



**VARIASI DIMENSI BRIKET AMPAS TEBU DENGAN
LIGNIN SELF-BOUNDING EFFECT TERHADAP
KARAKTERISTIK PEMBAKARAN**

SKRIPSI

Oleh

Novi Arifiansyah

NIM 101910101014

**PROGRAM STUDI STRATA I TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2014**



**VARIASI DIMENSI BRIKET AMPAS TEBU DENGAN
LIGNIN SELF-BOUNDING EFFECT TERHADAP
KARAKTERISTIK PEMBAKARAN**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Novi Arifiansyah

NIM 101910101014

**PROGRAM STUDI STRATA I TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2014**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT;
2. Nabi Muhammad SAW;
3. Ibunda Muliyati Rahayu, Almarhum Ayahanda Drs. Askan Arifin, M.Si, dan Nenekku Tunah;
4. Kakakku Ermanto Fahamsyah, Erfansyah Syahrir, Erwin Agustinus, Erma Yuliani, Ermi Yuliana, dan Adikku Sonia Wijaya P.;
5. Kekasihku Rizka Ayu Novitasari;
6. Seluruh akademisi yang telah mendidiku;
7. Rama Stia Prasaja dan seluruh sahabat-sahabat.

MOTTO

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang berilmu pengetahuan beberapa derajat.

(terjemahan Q.S. Al-Mujaddalah:11)

Barang siapa menginginkan kebahagiaan di dunia maka haruslah dengan ilmu, barang siapa yang menginginkan kebahagiaan di akhirat haruslah dengan ilmu, dan barang siapa yang menginginkan kebahagiaan pada keduanya maka haruslah dengan ilmu”

(H.R. Ibn Asakir)

“Allah mencintai orang yang bekerja apabila bekerja
maka ia selalu memperbaiki prestasi kerja”

(H.R. Tabrani)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Novi Arifiansyah

NIM : 101910101014

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Variasi Dimensi Briket Ampas Tebu dengan *Lignin Self-Bounding Effect* Terhadap Karakteristik Pembakaran” adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 21 Agustus 2015

Yang menyatakan,

Novi Arifiansyah

NIM. 101910101014

SKRIPSI

**VARIASI DIMENSI BRIKET AMPAS TEBU DENGAN
LIGNIN SELF-BOUNDING EFFECT TERHADAP
KARAKTERISTIK PEMBAKARAN**

Oleh

Novi Arifiansyah

NIM 101910101014

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.

Dosen Pembimbing Pendamping : Dr. Nasrul Iminnafik S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “**Variasi Dimensi Briket Ampas Tebu Dengan *Lignin Self-Bounding Effect Terhadap Karakteristik Pembakaran***” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari, tanggal : 9 September 2015

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji

Ketua,

Anggota,

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP. 19681205 199702 1 002

Sumarji, S.T., M.T.
NIP. 19680202 199702 1 001

Tim Pembimbing

Dosen Pembimbing Ketua,

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.
NIP. 19680617 199501 1 001

Dr. Nasrul Ilminafik, S.T., M.T.
NIP. 19711114 199903 1 002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Ir. Widyono Hadi., M.T.
NIP 196806171995011001

RINGKASAN

Variasi Dimensi Briket Ampas Tebu dengan *Lignin Self-Bounding Effect* Terhadap Karakteristik Pembakaran; Novi Arifiansyah; 101910101014; 2014; 64 halaman; Program Studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Briket ampas tebu dengan *lignin self-bounding effect* merupakan briket yang dibuat tanpa menggunakan perekat tambahan. Komposisi perekat dalam briket ini menggunakan lignin yang terkandung dalam ampas tebu. Pada penelitian ini, lignin diaktifkan sebagai perekat dengan cara pengempaan panas (*hot press*) pada temperatur 200°C.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik pembakaran briket ampas tebu dengan memvariasikan dimensi briket dan dilakukan dengan metode eksperimental. Dengan mempertahankan kerapatan sebesar 1,1018 g/cm³, variasi dimensi yang diberikan pada briket adalah diameter 16 mm dengan tinggi 34 mm (Briket B1), diameter 18 mm dengan tinggi 36 mm (Briket B2), dan diameter 22 mm dengan tinggi 36 mm (Briket B3). Pengujian dilakukan dengan menggunakan *burner prototype* untuk mengetahui pengaruh yang diberikan ketiga variasi dimensi terhadap kenaikan temperatur, laju pengurangan massa, laju pembakaran, dan pelepasan kalor.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dimensi memberi pengaruh pada keempat karakteristik pembakaran yang diamati. Pada pengamatan terhadap kenaikan temperatur, Briket B1 mencapai laju kenaikan tertinggi dengan nilai sebesar 230,8°C pada menit ke-11, Briket B2 sebesar 303,4°C pada menit ke-13, dan Briket B3 sebesar 361,3°C pada menit ke-16. Pada 6 menit waktu pembakaran awal dari 18 menit waktu pembakaran, pengurangan massa paling besar terjadi pada Briket B1 dengan nilai 10,96 gram, 6 menit selanjutnya dialami Briket B2 dengan besar 22,03 gram, dan pada 6 menit terakhir, Briket B3 mengalami pengurangan massa yang paling besar dengan nilai 25,45 gram. Pada pengamatan terhadap laju pembakaran, nilai tertinggi pada Briket B1 terjadi pada menit ke-8 dengan besar 84 mg/s, Briket B2

pada menit ke-11 dengan besar 105 mg/s, sedangkan Briket B3 baru dicapai pada menit ke-16 dengan nilai sebesar 98 mg/s. Dengan metode *water boiling test*, jumlah kalor tertinggi yang diterima oleh air terjadi pada pembakaran Briket B3 dengan nilai sebesar 3,13 Kkal dibandingkan dengan Briket B1 yang hanya 2,24 Kkal dan Briket B2 yang besarnya 2,67 Kkal.



SUMMARY

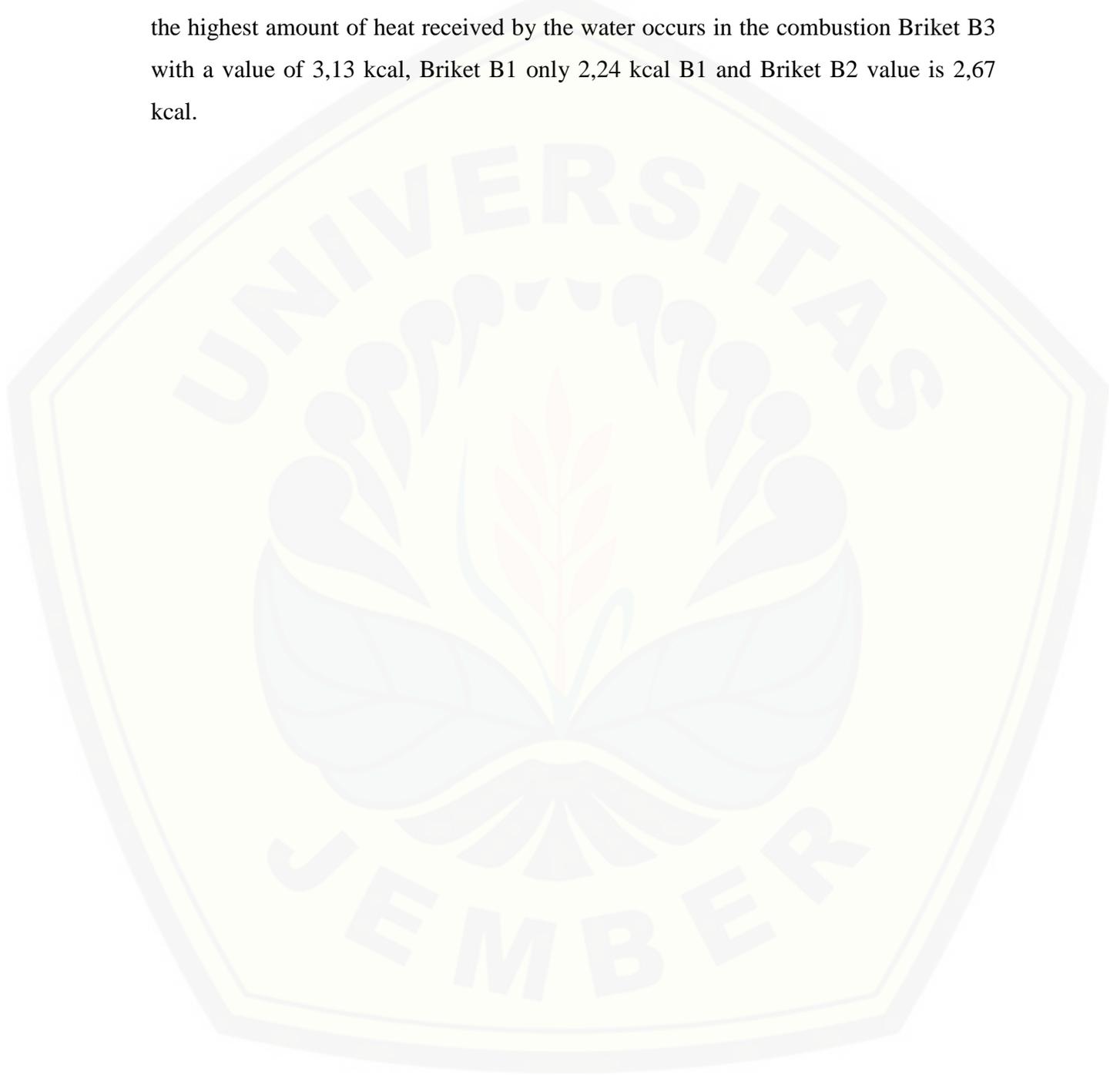
The Variation of Sugarcane Bagasse with Lignin Self-Bounding Effect Briquettes Dimension to Combustion Characteristic; Novi Arifiansyah; 101910101014; 2014; 64 pages; Departemen Mechanical Engineering of Engineering Faculty of Jember University.

Sugarcane bagasse with lignin self-bounding effect briquettes is a kind of briquettes that is made without additional binder. Binder composition in this briquettes using the lignin which contained in sugarcane bagasse. In this research, lignin is activated by the hot press at 200°C.

This research is conducted to determine the combustion characteristics of briquettes by varying dimensions of briquettes and performed with experimental method. By keeping the density at 1,1018 g/cm³, the variation of briquette dimension are given at 16 mm diameter and 34 mm high (Briquet B1), 18 mm diameter and 36 mm high (Briquet B2), and 22 mm diameter and 36mm high (Briquet B3). The experiment use a burner prototype to determine the influence that given by the three variations of dimension to temperature increase, mass decrease, burning rates, and heat transfer.

The result of this experiment showed that the dimension give influence to the four of combustion characteristics. In observation of the temperature increase, highest temperature increase value of Briquet B1 is 230,8°C and reached in 11th minute, Briquet B2 at 303,4°C in 13th minute, and Briquet B3 at 361,3°C in 16th minute. At the first 6 minutes of 18 minutes burning time, the greatest mass decrease occurs at Briquet B1 with the value is 10,96 grams, At 6 minutes later Briquet B2 have the highest with 22,03 grams, and at the last 6 minutes, Briquet B3 have the highest mass decrease with 25.45 grams. In the observation of the burning rate, the highest value on Briquet B1 occurs at

8th minute with 84 mg/s, Briket B2 at 11th minute with 105 mg/s, while the Briket B3 recently reached at 16th minute with 98 mg/s. With the method of water boiling test, the highest amount of heat received by the water occurs in the combustion Briket B3 with a value of 3,13 kcal, Briket B1 only 2,24 kcal B1 and Briket B2 value is 2,67 kcal.



PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan hidayahnya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Variasi Dimensi Briket Ampas Tebu dengan *Lignin Self-Bounding Effect* Terhadap Karakteristik Pembakaran”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Layaknya material karbon dan oksigen pada pembakaran yang bereaksi melepaskan kalor hingga mampu membuat air mencapai titik didihnya, peran dari berbagai pihak berkombinasi dan telah dicurahkan guna mencapai penyelesaian skripsi ini. Atas segala bantuan yang telah diberikan, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibunda Mulyati Rahayu dan Nenekku Tunah yang telah mencurahkan segenap kasih sayangnya mealui doa yang tiada hentinya mengalir serta materi yang mampu memperlancar terselesaikannya skripsi ini;
2. Almarhum Ayahanda Drs. Askan Arifin, M.Si. yang telah mengajarkan berprinsip dan tanggung jawab;
3. Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Nasrul Ilminnafik S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang dengan sabar memberikan bimbingan serta saran-saran dalam penyelesaian skripsi ini;
4. Hary Sutjahjono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Sumarji, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan saran dan masukkan guna kesempurnaan penulisan skripsi ini;
5. Ir. Widyono Hadi., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
6. Kakakku Dr. Ermanto Fahamsyah, S.H., M.H. yang selalu memberikan pengarahan, dorongan, dan nasehat;
7. Rizka Ayu Novitasari yang selalu mampu mendukung dan memberi motivasi;

8. Keluarga besar Bapak Heru Haryono, S.H.,M.M.;
9. Rama Stia Prasaja dan semua sahabat;
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menerima segala kritik dan saran semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis juga berharap semoga apa yang telah disusun dan yang telah disampaikan melalui skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua orang yang membacanya khususnya bagi penulis sendiri.

Jember, 21 Agustus 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan dan Manfaat	4
1.3.1 Tujuan	4
1.3.2 Manfaat	5
1.4 Batasan Masalah	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Biomassa	6
2.2 Tebu (<i>Sacharum Officinarum</i>)	7
2.3 Ampas Tebu	8
2.4 Briket	9

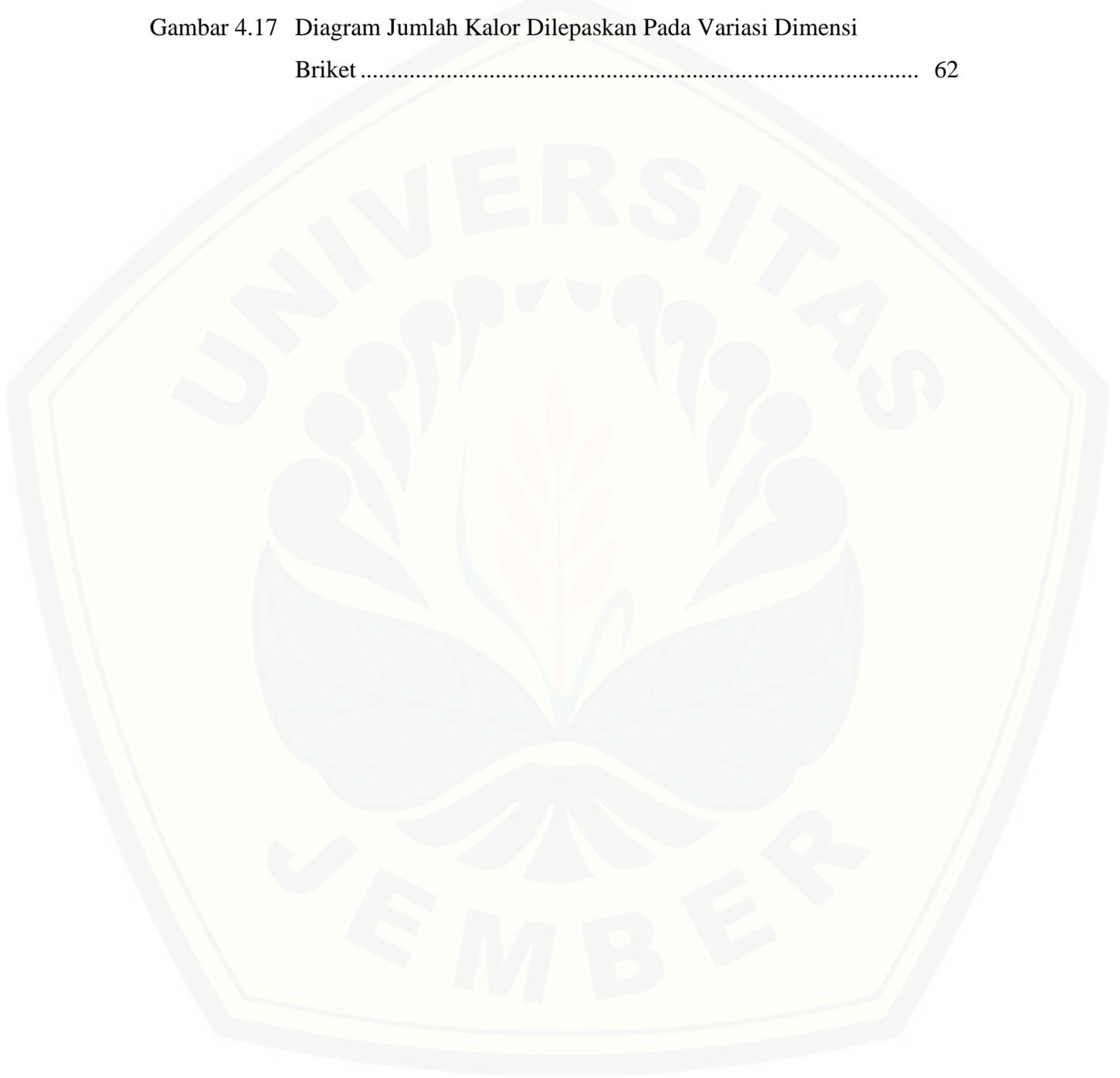
2.5 Pembriketan	10
2.6 Lignin Sebagai Bahan Perekat	14
2.7 Mekanisme Pembakaran Bahan Bakar Padat	16
2.8 Karakteristik Pembakaran	18
2.8.1 Laju Kenaikan Temperatur	19
2.8.2 Laju Pengurangan Massa	19
2.8.3 Laju Pembakaran	20
2.8.3 Pelepasan Kalor	20
2.9 Hipotesis	23
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Metode Penelitian	24
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	24
3.3.1 Alat	24
3.3.2 Bahan	25
3.4 Variabel Penelitian	25
3.4.1 Variabel Bebas	25
3.4.2 Variabel Terikat	25
3.5 Prosedur Penelitian	26
3.5.1 Tahap Persiapan Biomassa	26
3.5.2 Tahap Pencetakan Briket	26
3.5.3 Uji Laju Kenaikan Temperatur Pembakaran	26
3.5.4 Uji Laju Pengurangan Massa	27
3.5.5 Uji Laju Pembakaran	28
3.5.6 Uji Pelepasan Kalor	29
3.6 Skema Alat Uji	31
3.6.1 Rangkaian Dies	31
3.6.2 Alat Pencetakan Briket	32
3.6.3 Alat Uji Pembakaran	33

