.401087587	26.61027359

780	310	12	304	0.003289	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.63941	0.401087587	24.06525522
840	310	12	304	0.003289	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.63941	0.401087587	24.06525522
900	310	12	304	0.003289	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.63941	0.401087587	24.06525522
960	310	12	304	0.003289	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.63941	0.401087587	24.06525522
1020	310	12	304	0.003289	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.63941	0.401087587	24.06525522
1080	309	11	303.5	0.003295	0.00001569	0.02624	0.708	9177602.936	29.17146135	15.30918	0.359900328	22.82963745
1140	309	11	303.5	0.003295	0.00001569	0.02624	0.708	9177602.936	29.17146135	15.30918	0.359900328	21.59401968
1200	307	9	302.5	0.003306	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.57212	0.280286933	19.20561784
1260	307	9	302.5	0.003306	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.57212	0.280286933	16.817216
1320	307	9	302.5	0.003306	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.57212	0.280286933	16.817216
1380	307	9	302.5	0.003306	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.57212	0.280286933	16.817216
1440	307	9	302.5	0.003306	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.57212	0.280286933	16.817216
1500	307	9	302.5	0.003306	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.57212	0.280286933	16.817216
1560	307	9	302.5	0.003306	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.57212	0.280286933	16.817216
1620	307	9	302.5	0.003306	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.57212	0.280286933	16.817216
1680	305	7	301.5	0.003317	0.00001569	0.02624	0.708	5879034.355	26.09770809	13.69608	0.204895198	14.55546394
1740	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	10.18659861
1800	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
1860	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
1920	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
1980	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
2040	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
2100	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
2160	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
2220	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325

2280	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
2340	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
2400	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
2460	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
2520	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
2580	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
2640	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
2700	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
2760	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
2820	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
2880	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
2940	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
3000	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
3060	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
3120	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
3180	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
3240	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
3300	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
3360	303	5	300.5	0.003328	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.60158	0.134658089	8.079485325
Total Q Free Convection (joule)												794.6992173
Total Q Free Convection (cal)												189.2140994
Total Q Free Convection (kcal)												0.189214099

2. Komposisi 50 %

Spesifikasi	Besar	Satuan
V air	1000	ml
ρ air	1	kg/L
m air	1	kg
m briket	1.2	kg
m <i>Water Boiling Pot</i>	0.18	kg
ΔT	20	
Cp air	1	kcal/kg ° C
Cp <i>Water Boiling Pot</i>	0.214	kcal/kg ° C
Cp abu	0.205	kcal/kg ° C
HL air	530.0952	kcal/kg
Calorific Value Briket 50% Biomassa	4526	kcal/kg
<i>Moisture Content</i> Briket 50% Biomassa	13.46	%
Ash Briket 50% Biomassa	4.03	%

Q yang diterima				Q Nett Briket			
Q	Persamaan	Besar	Satuan	Q	Persamaan	Besar	Satuan
Q Sensible Air	$m \text{ air} \times C_p \text{ air} \times \Delta T$	20	kcal	Q Bruto Briket	$m \text{ briket} \times \text{Calorific Value Briket}$	5431.20	kcal
Q Sensible Water Boiling Pot	$m \text{ WBP} \times C_p \text{ WBP} \times \Delta T$	0.773	kcal	Q Sensibel Moisture	$m \text{ briket} \times \text{Moisture Content Briket} \times C_p \text{ air} \times \Delta T$	(-) 3.23	kcal
Q Latent Air	Tidak ada air yang menguap	0	kcal	Q Latent Moisture	$m \text{ briket} \times \text{Moisture Content Briket} \times \text{HL air}$	(-) 86.91	kcal

Q free Convection	Terlampir	(-) 0.697	kcal	Q Sensibel Abu	m briket x Ash Briket x Cp abu x ΔT	(-) 0.198	kcal
Total		20.075	kcal	Total		5340.86	kcal
Efisiensi Termal (%) = (Q yang diserap/Q Nett Briket) x 100%				0.384			