3.7 Diagram Alir Penelitian	34
3.8 Jadwal Penelitian	35
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Hasil Pencetakan Briket	36
4.2 Kenaikan Temperatur Pembakaran	38
4.2.1 Perubahan Temperatur Pembakaran Briket	38
4.2.2 Analisis Pengaruh Dimensi Terhadap Kenaikan Temperatur Briket	41
4.3 Laju Pengurangan Massa Briket	46
4.3.1 Hasil Pengujian Laju Pengurangan Massa Briket.....	47
4.3.2 Analisis Pengaruh Dimensi Terhadap Laju Pengurangan Massa Briket.....	50
4.4 Laju Pembakaran Briket	53
4.4.1 Hasil Pengujian Laju Pembakaran Briket.....	53
4.4.2 Analisis Variasi Dimensi Terhadap Laju Pembakaran Briket	55
4.5 Pelepasan Kalor Briket	59
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	68

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Tanaman Tebu	7
Gambar 2.2 Ampas Tebu.....	8
Gambar 2.3 Briket Biomassa.....	10
Gambar 2.4 Struktur Monomer Lignin.....	15
Gambar 3.1 Dies.....	31
Gambar 3.2 Alat Pencetakan Briket	32
Gambar 3.3 Skema Alat Uji Pembakaran	33
Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian.....	34
Gambar 4.1 Bentuk Fisik Briket Hasil Pencetakan	36
Gambar 4.2 Massa Briket Hasil Pencetakan	37
Gambar 4.3 Dimensi Briket Hasil Pencetakan	37
Gambar 4.4 Grafik Perubahan Temperatur Pada Pengujian Briket B1.....	39
Gambar 4.5 Grafik Perubahan Temperatur Pada Pengujian Briket B2.....	39
Gambar 4.6 Grafik Perubahan Temperatur Pada Pengujian Briket B3.....	40
Gambar 4.7 Grafik Laju Kenaikan Temperatur Pada Variasi Dimensi Briket	42
Gambar 4.8 Grafik Laju Pengurangan Massa Pada Pengujian Briket B1	47
Gambar 4.9 Grafik Laju Pengurangan Massa Pada Pengujian Briket B2.....	48
Gambar 4.10 Grafik Laju Pengurangan Massa Pada Pengujian Briket B3.....	49
Gambar 4.11 Grafik Laju Pengurangan Massa Pada Variasi Dimensi Briket ..	51
Gambar 4.12 Grafik Laju Pembakaran Pada Pengujian Briket B1	54
Gambar 4.13 Grafik Laju Pembakaran Pada Pengujian Briket B2	54
Gambar 4.14 Grafik Laju Pembakaran Pada Pengujian Briket B3	55
Gambar 4.15 Grafik Laju Pembakaran Pada Variasi Dimensi Briket.....	57

Gambar 4.16	Grafik Kenaikkan Temperatur Air Pada Variasi Dimensi Briket	60
Gambar 4.17	Diagram Jumlah Kalor Dilepaskan Pada Variasi Dimensi Briket	62



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Perbandingan Nilai Kalor Beberapa Jenis Briket Biomassa dan Limbah Biomassa	6
Tabel 2.2 Hasil Analisis Serat Bagasse	8
Tabel 3.1 Data Laju Kenaikan Temperatur Pembakaran.....	27
Tabel 3.2 Data Perubahan Massa Briket.....	28
Tabel 3.3 Data Laju Pembakaran Briket.....	29
Tabel 3.4 Data Pengamatan Uji Pelepasan Kalor	30
Tabel 3.5 Jadwal Penelitian	35
Tabel 4.1 Kenaikan Temperatur Rata-Rata Pada Variasi Dimensi Briket	41
Tabel 4.2 Luas Permukaan Briket Pada Pengujian.....	44
Tabel 4.3 Laju Pengurangan Massa Rata-Rata Pada Variasi Dimensi Briket....	50
Tabel 4.4 Laju Pembakaran Rata-Rata Pada Variasi Dimensi Briket	56
Tabel 4.5 Perubahan Temperatur Air Rata-Rata Pada Variasi Dimensi Briket	59
Tabel 4.6 Kalor Hasil Perhitungan Pada Variasi Dimensi Briket	61

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. TABEL DATA	68
Lampiran A.1 Data Perubahan Temperatur Ruang Bakar Briket B1	68
Lampiran A.2 Data Perubahan Temperatur Ruang Bakar Briket B2	69
Lampiran A.3 Data Perubahan Temperatur Ruang Bakar Briket B3	70
Lampiran A.4 Data Laju Kenaikan Temperatur Briket B1	71
Lampiran A.5 Data Laju Kenaikan Temperatur Briket B2	72
Lampiran A.6 Data Laju Kenaikan Temperatur Briket B3	73
Lampiran A.7 Data Perubahan Massa Briket B1	74
Lampiran A.8 Data Perubahan Massa Briket B2	75
Lampiran A.9 Data Perubahan Massa Briket B3	76
Lampiran A.10 Data Laju Pembakaran Briket B1	77
Lampiran A.11 Data Laju Pembakaran Briket B2	78
Lampiran A.12 Data Laju Pembakaran Briket B3	79
Lampiran A.13 Data Perubahan Temperatur Air pada Briket B1	80
Lampiran A.14 Data Perubahan Temperatur Air pada Briket B2	81
Lampiran A.15 Data Perubahan Temperatur Air pada Briket B3	82
Lampiran A.16 Data <i>Free Convection</i> pada Briket B1	83
Lampiran A.17 Data <i>Free Convection</i> pada Briket B2	84
Lampiran A.18 Data <i>Free Convection</i> pada Briket B3	85
Lampiran A.19 Pelepasan Kalor Total Pada Variasi Dimensi Briket	86
B. PERHITUNGAN	87
Lampiran B.1 Perhitungan Laju Kalor <i>Free Convection</i> Air	87
Lampiran B.2 Perhitungan Total Pelepasan Kalor	97
C. DOKUMENTASI PENELITIAN	98

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk dan perekonomiannya. Secara garis besar, energi yang dikonsumsi merupakan energi yang dihasilkan dari sumber daya berbasis minyak bumi dimana laju pembentukannya membutuhkan waktu yang sangat lama. Konsumsi energi menurut jenis selama tahun 2000-2011 masih didominasi oleh BBM (avtur, avgas, bensin, minyak tanah, minyak solar, minyak diesel, dan minyak bakar). Selama kurun waktu tersebut, total konsumsi BBM relatif konstan dengan kisaran 312-364 juta SBM. Pada tahun 2000, konsumsi minyak solar merupakan terbesar (42%) disusul minyak tanah (23%), bensin (23%), minyak bakar (10%), dan avtur (2%). Selanjutnya pada tahun 2011 urutannya berubah menjadi minyak solar dan biodiesel (46%), bensin (42%), avtur (6%), minyak tanah (3%), dan minyak bakar (3%) (Outlook Energi Indonesia, 2013).

Berdasarkan Statistik Minyak Bumi 2012 dari Kementrian Energi dan Sumberdaya Mineral (ESDM), cadangan terbukti minyak bumi adalah sebesar 3,74 miliar barel. Permintaan kebutuhan minyak yang terus bertambah sementara total cadangan minyak bumi dan produksinya yang terus menurun mengakibatkan munculnya berbagai permasalahan energi di masa depan. Hal tersebut mendorong pencarian solusi yang tepat dengan perencanaan dan pengembangan energi agar dapat menjamin ketersediaan energi untuk jangka panjang, sebagai contohnya adalah dengan pencarian sumber energi alternatif yang berasal dari sumberdaya yang ketersediaannya ada secara baik.

Indonesia sebagai daerah tropis dan subur memiliki ketersediaan biomassa yang melimpah. Biomassa merupakan alternatif sumber energi yang dapat diperbarui. Setelah diambil fungsi primernya, sebagian biomassa masih menghasilkan limbah

yang masih dapat dimanfaatkan kembali. Contoh limbah biomassa yang bisa dimanfaatkan kembali untuk dijadikan sumber energi alternatif antara lain serbuk kayu, sabut kelapa, kulit kacang, dan ampas tebu.

Pada penelitian ini, limbah biomassa yang dimanfaatkan oleh penulis adalah ampas tebu. Ampas tebu atau lazimnya disebut *bagasse*, adalah hasil sampingan dari proses ekstraksi (pemerahan) cairan tebu. Dari satu pabrik dihasilkan ampas tebu sekitar 35-40% dari berat tebu yang digiling (Indriani dan Sumiarsih, 1992). Potensi *bagasse* di Indonesia cukup besar. Menurut Husin (dalam Lubis, 2010), data dari Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) menyatakan bahwa ampas tebu yang dihasilkan sebanyak 32 % dari berat tebu giling. Dari data Badan Pusat Statistik, produksi untuk tanaman tebu pada tahun 2010 adalah 2.288.735 ton (1.208.897 ton dari perkebunan rakyat, 331.400 ton dari perkebunan besar negara, dan 748.438 ton dari perkebunan besar swasta), 2.244.154 ton (1.284.229 ton dari perkebunan rakyat, 375.001 ton dari perkebunan besar negara, dan 584.924 ton dari perkebunan besar swasta) pada tahun 2011, dan produksi untuk tahun 2012 adalah 2.600.352 ton (1.450.720 ton dari perkebunan rakyat, 410.068 ton dari perkebunan besar negara, dan 739.564 ton dari perkebunan besar swasta). Selama tahun 2010-2012, rata-rata tanaman tebu yang dihasilkan per tahun adalah 2.377.747 ton per tahun. Jika *bagasse* yang dihasilkan adalah sebesar 32% dari berat tebu, maka potensi *bagasse* nasional yang tersedia dapat mencapai 760.879,04 ton per tahun. Penyimpanan ampas tebu membutuhkan area yang luas karena sifat *bulky* (meruah) yang dimilikinya sehingga beberapa pabrik mengatasi kelebihan ampas dengan membakarnya secara berlebihan (inefisien).

Sebagai sumber energi alternatif, ampas tebu digunakan sebagai bahan pembuatan briket biomassa. Pembriketan ampas tebu dapat meningkatkan kapabilitasnya menahan panas dalam waktu yang lebih lama dan memudahkan penyalannya. Selain itu, pembriketan juga mengurangi jumlah abu hasil pembakaran yang berterbangan karena sebagian abu terikat pada arang briket. Briket dapat digunakan sebagai sumber energi panas skala rumah tangga, industri kecil skala

rumah tangga, bahkan untuk pembangkit tenaga pada perindustrian besar. Berbagai macam jenis tungku digunakan sesuai dengan kebutuhan nilai pelepasan panas, dimensi briket, nilai kalor, dan sebagainya.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik pembakaran ampas tebu dengan memvariasikan dimensi briket. Pada penelitian sebelumnya yang berjudul “The Best Biobriquette Dimension and its Particle Size” oleh H. Septoadi (2008) dihasilkan kecepatan pembakaran tertinggi dilakukan oleh dimensi briket yang bermassa 3 gram (135 mg/s) pada kecepatan udara 0,5 m/s dengan waktu reaksi paling singkat (antara 10-16 menit). Kecepatan pembakaran terendah dilakukan oleh dimensi briket yang bermassa 5 gram (55 mg/s) pada semua kecepatan udara dengan waktu reaksi paling lama (sampai 26 menit). Nilai yang dihasilkan dimensi briket bermassa 4 gram berada diantara briket 3 gram dan 5 gram.

Daud Patabang (2012) pada penelitiannya yang berjudul “Karakteristik Termal Briket Arang Sekam Padi dengan Variasi Bahan Perekat” menyatakan bahwa semakin meningkat kandungan bahan perekat mengakibatkan nilai kalor menurun. Komposisi briket dengan campuran bahan perekat tapioka sebesar 7% memiliki nilai kalor dan efisiensi pembakaran yang lebih baik dibanding campuran bahan perekat tapioka 10% dan 15%. Campuran bahan perekat tapioka 7% menghasilkan nilai kalor sebesar 2789 kal/g dan efisiensi pembakaran sebesar 59,07%. Semakin rendah kadar perekat, maka semakin tinggi nilai kalor briket. Sebagai alternatif untuk meningkatkan nilai kalor, maka ampas tebu yang memiliki kandungan lignin dapat dimanfaatkan dengan perlakuan panas untuk menjadikan lignin sebagai bahan perekat. Lignin dapat diaktifkan dengan cara pengempaan panas (*hot press*). Rofii dan Widyorini dalam penelitiannya yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Pengolahan Kayu Jati Sebagai Bahan Baku Papan Partikel Non Perekat” menyatakan bahwa perbedaan temperatur pada pengempaan panas berpengaruh pada sifat fisik dan mekanik papan. Penelitian yang memvariasikan temperature kempa (180°C, 200°C dan 220°C) tersebut menyatakan sifat mekanik terbaik pada papan dihasilkan oleh temperatur 200°C.

Penelitian ini dilakukan dengan kapasitas kecil dengan memvariasikan dimensi briket, uji pembakaran pada kecepatan udara tertentu dan dilakukan dengan tungku yang dirancang khusus untuk membakar biomassa dalam penelitian. Briket dibuat tanpa bahan perekat tambahan. Komposisi perekat briket menggunakan lignin yang terkandung di dalam ampas tebu. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran bagaimana karakteristik pembakaran briket ampas tebu dengan binder lignin yang dipengaruhi dimensi briket. Dengan penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh sumber energi alternatif yang relatif murah untuk berbagai keperluan rumah tangga, industri kecil, menengah dan besar, serta dapat meminimalisir limbah-limbah yang belum dimanfaatkan dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa karakteristik pembakaran briket ampas tebu sebelum menjadi limbah yang terbuang. Adapun perumusannya:

1. Bagaimana pengaruh variasi dimensi briket ampas tebu terhadap temperatur pembakaran?
2. Bagaimana pengaruh variasi dimensi briket ampas tebu terhadap laju pengurangan massa briket?
3. Bagaimana pengaruh variasi dimensi briket ampas tebu terhadap laju pembakaran briket?
4. Bagaimana pengaruh variasi dimensi briket ampas tebu terhadap pelepasan kalor briket?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui karakteristik pembakaran briket ampas tebu dengan perincian sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi dimensi briket ampas tebu terhadap temperatur pembakaran;

2. Mengetahui pengaruh variasi dimensi briket ampas tebu terhadap laju pengurangan massa briket;
3. Mengetahui pengaruh variasi dimensi briket ampas tebu terhadap laju pembakaran briket
4. Mengetahui pengaruh variasi dimensi briket ampas tebu terhadap pelepasan kalor briket.

1.3.2 Manfaat

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat di berbagai kalangan. Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan bahan bakar alternatif yang efisien dan murah;
2. Memberi pengetahuan kepada masyarakat bahwa limbah ampas tebu dapat digunakan sebagai energi alternatif yang murah;
3. Dapat meningkatkan pendapatan masyarakat bila pembuatan briket ini dikelola dengan baik;
4. Mengurangi permasalahan-permasalahan yang dapat diakibatkan oleh penumpukan limbah industri.

1.4 Batasan Masalah

Beberapa batasan yang diterapkan untuk memudahkan analisa penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tekanan pada saat pembakaran dianggap konstan;
2. Pada proses perpindahan kalor dianggap tidak ada *heat loss* akibat burner sehingga total kalor yang diterima air merupakan total kalor yang dilepaskan briket.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biomassa

Biomassa adalah material yang berasal dari proses daur ulang tumbuhan melalui proses fotosintesis dimana energi surya memegang peranan. Tumbuh-tumbuhan dapat mengeluarkan energi tersimpannya pada saat proses pengeringan atau saat dibakar langsung. Biomassa memiliki susunan komposisi yang terdiri dari atas unsur karbon, hidrogen, dan oksigen yang berbentuk polimer makroskopik kompleks seperti lignin $(C_9H_{10}O_3(CH_3O)_{0,9-1,7})_x$, selulosa $(C_6H_{10}O_5)_y$, dan hemiselulosa $(C_5H_8O_4)_z$.

Tabel 2.1 Perbandingan nilai kalor beberapa jenis briket biomassa dan limbah biomassa

No	Jenis Briket dan Biomassa	Nilai Kalor (kJ/kg)
1	briket bagasse	17638
2	briket ampas jarak (B2TE-BPPT)	16399
3	briket ampas jarak (Tracon Ind)	16624
4	briket ampas jarak	19724
5	briket serbuk gergaji	18709
6	kayu bakar (jenis akasia)	17270
7	arang batok kelapa	18428
8	bonggol jagung	15455
9	briket arang bonggol jagung	20174
10	briket limbah lumpur sawit	10896
11	getah jarak (gum)	23668
12	briket alang-alang	16247

Sumber : (Agustina dalam Nugrahaeni, 2008)

Biomassa berpotensi sebagai bahan bakar alternatif karena ketersediaannya yang melimpah dan dapat diperbarui. Bahan bakar yang cukup potensial untuk diproduksi dari biomassa antara lain seperti etanol, metana atau gas lain, dan bahan

bakar berbentuk cair (minyak nabati). Nilai kalor bakar dari biomassa dapat mencapai 4.800 kkal/kg. Konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dilakukan melalui proses pirolisa dan hidrogasifikasi.

2.2 Tebu (*Sacharum Officinarum*)

Tebu (*Sacharum officinarum*) merupakan tanaman bahan baku pembuatan gula dan vetsin yang hanya dapat ditanam di daerah beriklim tropis dan cocok ditanam pada daerah dengan ketinggian 1 sampai 1300 meter di atas permukaan laut. Umur tanaman tebu sejak ditanam sampai bisa dipanen mencapai kurang lebih satu tahun. Tebu tergolong tanaman monokotil yang memiliki tinggi berkisar antara 2-4 meter. Batang tebu memiliki banyak ruas yang setiap ruasnya dibatasi oleh buku-buku sebagai tempat daunnya yang kasar dan berbulu tumbuh. Tebu berakar serabut seperti tumbuhan dikotil lainnya.



Gambar 2.1 Tanaman tebu (Sumber: wikipedia.org)

Dalam proses produksi gula, dari setiap tebu yang diproses dihasilkan ampas tebu sebesar 90%, 10% gula yang dimanfaatkan hanya 5% dan sisanya berupa tetes tebu (*molase*) dan air (Witono, 2005).

2.3 Ampas Tebu

Ampas tebu (*bagasse*) merupakan material sisa dari proses ekstraksi cairan tebu. Dari satu pabrik dihasilkan ampas tebu sekitar 35 – 40% dari berat tebu yang digiling (Indriani dan Sumiarsih, 1992). Menurut Husin (dalam Lubis, 2010), data dari Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) menyatakan bahwa ampas tebu yang dihasilkan sebanyak 32 % dari berat tebu giling.



Gambar 2.2 Ampas tebu (Sumber: agro.kemenperin.go.id)

Komposisi kimia dari abu ampas tebu terdiri dari beberapa senyawa yang dapat dilihat pada tabel (2.2) berikut :

Tabel 2.2 Hasil analisis serat *bagasse*

Kandungan	Kadar (%)
Abu	3,82
SiO ₂	3,01
Lignin	22,09
Selulosa	37,65
Sari	1,81
Pentosan	27,97

Sumber : (Lubis, 2010)

Bahan bakar boiler dari ampas tebu hampir digunakan setiap pabrik gula. Pabrik gula selalu menghasilkan limbah yang terdiri dari limbah padat, cair, dan gas dari setiap proses produksi. Limbah padat yang dihasilkan berupa ampas tebu (*bagasse*), abu boiler dan blotong (*filter cake*). Selain dimanfaatkan sendiri oleh pabrik sebagai bahan bakar boiler, ampas tebu juga dimanfaatkan sebagai bahan baku pada industri kertas, *particleboard*, *fibreboard*, dan lain-lain (Indriani dan Sumiarsih, 1992).

Ampas tebu (*bagasse*) yang menumpuk berlebihan dapat memunculkan masalah bagi pabrik gula. Penyimpanan ampas tebu membutuhkan area yang luas karena sifat *bulky* (meruah) yang dimilikinya. Ampas tebu mudah terbakar karena di dalamnya terkandung air, gula, serat dan mikroba, sehingga bila tertumpuk akan terfermentasi dan melepaskan panas. Karakteristik dan kondisi ampas tebu yang seperti itu dapat diambil manfaatnya dengan dijadikan sebagai sumber energi alternatif, salah satunya digunakan sebagai bahan baku briket untuk meningkatkan kualitas pembakarannya.

2.4 Briket

Briket adalah bahan bakar padat yang disesuaikan dalam bentuk tertentu dengan ukuran yang bervariasi agar mempermudah penggunaannya. Sebagai sumber energi alternatif, briket dapat dibuat dengan bahan baku biomassa. Pembriketan bertujuan untuk memperoleh suatu bahan bakar yang memiliki kualitas baik serta dapat dijadikan sebagai sumber energi pengganti yang ramah lingkungan dalam semua sektor. Oleh karena itu, pemilihan proses pembriketan perlu mengacu pada segmen pasar agar dicapai nilai ekonomis, teknis dan lingkungan yang optimal. Secara umum, beberapa spesifikasi briket yang yang diminati dapat dilihat dari ukuran, bentuk, daya tahan briket, bersih (tidak berasap), bebas gas-gas berbahaya dan sifat pembakaran yang sesuai dengan kebutuhan (mudah dibakar, efisiensi energi, pembakaran yang stabil, tahan lama).



Gambar 2.3 Briket biomassa (Sumber: narendra-widianto.blogspot.com)

Briket dapat dibuat dengan berbagai macam limbah biomassa yang kurang dimanfaatkan mulai dari briket limbah pertanian maupun briket dengan pemanfaatan limbah industri. Menurut Bossel (dalam Patabang, 2012), bahan biomassa yang dapat digunakan untuk pembuatan briket berasal dari :

1. Limbah pengolahan kayu seperti : *logging residues, bark, saw dusk, shavinos, waste timber.*
2. Limbah pertanian, seperti jerami, sekam padi, ampas tebu, daun kering, tongkol jagung.
3. Limbah bahan berserat, seperti serat kapas, goni, sabut kelapa.
4. Limbah pengolahan pangan, seperti kulit kacang-kacangan, biji-bijian, kulit-kulitan.
5. *Selulosa*, seperti limbah kertas, karton.
6. Beberapa bentuk briket yang umum dikenal antara lain: bantal (*oval*), sarang tawon (*honey comb*), silinder (*cylinder*), telur (*egg*), dan lain-lain.

2.5 Pembriketan

Proses pembriketan adalah salah satu cara yang dikembangkan untuk meningkatkan sifat fisik dan pembakaran biomassa dengan pemberian tekanan pada

suatu material untuk menghilangkan kekosongan (*void*) partikel pada material yang dibriketkan. Perbedaan tekanan yang diberikan akan mempengaruhi ketahanan briket dan jenis binder yang digunakan. Pembriketan yang dilakukan dengan tekanan tinggi akan menghasilkan briket yang lebih kuat, berdensitas tinggi sehingga cukup menggunakan binder alami sebagai pengikatnya. Sedangkan pada pembriketan yang dilakukan dengan tekanan rendah akan menghasilkan briket berdensitas rendah yang mengakibatkan penggunaan perekat tambahan, biasanya membutuhkan perekat sintesis. Briket bertekanan rendah memiliki keuntungan tersendiri. Dengan densitasnya yang rendah, *burning rate* akan meningkat sehingga waktu pembakarannya lebih singkat. Grover dan Mishra (1996) menyatakan bahwa tekanan standar operasi pembuatan briket bertekanan rendah adalah 5 Mpa.

Proses awal pembuatan briket adalah proses pre-treatment seperti pengeringan hingga *moisture content* briket mencapai standar. *Moisture content* yang distandarkan dalam pembuatan briket adalah sebesar 10%. *Moisture content* yang lebih dari 10% akan menimbulkan masalah pada proses penggilingan dan membutuhkan energi lebih untuk pengeringan serta menghasilkan briket yang rapuh (Grover and Mishra, 1967). Setelah dikeringkan, bahan dicacah hingga mencapai ukuran partikel yang mudah untuk dibentuk. Setelah itu, bahan baku dicampur dengan binder dan dicetak pada mould dengan memberikan tekanan yang sesuai.

Sebagai parameter kualitas briket yang baik, dapat dilakukan dengan membandingkan zat tinggal hasil pembakaran briket. Semua briket mempunyai kandungan zat anorganik yang dapat ditentukan jumlahnya sebagai berat yang tinggal apabila briket dibakar secara sempurna. Zat yang tinggal ini disebut abu, abu briket berasal dari clay, pasir dan bermacam-macam zat mineral lainnya. Briket dengan kandungan abu yang tinggi sangat tidak menguntungkan karena akan membentuk kerak dan dapat mengurangi nilai kalor.

Pembriketan memiliki faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pembuatannya, seperti bahan baku dan bahan perekat.

1. Bahan Baku

Pembuatan briket briket dapat menggunakan bermacam-macam bahan baku, seperti ampas tebu, sekam padi, serbuk gergaji, tongkol jagung, batubara dan battron ash. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan briket harus memiliki nilai kalor yang sesuai dengan komposisi yang pencampurannya. Semakin tinggi kandungan nilai kalor semakin baik kualitas briket. Briket yang mengandung zat terbang yang terlalu tinggi cenderung mengeluarkan asap dan bau tidak sedap.

2. Bahan Perekat

Perekat merupakan bahan yang memiliki kemampuan mengikat dua benda melalui ikatan permukaan. Dengan penambahan bahan perekat dalam pembuatan briket, partikel bahan baku yang cenderung saling memisah dapat saling berikatan dan tidak mudah hancur sehingga lebih mudah dalam pembentukannya. Beberapa istilah lain dari perekat yang memiliki kekhususan meliputi *glue*, *mucilage*, *paste*, dan *cement*. *Glue* merupakan perekat yang terbuat dari protein hewani seperti kulit, kuku, urat, otot dan tulang yang digunakan dalam industri kayu. *Mucilage* adalah perekat yang dipersiapkan dari getah dan air yang diperuntukkan terutama untuk perekat kertas. *Paste* adalah perekat pati (*starch*) yang dibuat melalui pemanasan campuran pati dan air dan dipertahankan berbentuk pasta. *Cement* adalah istilah yang digunakan untuk perekat yang bahan dasarnya karet dan mengeras melalui pelepasan pelarut (Ruhendi *et al.* dalam Ndraha, 2010).

Supaya briket yang dihasilkan adalah briket yang kompak, maka diperlukan zat perekat untuk merekatkan partikel-partikel zat dalam campuran bahan baku pada proses pembuatan briket. Bahan perekat yang digunakan adalah bahan yang juga mengandung nilai kalor, pada umumnya bahan perekat untuk briket biomassa menggunakan tepung tapioka, tepung singkong dan tepung ketan.

Bahan perekat menurut jenis golongan bahannya dibedakan menjadi 3 jenis (Ndraha, 2010), yaitu:

1. Perekat anorganik

Beberapa contoh perekat anorganik adalah sodium silikat, magnesium, *cement*, dan *sulphite*. Perekat organik mempunyai kerugian saat penggunaan karena sifatnya banyak meninggalkan abu pada waktu pembakaran.

2. Perekat *hydrocarbon* dengan berat molekul besar

Perekat jenis ini sering digunakan untuk pembuatan arang cetak maupun batubara cetak.

3. Perekat tumbuh-tumbuhan

Jumlah perekat yang dibutuhkan dalam penggunaan perekat jenis ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan perekat *hydrocarbon*. Perekat jenis ini dapat menyebabkan produk cetak yang dihasilkan kurang tahan terhadap kelembaban.

Ditinjau dari jenis perekat yang digunakan, briket dapat digolongkan menjadi dua, yaitu briket yang sedikit atau tidak mengeluarkan asap dan briket yang banyak mengeluarkan asap pada saat pembakaran. Briket yang sedikit atau tidak mengeluarkan asap pada saat pembakaran menggunakan perekat yang tergolong kedalam perekat yang mengandung zat pati. Sedangkan pada briket yang banyak mengeluarkan asap pada saat pembakaran, perekat yang digunakan adalah jenis perekat yang tahan terhadap kelembaban tetapi selama pembakaran menghasilkan asap.

Hartoyo dan Roliandi (dalam Nugrahaeni, 2010) menyatakan bahwa perekat dari zat pati, dekstrin, dan tepung jagung cenderung sedikit atau tidak berasap. Sedangkan perekat dari bahan *pith*, dan *molase* cenderung lebih banyak menghasilkan asap.

Perekat pati dalam bentuk cair sebagai perekat menghasilkan briket bernilai rendah dalam hal kerapatan, keteguhan tekan, kadar abu, dan kadar zat menguap. Tetapi akan lebih tinggi dalam hal kadar air, kadar karbon terikat, dan nilai kalornya apabila dibandingkan dengan briket yang menggunakan *molase* (tetes tebu) akan

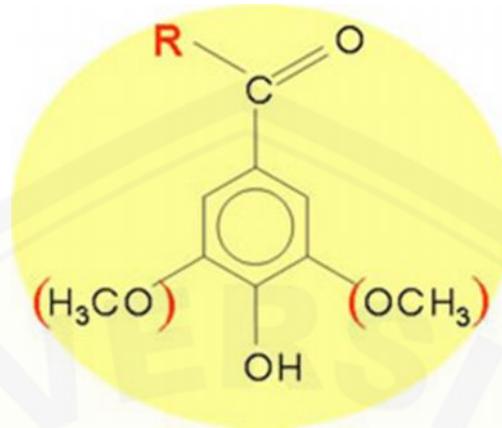
menghasilkan briket yang sangat kuat dan baik mutu pembakarannya, akan tetapi berasap (Sudrajat dalam Winoto, 2013).

Tepung tapioka yang ditambah dengan air akan memiliki sifat perekat yang biasanya kita kenal sebagai perekat kanji. Perekat tapioka ini umum digunakan sebagai perekat briket karena mudah didapat dan harganya relatif murah. Pertimbangan lain bahwa perekat tapioka dalam penggunaannya menimbulkan asap yang lebih sedikit dibandingkan bahan lain. Kelemahan perekat kanji atau tapioka mempunyai sifat tidak tahan terhadap kelembaban. Hal ini disebabkan tapioka mempunyai sifat dapat menyerap air dari udara.

Mulyadi *et al.* (2013) dalam penelitiannya menyatakan bahwa hasil analisis data yang didapat menunjukkan penurunan nilai kalor briket dengan semakin meningkatnya konsentrasi perekat pati tapioka dan kapur yang digunakan. Penelitian lain yang dilakukan oleh Daud Patabang (2012) juga menyatakan bahwa semakin rendah kadar perekat, maka semakin tinggi nilai kalor briket. Data yang diperoleh menyatakan perekat tapioka dengan kadar 7% memiliki nilai kalor tertinggi (2789 kal/g) diikuti kadar perekat 10% (2650,2 kal/g) dan kadar perekat 15% (2539 kal/g). Sudrajat dan Soleh (dalam Triono, 2006) menyatakan bahwa briket dengan tepung tapioka sebagai bahan perekatnya akan sedikit menurunkan nilai kalornya bila dibandingkan dengan nilai kalor material dalam bentuk aslinya.

2.6 Lignin Sebagai Bahan Perekat

Selain selulosa dan hemiselulosa, lignin merupakan komponen utama penyusun kimia kayu. Lignin adalah polimer alami yang terdiri dari molekul-molekul polifenol yang berfungsi sebagai pengikat sel-sel kayu satu sama lain, sehingga kayu menjadi keras dan kaku. Keberadaan lignin membuat kayu mampu meredam kekuatan mekanis yang dikenakan terhadapnya, sehingga memungkinkan usaha pemanfaatan lignin sebagai bahan perekat dan pengikat (*binder*) pada partikel dan kayu lapis (Rudatin dalam Sucipto, 2009).



Gambar 2.4 Struktur monomer lignin (Sumber: ocean.fsu.edu)

Menurut Pizzi (dalam Sucipto, 2009), lignin adalah produk alami yang dihasilkan oleh semua tumbuhan berkayu. Jenis spesies, kondisi pertumbuhan, dan faktor lain pada tumbuhan mempengaruhi variasi dalam kandungan lignin. Lignin merupakan polimer banyak cabang yang terbentuk oleh unit-unit fenil propane (*coumaril alcohol*, *coniferil alcohol*, dan *sringil alcohol*) yang berikatan satu sama lain dengan ikatan karbon dengan karbon (C-C), ikatan karbon dengan oksigen (C-O) dan juga adanya ikatan eter.

Lignin dapat digunakan sebagai bahan bakar, produk polimer, dan komponen bahan-bahan kimia berberat molekul rendah. Baik lignin maupun formaldehida, keduanya mempunyai gugus fenolik. Hal tersebut membuat lignin dapat dimanfaatkan sebagai perekat (*binder*) untuk menggantikan formaldehida. Pembuatan lignin sebagai perekat hampir sama dengan proses pembentukan formaldehida.

Dengan penambahan panas pada material kayu, maka dapat diasumsikan bahwa kadar air dalam material membentuk uap di bawah kondisi tekanan tinggi yang kemudian menghidrolisis hemiselulosa dan lignin. Ketika mengalami panas dan tekanan dalam cetakan, produk-produk tersebut akan melunak dan bertindak sebagai perekat dan memberikan *self-bonding effect*. Pada umumnya, kenaikan temperatur dan waktu pengempaan dapat meningkatkan sifat-sifat material yang dihasilkan. Tetapi, pada temperatur yang terlalu tinggi dan waktu yang terlalu lama, sifat-sifat

material yang dibentuk dapat menurun yang diakibatkan oleh terlalu tingginya kerusakan biomassa selama proses pengempaan.

Lignin dapat diaktifkan dengan cara pengempaan panas (*hot press*). Pada penelitian yang berjudul “Manufacture and Properties of Binderless Particleboard from Bagasse I: Effects of Raw Material Type, Storage Methods, and Manufacturing Process” oleh Widyorini *et al.* (2005), temperatur yang digunakan pada metode *hot press* adalah 190°C.

Rofii dan Widyorini dalam penelitiannya yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Pengolahan Kayu Jati Sebagai Bahan Baku Papan Partikel Non Perekat” menyatakan bahwa perbedaan temperatur pada pengempaan panas berpengaruh pada sifat fisik dan mekanik papan. Penelitian yang memvariasikan temperatur kempa (180°C, 200°C dan 220°C) tersebut menyatakan sifat mekanik terbaik pada papan dihasilkan oleh temperatur 200°C.

Gupta (2009) menyebutkan buku karangan Fengel dan Wegener yang berjudul “Wood: Chemistry, Ultra-struktur, Reactions” menggambarkan pengaruh temperatur pada kayu. Mereka menyebutkan bahwa *softwood* dan *hardwood* melunak pada temperatur sekitar 180°C dengan temperatur maksimum pada 380°C. Temperatur di atas 200°C mengakibatkan perubahan struktural, konversi komponen, terjadinya degradasi produk gas. Jika temperatur lebih dari 270°C, pirolisis kayu dimulai. Peningkatan temperatur lebih lanjut menyebabkan peningkatan produk gas dan temperatur di atas 500°C menyebabkan gasifikasi kayu. Lignin menunjukkan stabilitas yang paling termal dengan temperatur pelunakan 160°C-200°C.

2.7 Mekanisme Pembakaran Bahan Bakar Padat

Pembakaran dapat didefinisikan sebagai proses atau reaksi oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar dan oksidator dengan menimbulkan nyala dan panas. Bahan bakar (*fuel*) merupakan segala substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Sementara oksidator adalah segala substansi

yang mengandung oksigen (misalnya udara) yang akan bereaksi dengan bahan bakar (Taufiq dalam Nugraha, 2013).

Proses pembakaran akan terjadi jika unsur-unsur bahan bakar teroksidasi. Proses ini akan menghasilkan panas sehingga akan disebut sebagai proses oksidasi eksotermis. Jika oksigen yang dibutuhkan untuk proses pembakaran diperoleh dari udara, dimana udara terdiri dari 21% oksigen dan 78% nitrogen, maka reaksi stokiometrik pembakaran hidrokarbon murni C_mH_n dapat ditulis dengan persamaan:



Pada temperatur yang sangat tinggi, gas-gas pecah atau terdisosiasi menjadi gas-gas yang tak sederhana dan molekul-molekul dari gas dasar akan terpecah menjadi atom-atom yang membutuhkan panas dan menyebabkan kenaikan temperatur. Berdasarkan proses pembakarannya, pembakaran dapat dibedakan menjadi:

1. Pembakaran sempurna merupakan pembakaran yang terjadi apabila karbon terbakar dengan oksigen yang cukup.
2. Pembakaran tak sempurna merupakan pembakaran yang terjadi apabila karbon terbakar dengan oksigen yang tidak cukup.
3. Pembakaran dengan udara berlebih merupakan pembakaran yang terjadi apabila karbon terbakar dengan oksigen yang berlebih, sehingga dalam pembakaran menghasilkan unsur oksigen.

Pembakaran material karbon pada bahan bakar padat mengalami beberapa proses yang berbeda dan berlangsung secara berurutan seiring dengan kenaikan temperatur material karbon. Proses-proses yang terjadi adalah pengeringan, devolatilisasi, dan pembakaran *char*.