❖ Perhitungan Q Free Convection Komposisi 50%

Spesifikasi	Besar	Satuan
Diameter <i>Water Boiling Pot</i>	0.165	m
Luas Permukaan <i>Water Boiling Pot</i>	0.002137163	m ²
Tinggi <i>Water Boiling Pot</i> (L)	0.05	m
g (Holman, 1986)	9.8	
c (Holman, 1986)	0.53	
m (Holman, 1986)	0.25	
v (Holman, 1986)	0.00001569	
k (Holman, 1986)	0.02624	
Pr (Holman, 1986)	0.708	
T _∞	298	K

Spesifikasi	Persamaan
T _f	T - T _∞
β	1 / T _f
Gr.Pr	(g β (T-T _∞) d ³ Pr) / v ²

Nu	$c ((Gr.Pr)^m)$
h	$(Nu k)/L$
Q Free Convection	$h A \Delta T$

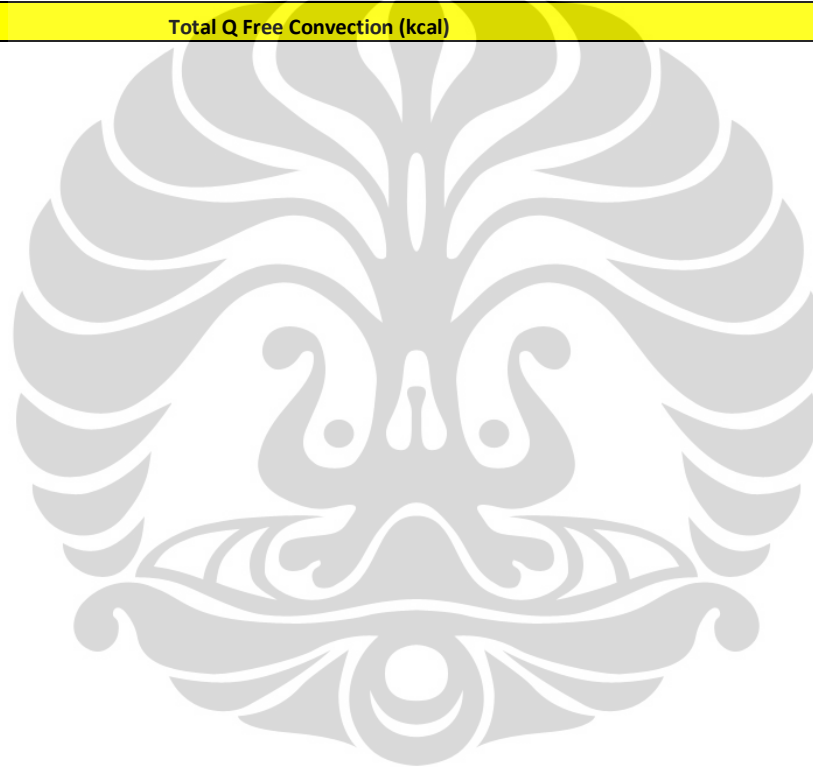
Waktu (s)	T(K)	ΔT	Tf	β	ν	k	Pr	Gr.Pr	Nu	h	Q Free Convection	Q integral
60	302	4	300	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	3376245.444	22.71874685	11.922798	0.10192383	
120	305	7	301.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	5879034.355	26.09770809	13.696077	0.204895198	9.204570849
180	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	24.70591042
240	316	18	307	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14846681.92	32.89903964	17.265416	0.664181993	38.48451428
300	317	19	307.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	15646015.47	33.33318468	17.493255	0.710332656	41.23543948
360	317	19	307.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	15646015.47	33.33318468	17.493255	0.710332656	42.61995937
420	318	20	308	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	16442753.78	33.74966824	17.711826	0.757061002	44.02180974
480	318	20	308	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	16442753.78	33.74966824	17.711826	0.757061002	45.42366012
540	318	20	308	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	16442753.78	33.74966824	17.711826	0.757061002	45.42366012
600	318	20	308	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	16442753.78	33.74966824	17.711826	0.757061002	45.42366012
660	318	20	308	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	16442753.78	33.74966824	17.711826	0.757061002	45.42366012
720	318	20	308	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	16442753.78	33.74966824	17.711826	0.757061002	45.42366012
780	318	20	308	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	16442753.78	33.74966824	17.711826	0.757061002	45.42366012
840	318	20	308	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	16442753.78	33.74966824	17.711826	0.757061002	45.42366012
900	318	20	308	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	16442753.78	33.74966824	17.711826	0.757061002	45.42366012
960	318	20	308	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	16442753.78	33.74966824	17.711826	0.757061002	45.42366012
1020	317	19	307.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	15646015.47	33.33318468	17.493255	0.710332656	44.02180974