1. Pengeringan

Pada tahap pengeringan ini terjadi proses pengeringan pada biomassa sehingga air yang terkandung dalam biomassa membentuk uap air dan keluar dari biomassa. Tingkat kandungan air di dalam biomassa mempengaruhi lama tahap

ini. Semakin tinggi kandungan air, maka semakin lama juga waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeringan.

2. Devolatilisasi

Setelah proses pengeringan, bahan bakar mulai mengalami dekomposisi, yaitu pecahnya ikatan kimia secara termal dan *volatile matter* (material yang mudah menguap) akan keluar dari partikel karbon sehingga terbentuk *char* (arang). *Volatile matter* merupakan hasil dari proses devolatilisasi. Komponen penyusun bahan bakar padat sangat kompleks dimana zat-zat volatil yang terkandung di dalamnya berbeda untuk tiap jenisnya. Panas yang dihasilkan oleh reaksi eksotermis sangat penting dalam pelepasan zat volatil dan penyalaan api pada arang.

3. Pembakaran *Char*

Sisa dari pirolisis adalah arang (*fixed carbon*) dan sedikit abu, kemudian partikel bahan bakar mengalami tahapan oksidasi arang yang memerlukan 70% - 80% dari total waktu pembakaran. Laju pembakaran arang tergantung pada konsentrasi oksigen, temperatur gas, bilangan Reynolds, ukuran, dan porositas arang. Arang mempunyai porositas yang tinggi.

2.8 Karakteristik Pembakaran

Karakteristik pembakaran briket pernah dilakukan oleh Danang Dwi Saputro (2009) dimana variabel yang diteliti adalah temperatur pembakaran, pengurangan massa dan laju pembakaran dengan memvariasikan kecepatan aliran udara (0,6 m/s; 0,8 m/s; 1,0 m/s). Hasil penelitian menyatakan bahwa:

1. Temperatur tertinggi dicapai pada kecepatan aliran udara 0,6 m/s dan bahan bakar lebih cepat habis, dikarenakan jumlah massa udara yang sedikit akan mempermudah pencapaian temperatur tinggi.
2. Laju pembakaran tercepat dicapai pada kecepatan pembakaran 0,6 m/s, hal ini dipengaruhi oleh jumlah udara yang dipakai untuk pembakaran lebih sedikit sehingga proses pembakaran menjadi lebih cepat.

Subroto (2006) meneliti karakteristik pembakaran briket campuran batubara, ampas tebu, jerami dengan bahan perekat tepung pati. Komposisi yang diuji adalah biobriket dengan perbandingan prosentase batubara : biomassa (ampas tebu, dan jerami) sebesar 10% : 90%; 33,3% : 66,6%; 50% : 50%, briket dibuat dengan metode cetak tekan pada tekanan 100 kg/cm². Pengujian pembakaran dilakukan untuk mengetahui laju pengurangan massa dengan laju kecepatan udara konstan (0,3 m/s) kemudian dilanjutkan dengan pengujian emisi polutan. Berdasarkan percobaan dan parameter yang telah diuji, penambahan biomassa menyebabkan naiknya *volatile matter* sehingga lebih cepat terbakar dan laju pembakaran lebih cepat. Penambahan biomassa juga dapat menurunkan emisi polutan yang dihasilkan saat pembakaran.

2.8.1 Laju Kenaikan Temperatur

Laju kenaikan temperatur dinyatakan sebagai penambahan temperatur akibat pembakaran briket pada satuan waktu tertentu. Dalam penelitian ini, perhitungan laju kenaikan temperatur dinyatakan dengan persamaan:

$$\Delta T = T_2 - T_1 \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana : ΔT = Kenaikan temperatur (°C)

T_1 = Temperatur awal (°C)

T_2 = Temperatur akhir pada waktu pembakaran tertentu (°C)

Semakin besar kenaikan temperatur menunjukkan pelepasan kalor yang dihasilkan dari pembakaran briket semakin besar.

2.8.2 Laju Pengurangan Massa

Laju pengurangan massa pada penelitian ini adalah berkurangnya massa briket akibat pembakaran pada satuan waktu tertentu. Dalam penelitian ini, perhitungan pengurangan massa dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\Delta M = M_1 - M_2 \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana : ΔM = Pengurangan massa (gr)

M_1 = Massa awal (gr)

M_2 = Massa akhir pada waktu pembakaran tertentu (gr)

2.8.3 Laju Pembakaran

Laju pembakaran merupakan laju oksidasi dikarenakan membutuhkan oksigen dalam reaksinya. Laju pembakaran biobriket semakin tinggi dengan semakin tingginya kandungan senyawa yang mudah menguap (*volatile matter*). Biobriket dengan nilai kalor yang tinggi dapat mencapai suhu pembakaran yang tinggi dan pencapaian suhu optimumnya cukup lama. Semakin besar kerapatan (*density*) biobriket maka semakin lambat laju pembakaran yang terjadi. Namun, semakin besar kerapatan biobriket menyebabkan semakin tinggi pula nilai kalornya. Laju pembakaran dapat didekati dengan rumus:

$$LP = \frac{\Delta M}{\Delta t} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana : LP = Laju pembakaran (mg/s)

ΔM = Pengurangan massa (mg)

Δt = Lama pembakaran (s)

2.8.4 Pelepasan Kalor

Kalor merupakan sebuah energi yang dapat berpindah dari benda bertemperatur tinggi ke temperatur rendah. Satuan kalor dinyatakan dalam Joule (J) atau kalori (1 kal = 4,18 J). Proses penerimaan dan pelepasan kalor menyebabkan perubahan temperatur. Banyaknya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur suatu benda bergantung pada massa benda, kalor jenis zat dan perubahan temperatur. Secara matematis, hubungan tersebut dirumuskan sebagai berikut.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

dimana : Q = Kalor yang diperlukan (kkal)

m = Massa benda (kg)

C_p = Kalor jenis zat (kkal/kg $^{\circ}$ C)

ΔT = Perubahan temperatur ($^{\circ}$ C)

Pada penelitian ini, perpindahan kalor dari briket dapat diuji dengan metode *water boiling test*. Hukum Kekekalan Energi menyatakan bahwa energi adalah tetap. Artinya, kalor yang dipindahkan oleh zat X sama dengan kalor yang diterima oleh zat Y. Berdasar pada Hukum Kekekalan Energi, maka dengan *water boiling test* dapat dinyatakan bahwa kalor yang diterima oleh air sama dengan kalor yang dilepaskan oleh briket.

Rahayu (2012) menyatakan bahwa jumlah kalor yang diterima air pada metode *water boiling test* dipengaruhi oleh kalor sensibel air, kalor laten air, kalor sensibel panci dan kalor *free convection*.

1. Kalor sensibel air adalah kalor yang diterima air seiring kenaikan temperatur dan dipengaruhi oleh massa dan kalor jenis air. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kalor sensibel air adalah sebagai berikut.

$$Q_{\text{sensibel air}} = m_{\text{air}} \cdot C_{p \text{ air}} \cdot \Delta T \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana : $Q_{\text{sensibel air}}$ = Kalor sensibel air (kkal)

m_{air} = Massa air (kg)

$C_{p \text{ air}}$ = Kalor jenis air (kkal/kg $^{\circ}$ C)

ΔT = Perubahan temperatur ($^{\circ}$ C)

2. Kalor laten air adalah energi yang diperlukan untuk menguapkan air jika temperatur pemanasan mencapai dan melebihi titik didih air. Jumlah kalor laten air ini dipengaruhi oleh massa air dan kalor laten air. Kalor laten air dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$Q_{\text{laten air}} = m_2 \cdot H_L \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana : $Q_{\text{latent air}}$ = Kalor laten air (kkal)
 m_2 = Massa air terevaporasi (kg)
 H_L = Kalor laten penguapan air (kkal/kg)

3. Kalor sensibel panci merupakan kalor diterima panci yang digunakan sebagai *water boiling pot* seiring dengan kenaikan temperatur. Kalor sensibel panci dipengaruhi oleh massa panci dan kalor jenis bahan panci. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kalor sensibel air adalah sebagai berikut.

$$Q_{\text{sensibel WBP}} = m_{\text{WBP}} \cdot C_p_{\text{WBP}} \cdot \Delta T \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana : $Q_{\text{sensibel WBP}}$ = Kalor sensibel *water boiling pot* (kkal)
 m_{WBP} = Massa air (kg)
 C_p_{WBP} = Kalor jenis air (kkal/kg°C)
 ΔT = Perubahan temperatur (°C)

4. Kalor *free convection* merupakan *heat loss* yang disebabkan adanya transfer kalor dari air di dalam panci ke udara lingkungan (*ambient*). Kalor ini perlu diperhitungkan karena pada penelitian ini *water boiling test* dilakukan dengan panci tanpa penutup sehingga kalor yang diterima air terbuang ke lingkungan. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$Q_{\text{conv}} = hA \Delta T \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana: Q_{conv} = Laju perpindahan panas konveksi (kkal)
 h = koefisien perpindahan panas konveksi
 A = Luas penampang dimana panas mengalir (m²)
 ΔT = Perubahan temperatur (°C)

2.9 Hipotesis

Luas penampang benda berpengaruh terhadap perpindahan panas. Perpindahan panas yang terjadi mempengaruhi pembakaran. Dengan variasi dimensi pada briket, dapat dimunculkan hipotesis bahwa luas penampang permukaan pada briket akan berubah berbanding lurus dengan semakin besarnya dimensi briket sehingga dapat mempengaruhi karakteristik pembakaran pada briket.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menganalisis karakteristik pembakaran briket ampas tebu dengan variasi dimensi briket.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Waktu penelitian berlangsung selama 5 bulan yaitu dimulai dari bulan Februari sampai dengan bulan Juli 2014.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian dengan menggunakan metoda eksperimental membutuhkan beberapa alat dan bahan dalam pengujian.

3.3.1 Alat

Alat – alat yang digunakan dalam pengujian adalah:

1. Prototype burner
2. Ayakan mesh 30-50
3. Alat press briket
4. Heater
5. Dies (pencetak) briket
6. Termokopel
7. Temperature data logger
8. Termokontrol
9. Anemometer
10. Blower

11. Panci Air
12. Timbangan digital
13. Stopwatch

3.3.2 Bahan

Ampas tebu

3.4 Variabel Penelitian

Penelitian ini memiliki variabel-variabel penelitian yang berupa variabel bebas dan variabel terikat.

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi dimensi briket, temperatur pencetakan, densitas briket, dan total massa briket pada pengujian. Dimensi yang diberikan pada briket adalah diameter 16 mm dan tinggi 34 mm dengan massa 7,5 gram pada briket yang diberi nama Briket B1, diameter 18 mm dan tinggi 36 mm dengan massa 10 gram pada briket yang diberi nama Briket B2, serta diameter 22 mm dan tinggi 36 mm dengan massa 15 gram pada briket yang diberi nama Briket B3. Temperatur yang diberikan saat pencetakan briket dengan metode *hot press* adalah 200°C, kecepatan suplai udara saat uji pembakaran 0,6 m/s, densitas briket yang diusahakan sama yang nilainya 1,1018 gram/cm³, dan massa total briket 60 gram pada setiap uji pembakaran.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan suatu variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Variabel terikat pada penelitian ini adalah karakteristik pembakaran yang meliputi laju kenaikan temperatur, laju pengurangan massa, laju pembakaran, dan pelepasan kalor oleh briket.

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan dimulai dengan persiapan alat dan bahan, perancangan alat uji, pengambilan data, penyajian data dan analisis hasil penelitian.

3.5.1 Tahap Persiapan Biomassa

Ampas tebu dikeringkan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengayakan. Ampas tebu diayak dan ampas yang lolos ayakan 50 mesh dijadikan bahan siap untuk pencetakan briket.

3.5.2 Tahap Pencetakan Briket

Pencetakan briket dilakukan dengan memberikan perlakuan panas saat pencetakan dengan tekanan pencetakan semaksimal mungkin hingga tinggi briket mencapai tinggi yang telah ditentukan (tinggi 34 mm untuk briket B1, 36 mm untuk B2 dan B3). Pencetakan briket dilakukan dengan tahap-tahap sebagai berikut.

1. Menimbang ampas tebu dengan berat 7,5 gram, 10 gram, dan 15 gram.
2. Memasukkan ampas tebu yang telah ditimbang dengan berat 7,5 gram ke dalam dies dengan ukuran diameter 16 mm, berat 10 gram pada dies berdiameter 18 mm, dan berat 15 gram pada dies berdiameter 22 mm.
3. Mengatur termokontrol pada temperatur pencetakan.
4. Mencetak ampas tebu yang telah dimasukkan ke dalam dies pada alat press briket dengan tekanan semaksimal mungkin hingga terbentuk dimensi yang telah ditentukan sesuai ukuran pada dies disertai pemberian panas oleh heater dengan temperatur mencapai 200°C untuk memunculkan gugus lignin sebagai perekat.
5. Mengeluarkan briket yang dihasilkan dari proses pencetakan.

3.5.3 Uji Laju Kenaikan Temperatur Pembakaran

Pengujian kenaikan temperatur dilakukan dengan pengukuran temperatur ruang bakar briket. Pengujian dilakukan dengan total massa yang sama pada masing-

masing kelompok dimensi briket, yaitu 60 gram. Langkah-langkah pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Memasang kabel termokopel pada ruang pembakaran.
2. Memasukkan 8 buah briket berdiameter 16 mm yang bermassa 7,5 gram (total massa 60 gram) ke dalam ruang pembakaran burner prototype.
3. Menghidupkan fan pada burner.
4. Membakar briket yang sudah disiapkan untuk pengujian.
5. Mengamati waktu dan perubahan temperatur pembakaran.
6. Mencatat perubahan temperatur tiap 1 menit.
7. Mengulangi langkah 2 sampai langkah 6 untuk briket berdiameter 18 mm sebanyak 6 buah dan briket berdiameter 22 mm sebanyak 4 buah.
8. Menyajikan data dalam bentuk tabel sebagai berikut.

Tabel 3.1 Data Laju Kenaikan Temperatur Pembakaran

Waktu (menit)	Temperatur (°C)								
	Pengujian ke-1			Pengujian ke-2			Pengujian ke-3		
	T ₁	T ₂	T	T ₁	T ₂	T	T ₁	T ₂	T
1									
2									
3									
4									

9. Menganalisis hasil pengujian.

3.5.4 Uji Laju Pengurangan Massa

Pengujian laju pengurangan massa dilakukan dengan mengamati perubahan massa briket akibat pembakaran. Pengujian dilakukan dengan total massa yang sama pada masing-masing kelompok dimensi briket, yaitu 60 gram. Langkah-langkah pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Menghubungkan keranjang tempat briket dengan timbangan..
2. Memasukkan 8 buah briket berdiameter 16 mm yang bermassa 7,5 gram (total massa 60 gram) ke dalam ruang pembakaran burner prototype.
3. Menghidupkan fan pada burner.
4. Membakar briket yang sudah disiapkan untuk pengujian.
5. Mengamati waktu dan perubahan massa saat pembakaran pembakaran.
6. Mencatat perubahan massa tiap 1 menit.
7. Mengulangi langkah 2 sampai langkah 6 untuk briket berdiameter 18 mm sebanyak 6 buah dan briket berdiameter 22 mm sebanyak 4 buah.
8. Menyajikan data dalam bentuk tabel sebagai berikut.

Tabel 3.2 Data Perubahan Massa Briket

Waktu (menit)	Massa (gram)			
	Pengujian ke-1	Pengujian ke-2	Pengujian ke-3	$M_{rata-rata}$
0				
1				
2				
3				

9. Menganalisis hasil pengujian.

3.5.5 Uji Laju Pembakaran

Laju pembakaran yang dipengaruhi dimensi briket diuji pada total massa yang sama pada masing-masing kelompok dimensi briket, yaitu 60 gram. Langkah-langkah pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Menghubungkan wadah briket ke timbangan.
2. Memasukkan 8 buah briket berdiameter 16 mm yang bermassa 7,5 gram (total massa 60 gram) ke dalam ruang pembakaran burner prototype.
3. Menghidupkan fan pada burner.

4. Membakar briket yang sudah disiapkan untuk pengujian.
5. Mengamati pengurangan massa persatuan waktu selama pembakaran.
6. Mencatat perubahan massa tiap 1 menit.
7. Menghitung laju pembakaran dengan persamaan (2.3).
8. Mengulangi langkah 2 sampai langkah 7 untuk briket berdiameter 18 mm sebanyak 6 buah dan briket berdiameter 22 mm sebanyak 4 buah.
9. Menyajikan data dalam bentuk Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data Laju Pembakaran Briket

Waktu (menit)	Pengujian ke-1		Pengujian ke-2		Pengujian ke-3	
	M (gram)	LP (mg/s)	M (gram)	LP (mg/s)	M (gram)	LP (mg/s)
1						
2						
3						

10. Menganalisis hasil pengujian.

3.5.6 Uji Pelepasan Kalor

Pengujian terhadap kalor yang dilepaskan oleh briket dilakukan dengan *water boiling test*. Kalor yang diterima oleh air pada saat pembakaran sama dengan kalor dari hasil pembakaran briket ($Q_{air} = Q_{briket}$), sehingga pengamatan mengenai pelepasan kalor oleh briket yang dipengaruhi variasi dimensi dilakukan dengan mengamati perubahan temperatur pada air dengan asumsi tidak ada *heat loss*. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian pelepasan kalor oleh briket adalah sebagai berikut.

1. Mengukur volume dan memastikan massa air dan meletakkannya pada panci sebagai *boiling pot*.
2. Memasang kabel termokopel agar perubahan temperatur air dapat diketahui.
3. Memasukkan 8 buah briket berdiameter 16 mm yang bermassa 7,5 gram (total massa 60 gram) ke dalam ruang pembakaran burner prototype.

4. Membakar briket yang sudah disiapkan untuk pengujian.
5. Menghidupkan fan pada burner.
6. Meletakkan panci berisi air diatas burner.
7. Mengamati perubahan temperatur selama pembakaran.
8. Mencatat perubahan temperatur air tiap 1 menit.
9. Menghitung kalor yang diterima air dengan persamaan (2.4) hingga persamaan (2.7).
10. Mengulangi langkah 1 sampai langkah 9 untuk briket berdiameter 18 mm sebanyak 6 buah dan briket berdiameter 22 mm sebanyak 4 buah.
11. Menyajikan data dalam bentuk tabel sebagai berikut.

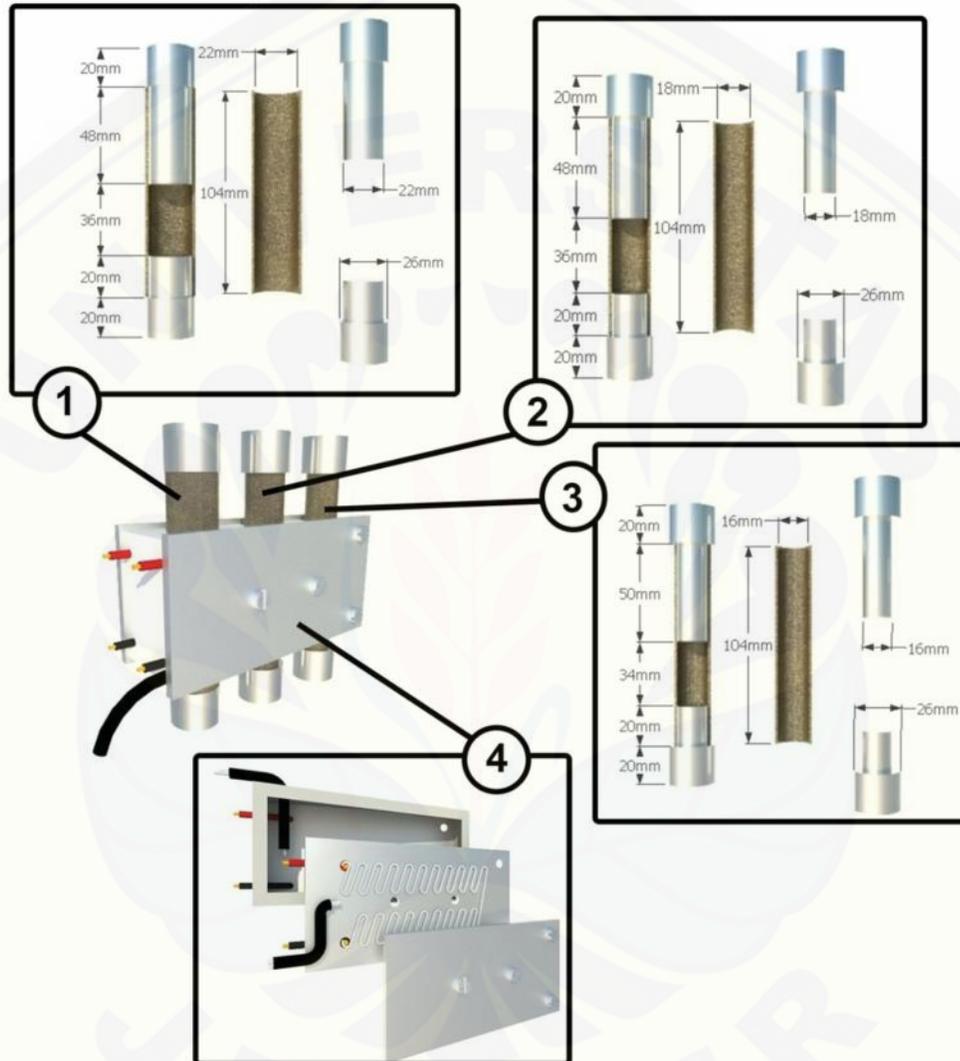
Tabel 3.4 Data pengamatan uji pelepasan kalor

Spesifikasi Kalor	Besar (kkal)		
	B1	B2	B3
$Q_{sensibel\ air}$			
$Q_{laten\ air}$			
$Q_{sensibel\ WBP}$			
Q_{conv}			

12. Menganalisis hasil pengujian.

3.6 Skema Alat Uji

3.6.1 Rangkaian Dies

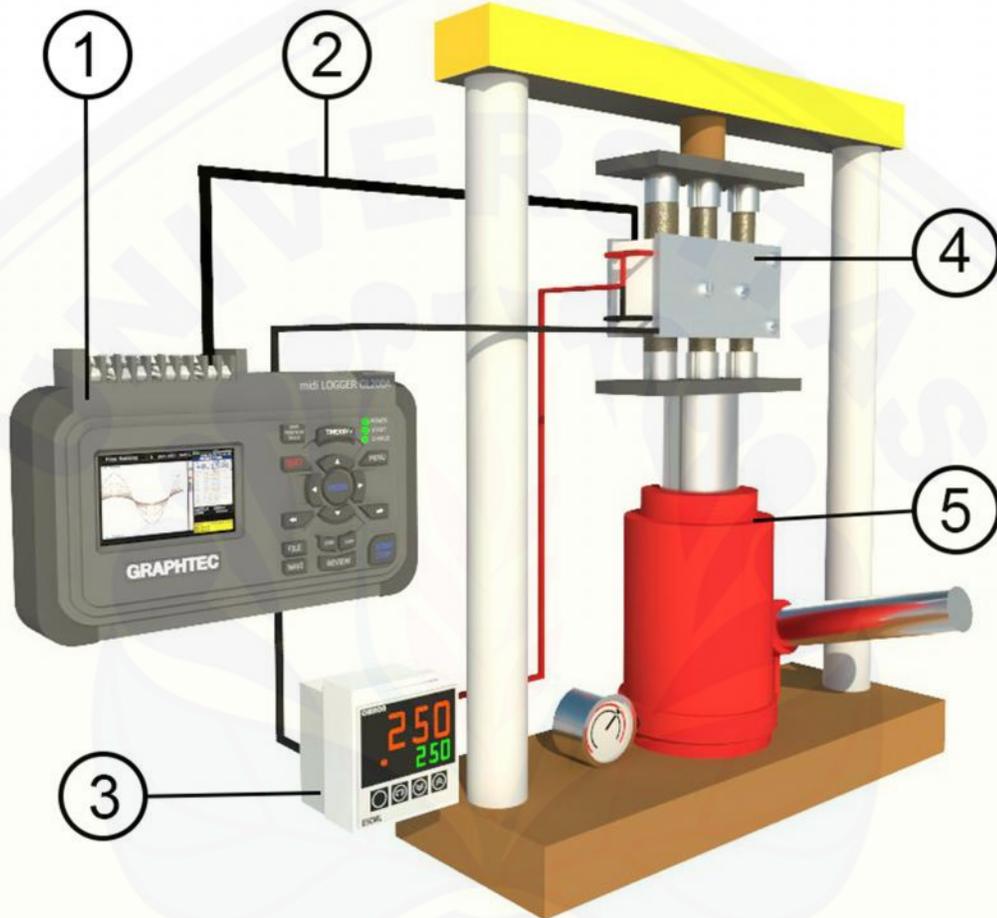


Gambar 3.1 Dies

Keterangan :

1. Dies Briket B3
2. Dies Briket B2
3. Dies Briket B1
4. Rangkaian heater

3.6.2 Alat Pencetakan Briket



Gambar 3.2 Skema alat pencetakan briket

Keterangan :

1. Temperatur data logger
2. Termokopel
3. Termokontrol
4. Rangkaian dies
5. Dongkrak Hidrolik

3.6.3 Alat Uji Pembakaran

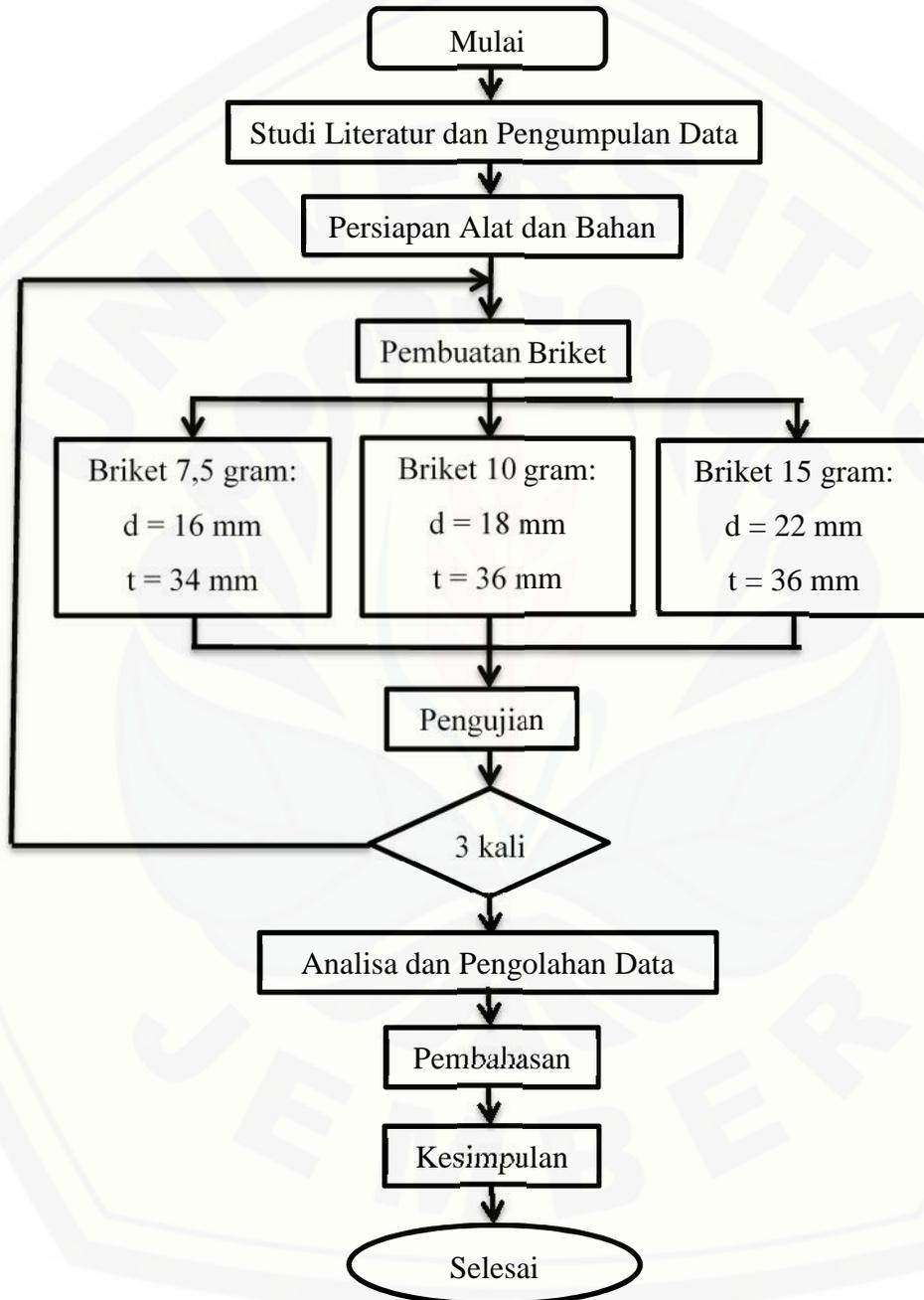


Gambar 3.3 Skema alat uji pembakaran

Keterangan :

1. Temperature data logger
2. Termokopel
3. Timbangan digital
4. Panci berisi air
5. Burner
6. Briket
7. Fan

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

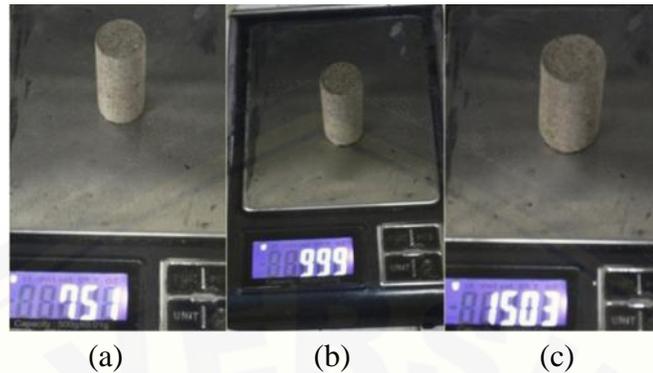
4.1 Hasil Pencetakan Briket

Briket ampas tebu yang digunakan dalam uji pembakaran dicetak pada temperatur 200°C guna mengaktifkan lignin sebagai binder dengan nilai kerapatan briket sebesar 1,1018 g/cm³. Dengan nilai kerapatan 1,1018 g/cm³ dan pencetakan pada temperatur 200°C, bentuk fisik briket ampas tebu dengan *lignin self-bounding effect* dapat tercapai dengan baik.



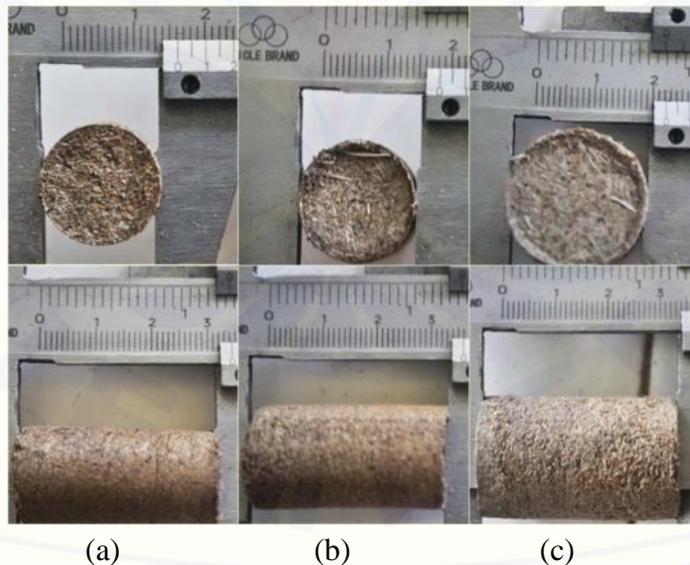
Gambar 4.1 Bentuk fisik briket hasil pencetakan

Dalam pencetakan briket, massa yang dihasilkan setelah pencetakan akan mengalami penyusutan dari massa saat penimbangan sebelum bahan dicetak. Hal ini dikarenakan berkurangnya kadar air yang terkandung pada bahan. Perlakuan panas saat proses pencetakan (metode *hot press*) mengakibatkan penguapan kadar air pada bahan. Penyebab lain dari penyusutan massa pada proses pencetakan adalah terbuangnya bahan ketika proses pengisian ke dalam *dies*. Partikel bahan yang ringan mudah terbang bahkan akibat perubahan tekanan udara yang dipengaruhi pergerakan masuk bahan ke dalam *dies*.



Gambar 4.2 Massa briket hasil pencetakan (a) Briket B1, (b) Briket B2, (c) Briket B3

Pada ukuran (dimensi) yang sama, pengurangan massa briket yang dihasilkan akibat proses pencetakan tentunya mempengaruhi nilai kerapatan briket. Pemberian toleransi massa sebesar 0,8-1 gram ketika penimbangan bahan mampu menghasilkan massa briket sesuai massa yang ditentukan (massa B1 = 7,5 gram, B2 = 10 gram, dan B3 = 15 gram) dengan toleransi < 0,1 gram sehingga selisih nilai kerapatan yang dihasilkan pada setiap briket dalam penelitian ini tidak melebihi $0,015 \text{ g/cm}^3$.



Gambar 4.3 Dimensi briket hasil pencetakan (a) Briket B1, (b) Briket B2, (c) Briket B3

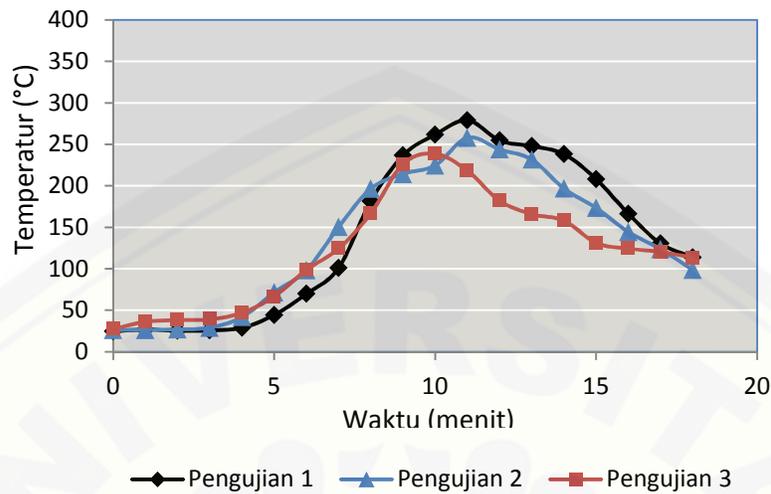
Dimensi briket yang dihasilkan setelah proses pencetakan mampu mencapai target yang ditentukan. Briket yang dihasilkan memiliki diameter 16 mm dan tinggi 34 mm untuk B1, diameter 18 mm dan tinggi 36 mm untuk B2, serta diameter 22 mm dan tinggi 36 mm untuk B3. Dengan hasil pencetakan dalam penelitian ini, maka dapat dinyatakan bahwa dimensi briket dapat terkontrol dan terjaga kehomogenan dimensinya dengan baik sehingga hasil pengujian variasi dimensi briket ampas tebu dengan *lignin self-bounding effect* terhadap karakteristik pembakaran dapat lebih spesifik.

4.2 Kenaikan Temperatur Pembakaran

Kenaikan temperatur pembakaran briket diperoleh dari selisih perubahan temperatur ruang bakar dengan temperatur awal ruang bakar setelah terbentuk nyala api pada salah satu briket yang digunakan sebagai pemicu pembakaran. Waktu terbentuk nyala api pada briket pemicu dinyatakan sebagai menit ke-0 dan sebagai awal pengamatan. Setiap pengujian untuk masing-masing variasi dimensi briket dimulai dari temperatur berbeda. Hal ini dikarenakan perbedaan temperatur ruangan saat pengujian dan pengaruh panas yang diberikan saat penyulutan briket pemicu.