1080	317	19	307.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	15646015.47	33.33318468	17.493255	0.710332656	42.61995937
1140	316	18	307	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14846681.92	32.89903964	17.265416	0.664181993	41.23543948
1200	316	18	307	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14846681.92	32.89903964	17.265416	0.664181993	39.8509196
1260	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	38.48451428
1320	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
1380	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
1440	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
1500	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
1560	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
1620	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
1680	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
1740	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
1800	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
1860	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
1920	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
1980	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
2040	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
2100	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
2160	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
2220	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
2280	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
2340	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
2400	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
2460	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
2520	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895

2580	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
2640	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
2700	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
2760	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
2820	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
2880	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
2940	315	17	306.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	14044740.43	32.44548712	17.027392	0.618635149	37.11810895
3000	314	16	306	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	13240178.21	31.97049255	16.778114	0.573720914	35.77068189
3060	314	16	306	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	13240178.21	31.97049255	16.778114	0.573720914	34.42325483
3120	314	16	306	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	13240178.21	31.97049255	16.778114	0.573720914	34.42325483
3180	314	16	306	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	13240178.21	31.97049255	16.778114	0.573720914	34.42325483
3240	314	16	306	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	13240178.21	31.97049255	16.778114	0.573720914	34.42325483
3300	314	16	306	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	13240178.21	31.97049255	16.778114	0.573720914	34.42325483
3360	313	15	305.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	12432982.4	31.47166352	16.516329	0.529471185	33.09576297
3420	313	15	305.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	12432982.4	31.47166352	16.516329	0.529471185	31.76827111
3480	313	15	305.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	12432982.4	31.47166352	16.516329	0.529471185	31.76827111
3540	313	15	305.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	12432982.4	31.47166352	16.516329	0.529471185	31.76827111
3600	313	15	305.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	12432982.4	31.47166352	16.516329	0.529471185	31.76827111
3660	313	15	305.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	12432982.4	31.47166352	16.516329	0.529471185	31.76827111
3720	313	15	305.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	12432982.4	31.47166352	16.516329	0.529471185	31.76827111
3780	313	15	305.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	12432982.4	31.47166352	16.516329	0.529471185	31.76827111
3840	312	14	305	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	11623140.05	30.94615791	16.240544	0.485921533	30.46178154
3900	312	14	305	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	11623140.05	30.94615791	16.240544	0.485921533	29.15529197
3960	312	14	305	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	11623140.05	30.94615791	16.240544	0.485921533	29.15529197
4020	312	14	305	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	11623140.05	30.94615791	16.240544	0.485921533	29.15529197