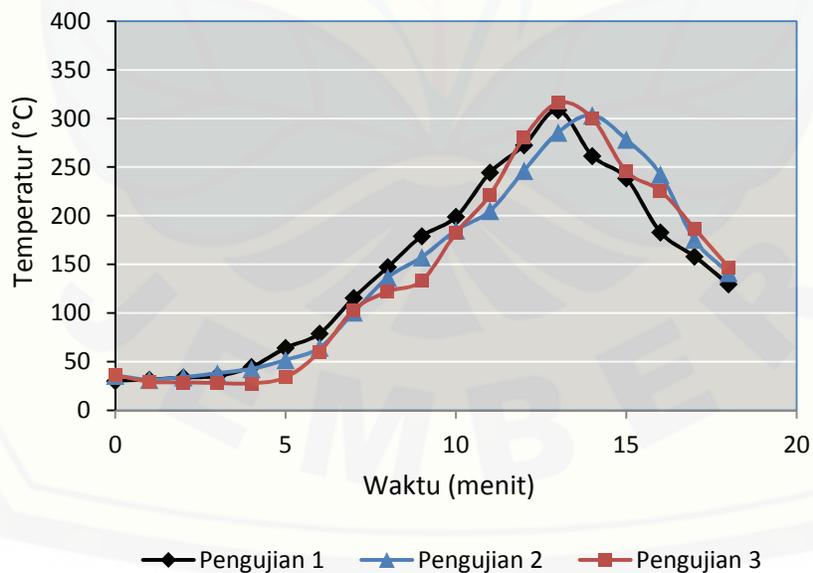
4.2.1 Perubahan Temperatur Pembakaran Briket

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kenaikan temperatur pada setiap variasi dimensi briket dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan. Pengujian pertama Briket B1 dimulai pada temperatur 24,7°C. Temperatur puncak ruang bakar pada pengujian pertama adalah 279,1°C pada menit ke-11 setelah terbentuknya api pada briket pemicu. Pembakaran pengujian kedua dimulai pada temperatur 26,1°C dan mencapai temperatur puncak pada menit ke-11 dengan nilai sebesar 258°C. Pengujian ketiga pada temperatur 27,2°C dengan temperatur puncak sebesar 238°C pada menit ke-10. Data perubahan temperatur pembakaran Briket B1 disajikan pada Lampiran A.1. Grafik perubahan temperatur pada pengujian Briket B1 berdasarkan data yang diperoleh selama 18 menit waktu pembakaran disajikan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik perubahan temperatur pada pengujian Briket B1

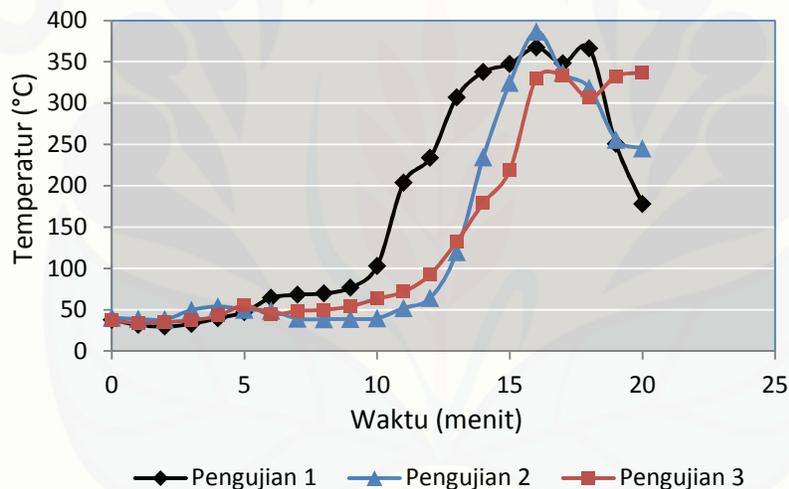
Pada pengujian pembakaran Briket B2 pengujian pertama dimulai pada temperatur 30,3°C, pengujian kedua pada temperatur 35,7°C, dan pengujian ketiga pada temperatur 36,3°C. Berikut adalah grafik perubahan temperatur pada pengujian Briket B2.



Gambar 4.5 Grafik perubahan temperatur pada pengujian Briket B2

Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa temperatur puncak yang dicapai pada pengujian pertama adalah $308,5^{\circ}\text{C}$ pada menit ke-13. Temperatur puncak pada pengujian kedua terjadi pada menit ke-14 dengan besar $303,3^{\circ}\text{C}$. Temperatur yang dicapai pada pengujian ketiga sebesar 316°C pada menit ke-13. Data perubahan temperatur pembakaran Briket B2 disajikan pada Lampiran A.2.

Pengamatan terhadap perubahan temperatur pada briket B3 dilakukan dalam rentang waktu lebih dari 18 menit karena naiknya temperatur pada awal pengujian membutuhkan waktu lebih lama. Pengujian pertama pada Briket B3 dimulai pada temperatur $37,6^{\circ}\text{C}$, pengujian kedua pada temperatur $40,4^{\circ}\text{C}$, dan pengujian ketiga pada temperatur 37°C . Berikut adalah grafik perubahan temperatur pada Briket B3.



Gambar 4.6 Grafik perubahan temperatur pada pengujian Briket B3

Gambar 4.6 merupakan grafik perubahan temperatur pada pengujian Briket B3 dalam kurun waktu 20 menit. Temperatur puncak yang dicapai pada pengujian pertama adalah $367,3^{\circ}\text{C}$ pada menit ke-16. Temperatur puncak pada pengujian kedua dicapai pada menit ke-16 dengan besar $386,5^{\circ}\text{C}$. Temperatur puncak pengujian ketiga adalah $337,1^{\circ}\text{C}$ pada menit ke-20. Temperatur terus menurun setelah menit ke-20 yang data hasil pengamatannya dapat dilihat pada Lampiran A.3.

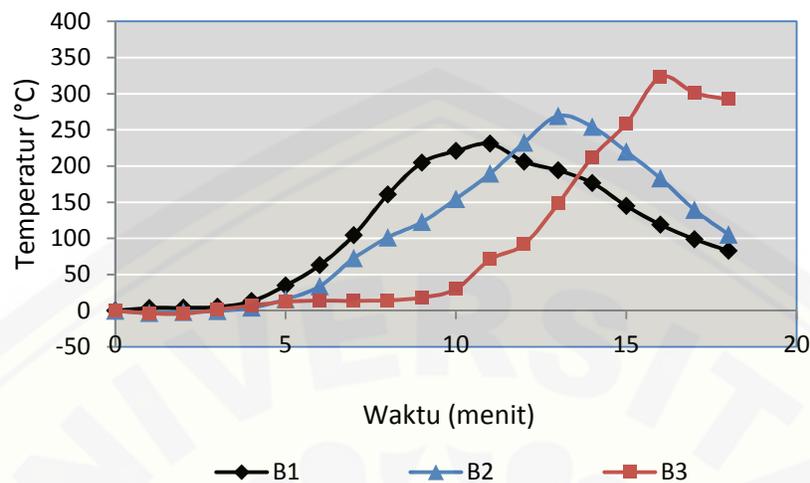
4.2.2 Analisis Pengaruh Dimensi Terhadap Kenaikan Temperatur Briket

Perubahan temperatur yang memiliki fluktuasi berbeda pada ketiga variasi briket menunjukkan bahwa dimensi berpengaruh pada kenaikan temperatur. Dari perubahan temperatur yang diamati dalam tiga pengujian pada setiap variasi dimensi briket diperoleh fluktuasi kenaikan temperatur yang disajikan pada Lampiran A.4 – Lampiran A.6. Nilai rata-rata kenaikan temperatur selama 18 menit disajikan pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Kenaikan temperatur rata-rata pada variasi dimensi briket

Waktu (menit)	Temperatur (°C)		
	B1	B2	B3
1	3,7	-3,2	-3,7
2	4,1	-1,9	-4,1
3	5,2	-0,3	1,5
4	13,1	4,3	7,1
5	34,8	15,9	12,6
6	62,9	33,8	14,0
7	104,2	72,5	13,6
8	160,6	101,2	14,3
9	204,7	122,6	18,1
10	220,7	154,6	30,3
11	230,8	189,6	70,8
12	205,8	232,4	91,8
13	194,1	269,3	148,1
14	176,6	254,2	212,1
15	144,8	220,2	258,6
16	119,0	183,0	323,0
17	98,8	139,5	301,2
18	82,6	105,3	291,9

Dengan membandingkan nilai rata-rata kenaikan temperatur pada setiap variasi dimensinya diperoleh fluktuasi akibat pengaruh dimensi terhadap kenaikan temperatur yang ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik laju kenaikan temperatur pada variasi dimensi briket

Berdasarkan Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa kenaikan temperatur rata-rata pada setiap variasi dimensi briket berfluktuasi dan mencapai kenaikan tertinggi dari temperatur hasil pembakarannya. Setelah mencapai puncaknya, temperatur kembali menurun. Briket B1 (diameter 16 mm dan tinggi 34 mm) mencapai laju kenaikan tertinggi dengan membutuhkan waktu selama 11 menit pembakaran dengan pencapaian temperatur rata-rata sebesar $230,8^{\circ}\text{C}$. Briket B2 (diameter 18 dan tinggi 36 mm) membutuhkan waktu selama 13 menit dalam mencapai laju kenaikan tertinggi sebesar $303,4^{\circ}\text{C}$. Briket B3 (dimensi 22 mm dan tinggi 36 mm) mencapai laju kenaikan tertinggi sebesar $361,3^{\circ}\text{C}$ dengan waktu selama 16 menit. Briket B1 menunjukkan waktu pembakaran yang paling singkat dalam pencapaian laju kenaikan temperatur tertinggi, sementara Briket B3 membutuhkan waktu pembakaran paling lama, dan Briket B2 terletak diantara keduanya.

Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa Briket B1 memulai kenaikan temperaturnya lebih awal. Dengan waktu 6 menit, besar kenaikan temperatur diatas 50°C sudah dapat dicapai Briket B1 ($62,9^{\circ}\text{C}$ pada 6 menit waktu pembakaran). Dalam waktu pembakaran yang singkat, Briket B1 dapat mencapai kenaikan temperatur maksimalnya. Pada Briket B2 kenaikan temperatur diatas 50°C baru dapat

dicapai setelah pembakaran selama 7 menit dengan temperatur 72,5°C, sedangkan Briket B3 baru mencapai temperatur 70°C setelah 11 menit pembakaran. Hal tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yang memiliki perbedaan akibat variasi dimensi briket.

Variasi dimensi briket pada pengujian yang dilakukan pada total massa yang sama ini menyebabkan fraksi volume yang berbeda pada pengujian. Briket B1 memiliki dimensi yang paling kecil menyebabkan pengujian Briket B1 memiliki fraksi volume paling kecil, Briket B3 memiliki dimensi yang paling besar menyebabkan pengujian Briket B3 memiliki fraksi volume yang paling besar, sedangkan Briket B2 terletak diantara keduanya. Fraksi volume paling kecil yang dimiliki Briket B1 merupakan faktor yang mempengaruhi kenaikan temperatur ruang bakar pada pengujian Briket B1 memiliki gradien yang paling besar di awal pembakaran. Energi aktivasi yang diberikan lebih efektif pada fraksi volume yang paling kecil. Altun *et al.* (dalam Chaney, 2010:61) menyatakan bahwa energi aktivasi untuk pembakaran meningkat seiring ukuran dan volume briket yang diperbesar dimana hal tersebut menyebabkan briket susah terignisi dan terbakar secara sustain. Briket pemicu pada pengujian Briket B1 yang berdimensi paling kecil lebih mudah terbakar sehingga menghasilkan kalor lebih cepat dan menaikkan temperatur dengan gradien yang besar pada awal pembakaran. Dengan jarak antara permukaan dengan bagian tengah briket yang paling kecil, energi aktivasi yang diberikan pada permukaan briket pemicu pada pengujian Briket B1 lebih cepat menjangkau bagian tengah briket sehingga penguapan dan devolatilisasi terjadi dengan waktu yang lebih singkat.

Menurut Chigier (dalam Rahayu, 2012:29), seiring lepasnya *volatile matter* pada permukaan terdapat energi panas yang dilepaskan dimana energi panas tersebut dapat memicu ignisi lainnya pada permukaan secara radiasi. Briket pemicu merupakan fraksi volume dari total briket dalam pembakaran. Briket B1 memiliki dimensi paling kecil pada setiap briketnya, namun dalam pengujian pada kelompok briket dengan total massa yang sama, Briket B1 memiliki luas permukaan total yang

lebih besar dibanding Briket B2 dan Briket B3. Perincian luas permukaan briket dalam pengujian disajikan dalam tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Luas permukaan briket pada pengujian

Briket	d (mm)	t (mm)	m (gram)	A_{alas} (mm^2)	A_{selimut} (mm^2)	A_{briket} (mm^2)	$A_{\text{pengujian}}$ (mm^2)
B1	16	34	7,5	200,96	1701,84	2103,76	16830,06
B2	18	36	10	254,34	2016,99	2525,67	15154,04
B3	22	36	15	379,94	2475,40	3235,28	12941,12

Ketersediaan luas permukaan pada briket mempengaruhi perpindahan kalor saat pembakarannya. Dengan ketersediaan luas permukaan dan kenaikan temperatur akibat reaksi pembakaran *volatile matter* pada briket pemicu yang besar pada Briket B1, kalor yang diterima guna memicu penyalaan briket yang lain juga lebih besar. Penerimaan kalor yang lebih besar pada pengujian Briket B1 mempengaruhi besarnya proses pengeringan dan devolatilisasi briket yang lainnya (fraksi volume lain yang belum terbakar) pada tahap awal pembakaran sehingga gas yang terbentuk dari pengeringan dan devolatilisasi dihasilkan lebih cepat. Kemudian gas-gas yang terbentuk dari proses pengeringan dan devolatilisasi bercampur dengan oksigen bertemperatur tinggi pada permukaan briket sehingga terjadi proses pembakaran *volatile matter*. *Volatile matter* bereaksi dengan oksigen sehingga terbentuk nyala api pada permukaan dan menghasilkan kalor untuk menaikkan temperatur. Berlangsungnya proses awal pembakaran dengan cepat ini adalah faktor yang mempengaruhi kenaikan temperatur pada Briket B1 dimulai lebih awal sehingga dapat mencapai puncak temperatur hasil pembakarannya dalam waktu pembakaran yang lebih singkat. Sedangkan pada Briket B2 dan B3, reaksi dengan memanfaatkan panas dari hasil reaksi eksotermik dari briket pemicu untuk ignisi briket yang merupakan fraksi volume yang lain pada proses awal pembakaran ini berlangsung lebih lama karena ketersediaan permukaan yang dimiliki lebih sempit. Dari analisa di atas, diketahui bahwa luas permukaan mempengaruhi hal tersebut.

Pada grafik, laju kenaikan temperatur pada Briket B2 dan Briket B3 mengalami nilai minus pada menit-menit awal. Hal ini menunjukkan terjadi pendinginan pada ruang bakar sehingga terjadi penurunan temperatur. Penurunan temperatur disebabkan oleh panas yang terkonveksi keluar ruang pembakaran lebih besar daripada panas yang dihasilkan briket pada saat itu. Namun seiring lamanya waktu pembakaran, kalor yang dihasilkan mulai mampu memanaskan ruang bakar. Grafik pada pengujian Briket B1 memiliki garis yang naik paling awal. Grafik pada pengujian Briket B2 memiliki garis yang mulai naik pada waktu lebih lama dan Briket B3 memiliki garis yang paling lama dalam memulai kenaikannya, namun kemiringan garis yang semakin curam dibandingkan Briket B1 dan B2. Pada grafik, naiknya garis menunjukkan kenaikan temperatur dan semakin curamnya kemiringan garis menunjukkan gradien temperatur. Jadi, semakin curam kemiringan garis pada grafik berarti semakin besar kenaikan temperatur.

Pada Briket B3, garis pada grafik memiliki kemiringan paling curam. Ini menunjukkan bahwa semakin besar dimensi briket laju perubahan temperatur dimulai lebih lama, namun melonjaknya perubahan temperatur bernilai besar pada suatu waktu. Pada pengujian Briket B3, naiknya temperatur sebelum mencapai puncak dan turunnya temperatur setelah itu berlangsung dengan gradien yang lebih besar dibandingkan pengujian pada Briket B1 dan Briket B2. Reaksi pembakaran pada awal berlangsung dengan membutuhkan waktu paling lama karena dengan besarnya energi awal yang diberikan briket pemicu yang merupakan fraksi volume paling besar sulit terbakar secara sustain. Selain itu, lamanya pembakaran awal juga disebabkan oleh ketersediaan luas permukaan untuk bereaksi yang paling sempit sehingga pemanfaatan kalor dari reaksi eksotermik untuk proses awal pembakaran tidak sebesar Briket B1 dan Briket B2. Kemudian Briket B3 mengalami laju kenaikan temperatur yang lebih besar hingga mencapai temperatur puncak hasil pembakarannya dan kembali turun dengan gradien temperatur yang besar pula. Hal tersebut dikarenakan setelah setiap briket dalam kelompok pengujian cukup memperoleh kalor dari lingkungan untuk pengeringan dan devolatilisasi, maka proses

yang terjadi setelah itu adalah pembakaran *volatile matter* pada permukaan briket sehingga temperatur briket meningkat. Pada saat temperatur briket lebih tinggi daripada temperatur lingkungan, pelepasan kalor terjadi dari hasil pembakaran briket dan menaikkan temperatur lingkungan. Besarnya kalor yang dipindahkan tergantung kecepatan reaksi pembakaran briket.

Menurut Chaney (2010), devolatilisasi terbatas pada laju perpindahan panas daripada kinetika reaksi. Pada bahan bakar padat mekanisme perpindahan kalor terjadi dalam tiga bentuk (konduksi, konveksi, dan radiasi). Perpindahan secara konduksi adalah mekanisme yang paling mempengaruhi kecepatan reaksi saat pembakaran terjadi. Maka setelah terbentuk nyala api pada setiap fraksi volume dalam kelompok pengujian, dimensi setiap briket lebih dominan memberi pengaruh terhadap reaksi pembakaran masing-masing. Besarnya luas permukaan pada masing-masing briket mempengaruhi perpindahan kalor secara konduksi pada briket. Setelah pembakaran *volatile matter* terjadi pada seluruh luas permukaan, kalor berpindah ke ruang bakar secara radiasi dan konveksi, berpindah ke dalam briket secara konduksi untuk melakukan reaksi lebih lanjut. Dengan fluk kalor yang sama, semakin besar luas permukaan yang terbakar maka semakin besar kalor yang dikonduksikan sehingga laju reaksinya semakin cepat. Pada Briket B3 yang memiliki luas permukaan yang paling besar, perpindahan kalor secara konduksi menghasilkan dekomposisi termal (devolatilisasi) yang besar sehingga *volatile matter* yang dilepaskan saat pembakaran semakin besar. Laju reaksi pembakaran *volatile matter* yang besar ini menghasilkan jumlah kalor yang besar kemudian dipindahkan ke lingkungan secara radiasi dan konveksi dengan laju perpindahan besar sehingga temperatur ruang bakar mengalami laju kenaikan temperatur yang signifikan.