4080	312	14	305	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	11623140.05	30.94615791	16.240544	0.485921533	29.15529197
4140	312	14	305	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	11623140.05	30.94615791	16.240544	0.485921533	29.15529197
4200	311	13	304.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	10810638.12	30.39055995	15.948966	0.443111913	27.87100337
4260	311	13	304.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	10810638.12	30.39055995	15.948966	0.443111913	26.58671477
4320	311	13	304.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	10810638.12	30.39055995	15.948966	0.443111913	26.58671477
4380	311	13	304.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	10810638.12	30.39055995	15.948966	0.443111913	26.58671477
4440	310	12	304	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.639412	0.401087587	25.32598499
4500	310	12	304	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.639412	0.401087587	24.06525522
4560	310	12	304	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.639412	0.401087587	24.06525522
4620	309	11	303.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9177602.936	29.17146135	15.309183	0.359900328	22.82963745
4680	309	11	303.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9177602.936	29.17146135	15.309183	0.359900328	21.59401968
4740	309	11	303.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9177602.936	29.17146135	15.309183	0.359900328	21.59401968
4800	309	11	303.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9177602.936	29.17146135	15.309183	0.359900328	21.59401968
4860	308	10	303	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	8357043.178	28.49633654	14.954877	0.319610032	20.3853108
4920	308	10	303	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	8357043.178	28.49633654	14.954877	0.319610032	19.17660192
4980	307	9	302.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.572122	0.280286933	17.99690896
5040	307	9	302.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.572122	0.280286933	16.817216
5100	305	7	301.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	5879034.355	26.09770809	13.696077	0.204895198	14.55546394
5160	305	7	301.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	5879034.355	26.09770809	13.696077	0.204895198	12.29371189
5220	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	10.18659861
5280	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
5340	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
5400	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
5460	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
5520	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325

5580	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
5640	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
Total Q Free Convection (joule)												2930.871245
Total Q Free Convection (cal)												697.826487
Total Q Free Convection (kcal)												0.697826487



3. Komposisi 100%

Spesifikasi	Besar	Satuan
V air	1000	ml
ρ air	1	kg/L
m air	1	kg
m briket	1.2	kg
m <i>Water Boiling Pot (WBP)</i>	0.18	kg
ΔT	20	
Cp air	1	kcal/kg ° C
Cp <i>Water Boiling Pot (WBP)</i>	0.214	kcal/kg ° C
Cp abu	0.205	kcal/kg ° C
HL air	530.0952	kcal/kg
<i>Calorific Value</i> Briket 100% Biomassa	3636	kcal/kg
<i>Moisture Content</i> Briket 100% Biomassa	14.21	%
Ash Briket 100% Biomassa	4.17	%

Q yang diterima				Q Nett Briket			
Q	Persamaan	Besar	Satuan	Q	Persamaan	Besar	Satuan
Q Sensible Air	$m \text{ air} \times C_p \text{ air} \times \Delta T$	14	kcal	Q Bruto Briket	$m \text{ briket} \times \text{Calorific Value Briket}$	4363.20	kcal
Q Sensible Water Boiling Pot	$m \text{ WBP} \times C_p \text{ WBP} \times \Delta T$	0.5421	kcal	Q Sensibel Moisture	$m \text{ briket} \times \text{Moisture Content Briket} \times C_p \text{ air} \times \Delta T$	(-) 2.3873	(-) kcal
Q Latent Air	Tidak ada air yang menguap	0	kcal	Q Latent Moisture	$m \text{ briket} \times \text{Moisture Content Briket} \times \text{HL air}$	(-) 91.756	(-) kcal
Q free Convection	Terlampir	(-) 0.183	kcal	Q Sensibel Abu	$m \text{ briket} \times \text{Ash Briket} \times C_p \text{ abu} \times \Delta T$	(-) 0.1439	(-) kcal
Total		14.361	kcal	Total		4268.90	kcal
Efisiensi Termal (%) = (Q yang diserap/Q Nett Briket) x 100%				0.336			