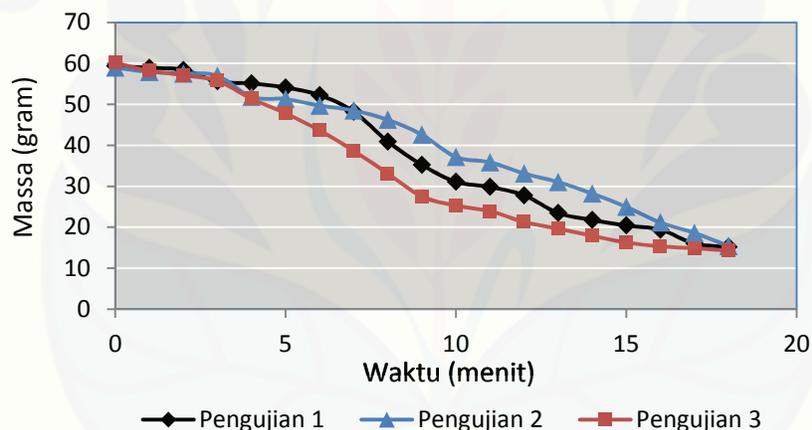
4.3 Laju Pengurangan Massa Briket

Laju pengurangan massa briket pada pengujian Waktu terbentuk nyala api pada briket pemicu dinyatakan sebagai menit ke-0 dan sebagai awal pengamatan. Setiap pengujian untuk masing-masing variasi dimensi briket dimulai dari massa

yang berbeda. Selain dikarenakan perbedaan massa pada masing-masing briket (masih di dalam batas toleransi massa $<0,1$ gram), hal tersebut juga dikarenakan perbedaan pada besarnya penguapan dan pembakaran *volatile matter* yang terjadi saat penyalaan briket pemicu.

4.3.1 Hasil Pengujian Laju Pengurangan Massa Briket

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui laju pengurangan massa pada setiap variasi dimensi briket dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan. Data perubahan massa selama 18 menit waktu pembakaran pada pengujian pertama Briket B1 disajikan pada Lampiran A.7. Berikut adalah grafik laju pengurangan massa pada pengujian Briket B1.

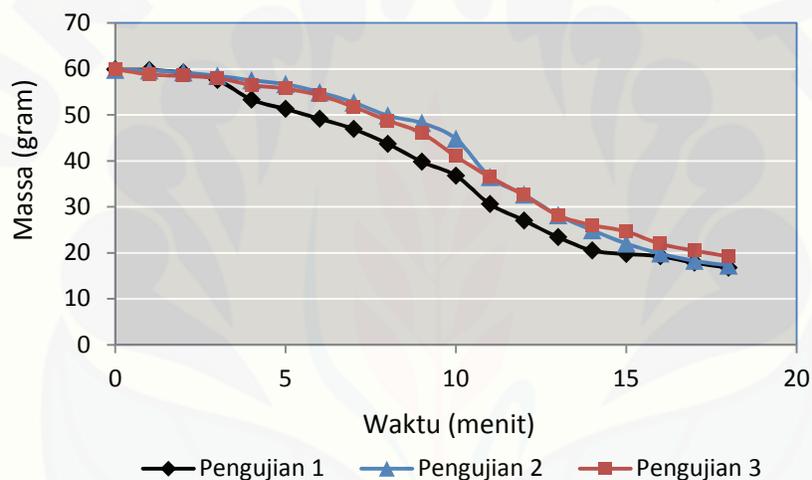


Gambar 4.8 Grafik laju pengurangan massa pada pengujian Briket B1

Pada pengujian Briket B1, pengujian pertama dilakukan dengan total massa awal sebelum penyalaan briket pemicu sebesar 60,22 gram dan menjadi 59,33 gram setelah api terbentuk pada briket pemicu. Setelah 18 menit waktu pembakaran, Briket B1 pada pengujian pertama mengalami pengurangan massa sebesar 44,13 gram sehingga massa yang tersisa pada pengujian pertama adalah 15,20 gram. Pada pengujian kedua, pembakaran dimulai dengan total massa awal sebesar 60,22 gram dan menjadi 58,96 gram setelah terbentuk nyala api. 18 menit waktu pembakaran

menyebabkan pengurangan massa sebesar 43,54 gram sehingga massa yang tersisa sebesar 15,42 gram. Massa awal pada pengujian ketiga sebesar 60,32 gram dan menjadi 60,13 gram setelah terbentuk nyala api. Pengurangan massa yang dialami selama 18 menit waktu pembakaran 45,82 gram sehingga massa yang tersisa adalah sebesar 14,31 gram.

Data hasil tiga kali pengulangan pada pengujian Briket B2 disajikan pada Lampiran A.8. Dari data pengujian Briket B2 diperoleh grafik laju pengurangan massa pada gambar 4.9 berikut.

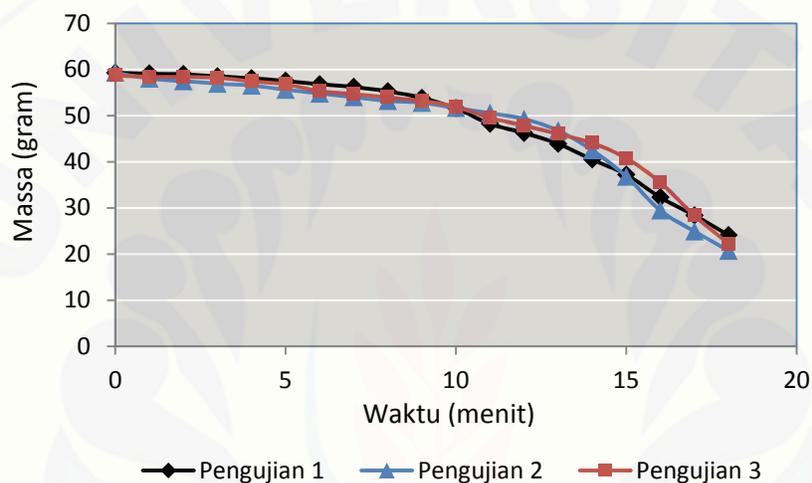


Gambar 4.9 Grafik laju pengurangan massa pada pengujian Briket B2

Pada Briket B2, pengujian pertama dilakukan dengan massa awal 60,00 gram, pengujian kedua dengan massa 60,09 gram, dan pengujian ketiga dengan massa 60,07 gram. Grafik pada Gambar 4.10 menunjukkan laju pengurangan massa dimana pengujian pertama memiliki massa setelah terbentuk nyala api dengan sebesar 59,85 gram. Setelah 18 menit waktu pembakaran Briket B2 pada pengujian pertama mengalami pengurangan massa sebesar 43,09 gram dan tersisa massa sebesar 16,67 gram. Massa setelah terbentuk nyala api pada pengujian kedua adalah 59,79 gram dan selama 18 menit waktu pembakaran mengalami pengurangan sebesar 42,55 gram. Pada pengujian kedua massa yang tersisa sebesar 17,24 gram. Setelah terbentuk nyala

api pada briket pemicu, massa Briket B2 pada pengujian ketiga adalah 59,96 gram. Setelah 18 menit pembakaran, Briket B2 pada pengujian ketiga mengalami pengurangan massa sebesar 40,75 gram sehingga tersisa massa sebesar 19,21 gram.

Data dari hasil tiga kali pengujian mengenai laju pengurangan massa Briket B3 disajikan pada Lampiran A.9. Dari data pengujian diperoleh grafik laju pengurangan massa Briket B3 sebagai berikut.



Gambar 4.10 Grafik laju pengurangan massa pada pengujian Briket B3

Pada Briket B3, pengujian pertama dilakukan dengan massa awal sebelum terbentuk nyala api sebesar 60,17 gram, pengujian kedua dengan massa awal 60,17 gram, dan pengujian ketiga dilakukan dengan massa 59,99 gram. Gambar 4.11 menunjukkan bahwa massa setelah terbentuk nyala api pada pengujian pertama adalah 59,25 gram dan mengalami pengurangan massa sebesar 35,16 gram pada menit ke-18 sehingga tersisa massa sebesar 24,09 gram. Pada pengujian kedua, massa setelah terbentuk nyala api adalah 59,30 gram dan mengalami pengurangan massa sebesar 38,59 gram pada menit ke-18 sehingga tersisa massa sebesar 20,71 gram. Massa setelah terbentuk nyala api pada pengujian ketiga adalah 58,67. Pada menit ke-18, Briket B3 mengalami pengurangan massa sebesar 36,45 gram sehingga tersisa massa sebesar 24,09 gram.

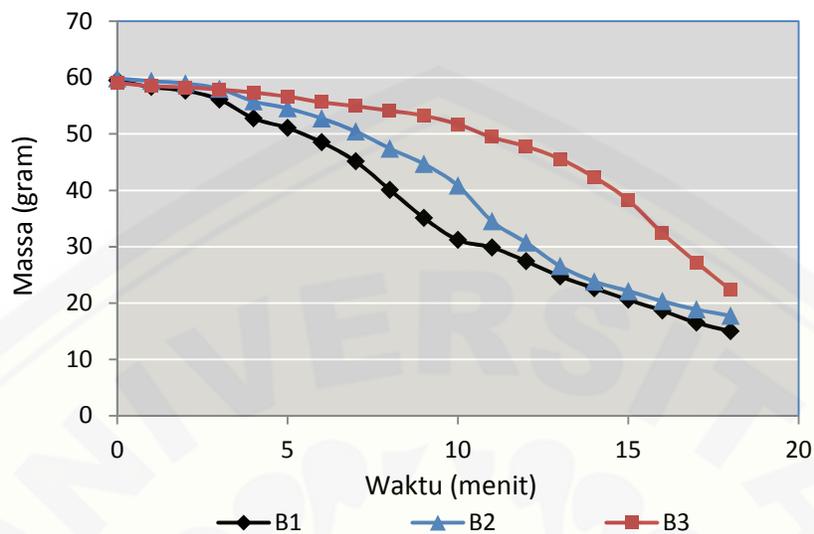
4.3.2 Analisis Pengaruh Dimensi Terhadap Laju Pengurangan Massa Briket

Pemaparan pada Subsubbab 4.3.1 menunjukkan bahwa masing-masing variasi dimensi briket memiliki pola penurunan yang berbeda pada grafik laju pengurangan massanya. Hal tersebut menunjukkan bahwa dimensi briket berpengaruh pada laju pengurangan massa. Dari hasil pengujian yang dilakukan dengan tiga kali pengulangan pada masing-masing variasi dimensi briket diperoleh nilai rata-rata laju pengurangan massa selama 18 menit waktu pembakaran yang disajikan pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Laju pengurangan massa rata-rata pada variasi dimensi briket

Waktu (menit)	Massa (gram)		
	B1	B2	B3
1	59,47	59,87	59,07
2	58,32	59,40	58,51
3	57,68	58,96	58,25
4	56,09	58,01	57,86
5	52,76	55,78	57,34
6	51,06	54,55	56,62
7	48,51	52,76	55,61
8	45,11	50,45	54,95
9	40,08	47,42	54,13
10	35,12	44,68	53,26
11	31,18	40,83	51,70
12	29,86	34,51	49,41
13	27,41	30,73	47,79
14	24,73	26,56	45,55
15	22,64	23,81	42,33
16	20,56	22,13	38,25
17	18,64	20,33	32,39
18	16,50	18,86	27,21

Dari nilai rata-rata laju pengurangan massa diperoleh grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik laju pengurangan massa pada variasi dimensi briket

Berdasarkan Gambar 4.11, pengurangan massa rata-rata yang terjadi pada Briket B1 dimulai paling cepat sementara Briket B3 paling lambat dan Briket B2 terletak diantara keduanya. Dalam 5 menit waktu pembakaran, pengurangan massa pada Briket B1 sudah mencapai 8,41 gram, pada Briket B2 hanya mencapai 5,32 gram, dan Briket B3 baru mencapai 2,45 gram.

Berkurangnya massa adalah akibat dari reaksi pembakaran. Besarnya pengurangan massa menunjukkan kecepatan reaksi pembakaran pada briket. Pada 6 menit waktu pembakaran awal (menit ke-0 hingga menit ke-6), pengurangan massa yang terjadi pada Briket B1 adalah yang paling besar dengan nilai 10,96 gram dibandingkan Briket B2 yang pengurangan massanya sebesar 7,11 gram dan Briket B3 dengan pengurangan 3,46 gram. Pada 6 menit waktu pembakaran selanjutnya (menit ke-6 hingga menit ke-12), pengurangan massa paling besar dialami Briket B2 dengan besar 22,03 gram, sementara pengurangan massa pada Briket B1 sebesar 21,11 dan Briket B3 hanya sebesar 7,82 gram. Pada 6 menit terakhir dari 18 menit waktu pembakaran, Briket B3 mengalami pengurangan massa yang paling besar dengan nilai 25,45 gram dibandingkan Briket B1 yang besar pengurangan massanya 12,43 gram dan Briket B2 sebesar 12,99 gram.

Variasi dimensi briket mengakibatkan perbedaan pada fraksi volume dan luas permukaan yang dimiliki. Sebanding dengan kenaikan temperatur yang dihasilkan, Briket B1 memulai kenaikan temperatur ruang bakar yang paling besar pada awal pembakaran dan pengurangan massa juga terjadi paling besar pada awal. Hal tersebut merupakan pengaruh kecepatan ignisi pada fraksi volume dan pemanfaatan kalor hasil reaksi eksotermik pada tahap awal pembakaran. Semakin besar ketersediaan luas permukaan, maka semakin besar kalor hasil reaksi eksotermik yang dapat diterima guna reaksi pembakaran awal. Kelompok Briket B1 yang memiliki fraksi volume paling kecil dapat memanfaatkan energi aktivasi lebih efisien sehingga briket pemicu lebih cepat dalam pembakarannya sehingga kenaikan temperatur juga besar. Briket pemicu pada pengujian Briket B1 yang merupakan fraksi volume paling kecil memiliki jarak permukaan dengan bagian tengah briket yang kecil. Jarak yang kecil tersebut mengakibatkan energi aktivasi yang diberikan dapat menjangkau bagian tengah briket lebih cepat sehingga tidak membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menguapkan bagian tengah briket. Pendeknya proses penguapan dan devolatilisasi mengakibatkan ignisi briket pemicu terjadi lebih cepat. Kemudian total luas permukaan yang paling besar pada Briket B1 menyebabkan fraksi volume yang lain dalam pengujian dapat memanfaatkan kalor hasil reaksi eksotermik pada tahap awal pembakaran paling baik sehingga berkurangnya massa akibat pengeringan dan devolatilisasi pada tahap awal terjadi paling cepat.

Sebaliknya, kelompok Briket B3 yang memiliki fraksi volume paling besar mengakibatkan kecilnya kenaikan temperatur akibat pembakaran briket pemicu yang membutuhkan waktu lebih lama. Total luas permukaan paling kecil menyebabkan pemanfaatan kalor hasil reaksi eksotermik pada tahap awal juga paling kecil sehingga pengurangan massa akibat pengeringan dan devolatilisasi pada tahap awal terjadi dengan membutuhkan waktu yang lebih lama. Pada 6 menit akhir, pengurangan massa Briket B3 paling besar karena dalam masa puncak pembakarannya, sedangkan Briket B1 dan Briket B2 telah memasuki tahap akhir pembakaran.

Besarnya pengurangan massa pada Briket B3 yang ditunjukkan pada grafik meningkat secara signifikan sebanding dengan kenaikan temperatur yang meningkat secara cepat pada suatu waktu. Pada saat kalor yang diterima telah mampu membakar permukaan briket, kalor dari pembakaran pada permukaan dipindahkan secara konduksi ke bagian dalam briket. Semakin besar dimensi maka semakin besar luas permukaan sehingga perpindahan kalor secara konduksi dari permukaan ke dalam briket semakin besar. Besarnya perpindahan kalor mempengaruhi kecepatan reaksi pembakaran.

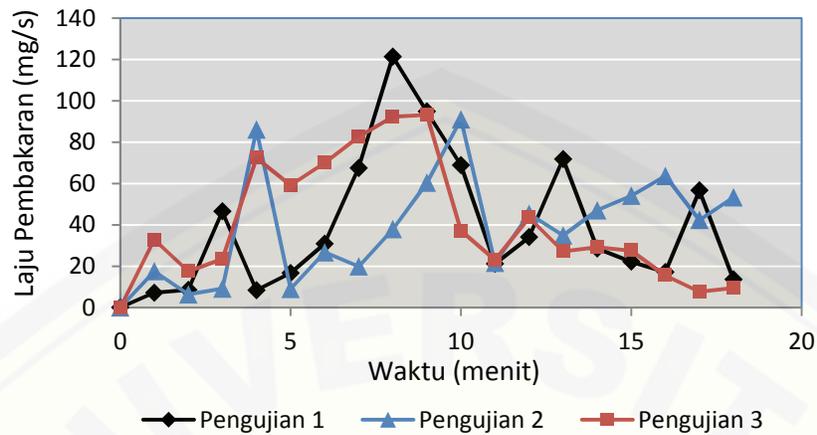
Sebanding dengan kenaikan temperatur yang dihasilkan, Briket B1 memulai kenaikan temperatur ruang bakar yang paling besar dengan waktu pembakaran yang lebih cepat dan pengurangan massa yang besar pada juga terjadi paling awal. Laju pengurangan massa yang terjadi sesuai dengan pernyataan Saputro (2009) yang menyebutkan bahwa pengurangan massa pada pembakaran briket berbanding lurus dengan temperatur dimana semakin tinggi temperatur yang dicapai maka semakin cepat pula pengurangan massa pembakaran. Hal tersebut terbukti dari massa yang turun secara signifikan pada rentang waktu tercapainya puncak kenaikan temperatur.

4.4 Laju Pembakaran Briket

Laju pembakaran diperoleh dari besarnya pengurangan massa dalam selang waktu tertentu. Nilai laju pembakaran briket pada penelitian ini diperoleh dari pengurangan massa pada setiap menit dan dinyatakan dalam mg/s. Pengamatan dimulai dari terbentuknya nyala api pada briket pemicu dan dinyatakan sebagai menit ke-0.