❖ Perhitungan Q Free Convection Komposisi 100%

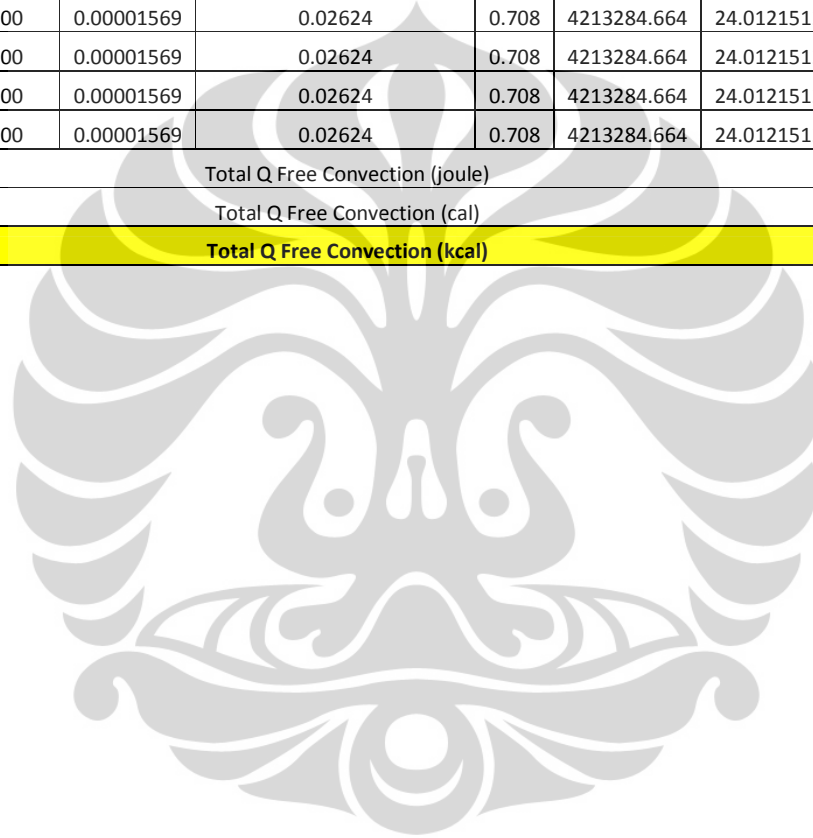
Spesifikasi	Besar	Satuan
Diameter <i>Water Boiling Pot</i>	0.165	m
Luas Permukaan <i>Water Boiling Pot</i>	0.002137163	m ²
Tinggi <i>Water Boiling Pot</i> (L)	0.05	m
g (Holman, 1986)	9.8	
c (Holman, 1986)	0.53	
m (Holman, 1986)	0.25	
v (Holman, 1986)	0.00001569	
k (Holman, 1986)	0.02624	
Pr (Holman, 1986)	0.708	
T _∞	298	K

Spesifikasi	Persamaan
T _f	T - T _∞
β	1 / T _f
Gr.Pr	$(g \beta (T - T_{\infty}) d^3 Pr) / v^2$
Nu	$c ((Gr.Pr)^m)$
h	(Nu k) / L
Q Free Convection	h A ΔT

Waktu (s)	T(K)	ΔT	Tf	β	v	k	Pr	Gr.Pr	Nu	h	Q Free Convection	Q integral
60	302	4	300	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	3376245.444	22.71874685	11.922798	0.10192383	
120	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	7.097457566
180	309	11	303.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9177602.936	29.17146135	15.309183	0.359900328	14.8367525
240	309	11	303.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9177602.936	29.17146135	15.309183	0.359900328	21.59401968
300	309	11	303.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9177602.936	29.17146135	15.309183	0.359900328	21.59401968
360	310	12	304	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.639412	0.401087587	22.82963745
420	310	12	304	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.639412	0.401087587	24.06525522
480	311	13	304.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	10810638.12	30.39055995	15.948966	0.443111913	25.32598499
540	312	14	305	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	11623140.05	30.94615791	16.240544	0.485921533	27.87100337
600	312	14	305	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	11623140.05	30.94615791	16.240544	0.485921533	29.15529197
660	312	14	305	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	11623140.05	30.94615791	16.240544	0.485921533	29.15529197
720	310	12	304	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.639412	0.401087587	26.61027359
780	310	12	304	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.639412	0.401087587	24.06525522
840	310	12	304	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.639412	0.401087587	24.06525522
900	310	12	304	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.639412	0.401087587	24.06525522
960	310	12	304	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.639412	0.401087587	24.06525522
1020	310	12	304	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9995463.485	29.80070949	15.639412	0.401087587	24.06525522
1080	309	11	303.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9177602.936	29.17146135	15.309183	0.359900328	22.82963745
1140	309	11	303.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	9177602.936	29.17146135	15.309183	0.359900328	21.59401968
1200	307	9	302.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.572122	0.280286933	19.20561784
1260	307	9	302.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.572122	0.280286933	16.817216
1320	307	9	302.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.572122	0.280286933	16.817216

1380	307	9	302.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.572122	0.280286933	16.817216
1440	307	9	302.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.572122	0.280286933	16.817216
1500	307	9	302.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.572122	0.280286933	16.817216
1560	307	9	302.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.572122	0.280286933	16.817216
1620	307	9	302.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	7533770.825	27.76700068	14.572122	0.280286933	16.817216
1680	305	7	301.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	5879034.355	26.09770809	13.696077	0.204895198	14.55546394
1740	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	10.18659861
1800	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
1860	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
1920	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
1980	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
2040	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
2100	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
2160	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
2220	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
2280	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
2340	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
2400	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
2460	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
2520	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
2580	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
2640	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
2700	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
2760	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
2820	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325

2880	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
2940	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
3000	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
3060	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
3120	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
3180	303	5	300.5	0.00	0.00001569	0.02624	0.708	4213284.664	24.01215125	12.601577	0.134658089	8.079485325
Total Q Free Convection (joule)											770.4607614	
Total Q Free Convection (cal)											183.4430384	
Total Q Free Convection (kcal)											0.183443038	



LAMPIRAN C DATA REKAM TEMPERATUR PADA WATER BOILING TEST

Waktu (menit)	Temperatur Air dalam <i>Water Boiling Pot</i> (°C)		
	Komposisi 50%	Komposisi 75%	Komposisi 100 %
1	29	29	29
2	32	29	30
3	42	34	36
4	43	37	36
5	44	37	36
6	44	37	37
7	45	38	37
8	45	39	38
9	45	41	39
10	45	41	39
11	45	41	39
12	45	41	37
13	45	41	37
14	45	40	37
15	45	39	37
16	45	37	37
17	44	37	37
18	44	34	36
19	43	32	36
20	43	32	34
21	42	32	34
22	42	32	34
23	42	32	34
24	42	32	34
25	42	32	34
26	42	32	34
27	42	32	34
28	42	32	32
29	42	32	30
30	42	32	30
31	42	32	30
32	42	32	30
33	42	32	30
34	42	32	30
35	42	31	30
36	42	31	30

37	42	31	30
38	42	31	30
39	42	31	30
40	42	31	30
41	42	30	30
42	42	30	30
43	42	30	30
44	42	30	30
45	42	30	30
46	42	30	30
47	42	30	30
48	42	30	30
49	42	30	30
50	41	30	30
51	41	30	30
52	41	30	30
53	41	30	30
54	41	30	
55	41	30	
56	40	30	
57	40		
58	40		
59	40		
60	40		
61	40		
62	40		
63	40		
64	39		
65	39		
66	39		
67	39		
68	39		
69	39		
70	38		
71	38		
72	38		
73	38		
74	37		
75	37		
76	37		
77	36		
78	36		
79	36		

80	36		
81	35		
82	35		
83	34		
84	34		
85	32		
86	32		
87	30		
88	30		
89	30		
90	30		
91	30		
92	30		
93	30		
94	30		