4.4.1 Hasil Pengujian Laju Pembakaran Briket

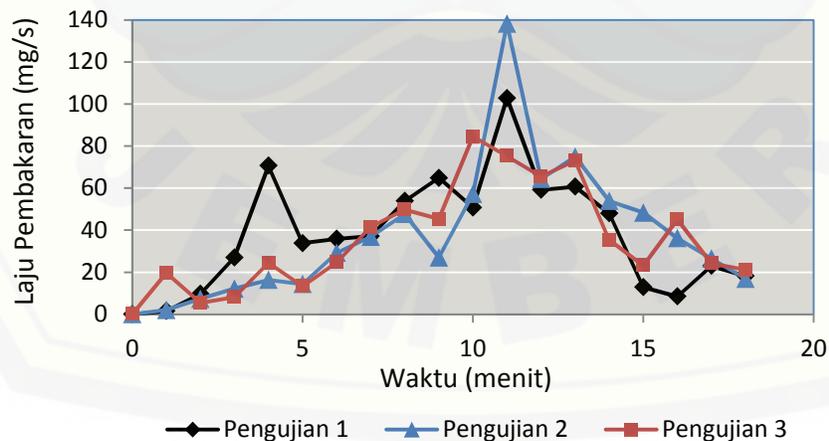
Pengamatan laju pembakaran briket dilakukan setiap menit selama pengujian. Pengujian yang dilakukan untuk mengamati laju pembakaran dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan pada setiap variasi dimensi briket. Data hasil pengamatan Briket B1 disajikan pada Lampiran A.10 dan diperoleh grafik yang disajikan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik laju pembakaran pada pengujian Briket B1

Gambar 4.12 menunjukkan laju pembakaran tertinggi Briket B1 pada pengujian pertama terjadi pada menit ke-8 dengan laju pembakaran sebesar 121 mg/s. Pada pengujian kedua, laju pembakaran tertinggi terjadi pada menit ke-10 dengan laju pembakaran sebesar 91 mg/s. Laju pembakaran tertinggi pada pengujian ketiga adalah 93 mg/s yang terjadi pada menit ke-9.

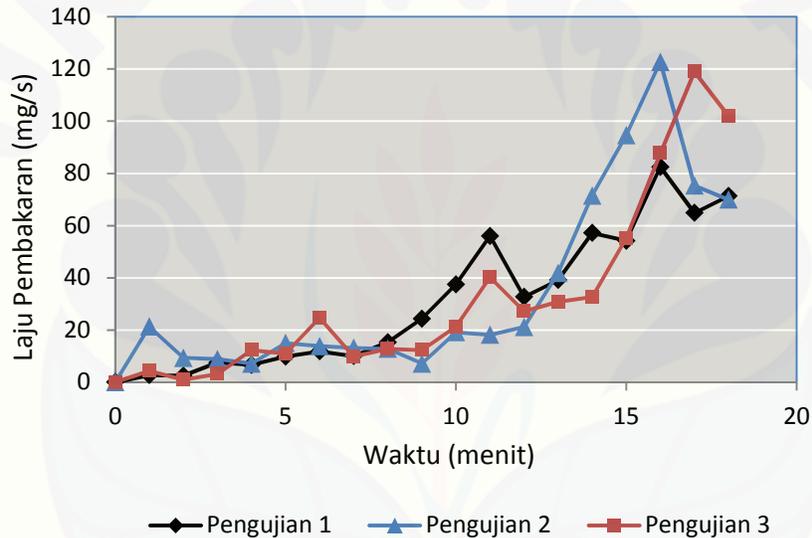
Data hasil tiga kali pengulangan pada pengujian Briket B2 disajikan pada Lampiran A.11. Dari data pengujian Briket B2 diperoleh grafik laju pembakaran pada gambar 4.13 berikut.



Gambar 4.13 Grafik laju pembakaran pada pengujian Briket B2

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa laju pembakaran tertinggi Briket B2 pada pengujian pertama dan kedua terjadi pada menit ke-11. Laju pembakaran tertinggi pada pengujian pertama sebesar 103 mg/s dan pada pengujian kedua sebesar 138 mg/s. Laju pembakaran tertinggi pada pengujian ketiga adalah 85 mg/s dan terjadi pada menit ke-10.

Pada pengujian Briket B3, data hasil pengujian sebanyak tiga kali pengulangan disajikan pada Lampiran A.12. Dari data pengujian Briket B3 diperoleh grafik laju pembakaran pada gambar 4.14 berikut.



Gambar 4.14 Grafik laju pembakaran pada pengujian Briket B3

Pada pengujian pertama Briket B3, laju pembakaran tertinggi adalah 82 mg/s pada menit ke-11. Pada pengujian kedua Briket B3, laju pembakaran tertinggi juga terjadi pada menit ke-11 dengan laju pembakaran sebesar 123 mg/s. Pada pengujian ketiga, laju pembakaran tertinggi terjadi pada menit ke-17 dengan besar 119 mg/s.

4.4.2 Analisis Variasi Dimensi Terhadap Laju Pembakaran Briket

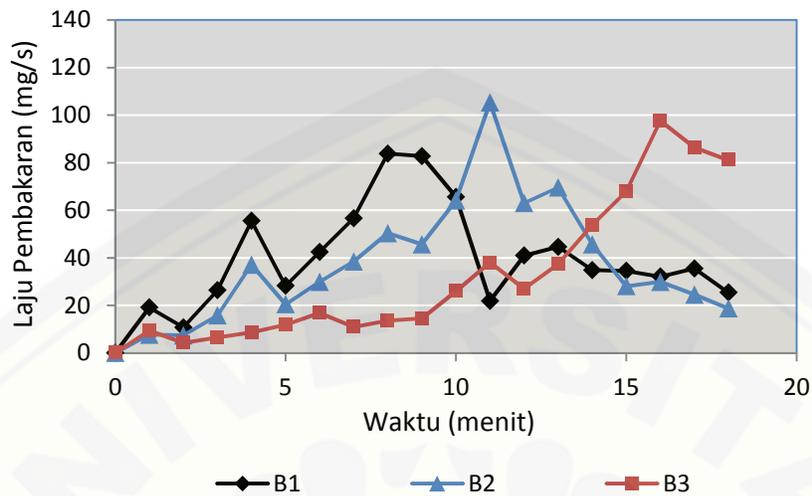
Fluktuasi laju pembakaran yang dihasilkan dari pengamatan dan telah dipaparkan pada Subsubab 4.4.1 memiliki nilai yang berbeda-beda namun tetap

memiliki pola yang mendekati keseragaman pada masing-masing variasi dimensi briket. Variasi dimensi briket dalam penelitian ini menunjukkan bahwa dimensi memberi pengaruh pada laju pembakaran briket. Pengambilan nilai rata-rata dari tiga kali pengulangan pada pengujian masing-masing variasi dimensi dilakukan guna mempermudah analisa. Nilai rata-rata laju pembakaran selama 18 menit waktu pembakaran dari tiga kali pengulangan pada masing-masing variasi dimensi briket disajikan pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Laju pembakaran rata-rata pada variasi dimensi briket

Waktu (menit)	Laju Pembakaran (mg/s)		
	B1	B2	B3
1	19	8	9
2	11	7	4
3	26	16	7
4	56	37	9
5	28	21	12
6	43	30	17
7	57	39	11
8	84	50	14
9	83	46	15
10	66	64	26
11	22	105	38
12	41	63	27
13	45	70	37
14	35	46	54
15	35	28	68
16	32	30	98
17	36	25	86
18	25	19	81

Dari nilai rata-rata laju pembakaran yang disajikan pada Tabel 4.4 diatas, diperoleh grafik fluktuasi laju pembakaran yang dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Grafik pembakaran pada variasi dimensi briket

Berdasarkan pada Gambar 4.15, nilai rata-rata dari tiga kali pengulangan terhadap pengujian laju pembakaran pada Briket B1 mencapai laju pembakaran tertinggi dalam waktu pembakaran yang paling singkat kemudian diikuti oleh Briket B2 dan Briket B3. Laju pembakaran tertinggi pada Briket B1 terjadi pada menit ke-8 waktu pembakaran dengan besar 84 mg/s. Laju pembakaran pada Briket B2 terjadi pada menit ke-11 waktu pembakaran dengan besar 105 mg/s. Waktu paling lama yang dibutuhkan dalam pencapaian laju pembakaran tertinggi terjadi pada Briket B3. Laju pembakaran tertinggi pada Briket B3 baru dicapai pada menit ke-16 waktu pembakaran dengan nilai sebesar 98 mg/s.

Laju pembakaran memiliki keterkaitan erat dengan laju pengurangan massa dan kenaikan temperatur. Pada 6 menit pertama waktu pembakaran, Briket B1 mengalami pengurangan massa yang paling besar dibanding Briket B2 dan Briket B3. Pengurangan massa Briket B1 pada 6 menit pertama sebesar 10,96 gram. Seperti grafik pada Gambar 4.15, laju pembakaran Briket B1 pada 6 menit awal waktu pembakaran adalah yang paling besar dibanding Briket B2 dan Briket B3 sehingga menyebabkan pengurangan massa Briket B1 juga paling besar pada 6 menit awal waktu pembakaran. Begitu pula yang terjadi pada Briket B2 dan Briket B3 yang

mana besarnya pengurangan massa yang terjadi menandakan besarnya laju pembakaran yang terjadi pada waktu tersebut.

Keterkaitan antara laju pembakaran dengan temperatur sering disebutkan pada penelitian-penelitian terdahulu. Subroto (2006) menyatakan bahwa kenaikan temperatur udara pembakaran menyebabkan semakin pendeknya waktu pembakaran. Waktu pembakaran dikatakan semakin pendek karena laju pembakaran yang terjadi semakin cepat. Sesuai dengan pernyataan tersebut, laju pembakaran dan temperatur dalam penelitian ini adalah berbanding lurus. Pada penelitian mengenai variasi dimensi terhadap karakteristik pembakaran briket dengan *lignin self-bounding effect* ini, semakin cepat kenaikan temperatur menunjukkan semakin cepatnya laju pembakaran yang terjadi.

Keterkaitan antara temperatur udara pada ruang bakar dengan laju pembakaran dapat dilihat pada masing-masing variasi dimensi briket. Pada 6 menit awal waktu pembakaran, Briket B1 mengalami kenaikan temperatur dan laju pembakaran paling tinggi dibanding Briket B2 dan Briket B3. Kenaikan temperatur rata-rata yang dicapai Briket B1 sebesar $20,6^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dengan laju pembakaran rata-rata sebesar $30,44 \text{ mg/s}$ sementara Briket B2 hanya $8,1^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dengan laju pembakaran rata-rata $19,75 \text{ mg/s}$ dan Briket B3 hanya $4,6^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dengan laju pembakaran rata-rata $9,61 \text{ mg/s}$. Pada 6 menit terakhir, nilai pada Briket B3 adalah yang paling tinggi dengan kenaikan temperatur rata-rata $225,8^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dan laju pembakaran rata-rata sebesar $70,69 \text{ mg/s}$ sementara kenaikan temperatur rata-rata pada Briket B1 hanya mencapai $136^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dengan laju pembakaran rata-rata $34,53 \text{ mg/s}$ dan Briket B2 hanya $195,2^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dengan laju pembakaran rata-rata $36,09 \text{ mg/s}$. Berdasar hal tersebut dapat dinyatakan bahwa laju pembakaran yang terjadi berbanding lurus dengan kenaikan temperatur udara pembakaran. Pada kenaikan temperatur yang besar terjadi laju pembakaran yang besar. Dari analisa dapat disimpulkan bahwa laju pembakaran pada briket berbanding lurus dengan kenaikan temperatur dan pengurangan massa. Semakin besar laju pembakaran menunjukkan

bahwa semakin besar pula kenaikan temperatur dan pengurangan massanya. Dimensi briket memberikan pengaruh pada laju pembakaran yang memiliki keterkaitan dengan kenaikan temperatur dan pengurangan massa.

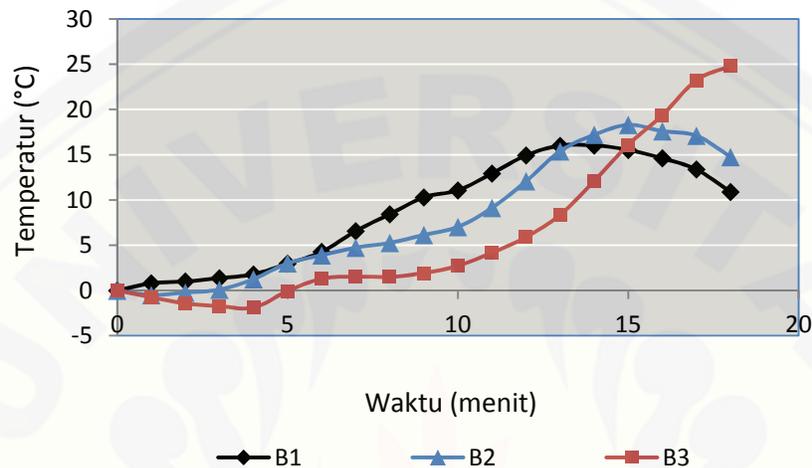
4.5 Pelepasan Kalor Briket

Dalam pengujian untuk mengamati pelepasan kalor briket digunakan metode *water boiling test*. Nilai pelepasan kalor oleh briket diperoleh dari besarnya kalor yang diterima oleh air. Dari tiga kali pengulangan dalam pengujian diperoleh nilai rata-rata perubahan temperatur pada air selama 18 menit waktu pembakaran yang disajikan dalam Tabel 4.5. Data selengkapnya disajikan pada Lampiran A.13-Lampiran A.15.

Tabel 4.5 Perubahan temperatur air rata-rata pada variasi dimensi briket

Waktu (menit)	Temperatur (°C)		
	B1	B2	B3
0	24,6	27,1	28,4
1	25,4	26,8	27,6
2	25,6	27,1	26,9
3	26,0	27,4	26,6
4	26,4	28,6	26,5
5	27,6	30,3	28,3
6	28,9	31,2	29,7
7	31,2	32,1	29,9
8	33,1	32,6	29,9
9	34,9	33,5	30,3
10	35,7	34,4	31,1
11	37,6	36,5	32,5
12	39,6	39,4	34,3
13	40,6	42,7	36,7
14	40,7	44,5	40,5
15	40,2	45,6	44,5
16	39,2	44,9	47,7
17	38,0	44,4	51,6
18	35,5	42,1	53,2

Berdasarkan nilai rata-rata perubahan temperatur yang diambil dari tiga kali pengujian pada masing-masing variasi dimensi briket, diperoleh perbandingan kenaikan temperatur yang ditunjukkan pada Gambar 4.16 berikut.



Gambar 4.16 Grafik kenaikan temperatur air pada variasi dimensi briket

Laju kenaikan temperatur air pada pengujian dipengaruhi besarnya kalor yang dilepaskan briket dari hasil pembakaran. Jika dibandingkan dengan kenaikan temperatur ruang bakar, fluktuasi yang terjadi pada kenaikan temperatur air pada saat *water boiling test* memiliki pola yang hampir sama. Briket B1 memulai kenaikan dan mencapai puncak temperatur lebih cepat dibandingkan Briket B2 dan Briket B3. Sebaliknya, Briket B3 memulai kenaikan temperatur air dan mencapai puncak temperatur yang paling tinggi paling lama. Kenaikan temperatur pada air saat pengujian memiliki nilai yang jauh lebih kecil dibandingkan kenaikan temperatur ruang bakar. Salah satu faktor yang mempengaruhi kecilnya kenaikan temperatur pada air adalah terjadinya *natural/free convection* yang dialami air saat pengujian.

Pengujian yang dilakukan dengan *water boiling pot* tanpa penutup menyebabkan kontak langsung antara air dengan udara ambien. Kontak antara air dan udara ambien tersebut menyebabkan terjadinya konveksi alami. Konveksi alami tersebut menyebabkan air kehilangan panas sehingga kenaikan temperatur air saat

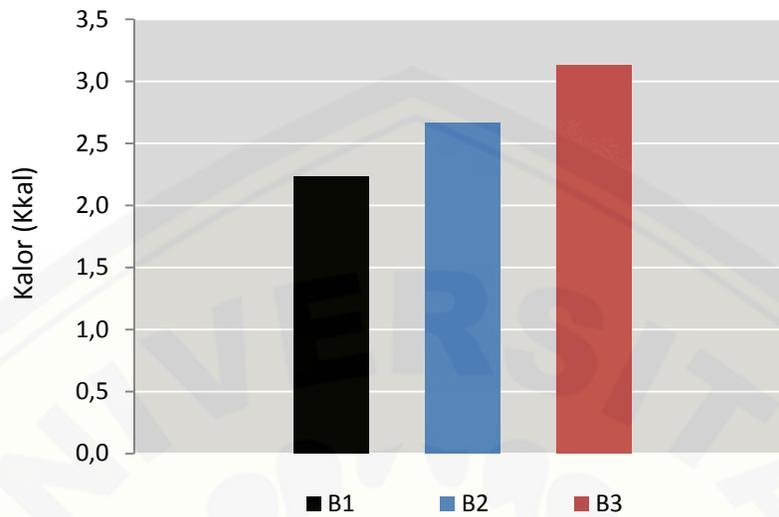
pengujian bernilai rendah. Saat kalor mengalami *free convection* dari air ke udara lebih besar daripada kalor yang diberikan briket ke air, maka akan terjadi pendinginan. Fenomena ini dapat dilihat pada garis grafik setelah temperatur puncak tercapai dimana garis grafik bergerak menurun. Pendinginan juga terjadi pada awal pembakaran Briket B2 dan Briket B3. Garis grafik yang bergerak naik menunjukkan fenomena sebaliknya. Saat garis grafik naik berarti kalor yang diterima air dari briket lebih besar daripada kalor *free convection* dari air ke udara ambien. Kalor yang terkonveksi ini merupakan energi yang dihasilkan dari reaksi pembakaran briket. Oleh sebab itu perlu dilakukan perhitungan pada *free convection* yang dialami air guna mengetahui jumlah kalor yang dilepaskan briket. Hasil perhitungan kalor *free convection* disajikan pada Lampiran A.16 – Lampiran A.18.

Dari perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui besarnya kalor sensibel air, kalor laten air, kalor sensibel *water boiling pot*, dan kalor *free convection* dari air ke udara ambien diperoleh hasil yang disajikan pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Kalor hasil perhitungan pada variasi dimensi briket

Spesifikasi Kalor	Besar (kkal)		
	B1	B2	B3
$Q_{sensibel\ air}$	0,966	1,11	1,488
$Q_{laten\ air}$	0	0	0
$Q_{sensibel\ WBT}$	0,492	0,563	0,763
Q_{conv}	0,777	0,993	0,883

Dari Tabel 4.6 dinyatakan bahwa kalor laten air bernilai nol pada masing-masing variasi dimensi briket. Hal tersebut dikarenakan tidak ada air yang menguap selama pembakaran. Temperatur yang dicapai air saat *water boiling test* tidak mencapai titik didih air. Total kalor yang dilepaskan pada masing-masing variasi dimensi briket selama 18 menit waktu pembakaran ditunjukkan diagram pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Diagram jumlah kalor dilepaskan pada variasi dimensi briket

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa akumulasi dari kalor sensibel air, kalor sensibel *water boiling pot*, kalor laten air dan kalor *free convection* selama pembakaran Briket B3 memiliki nilai yang paling tinggi dengan besar 3,13 Kkal dibandingkan dengan Briket B1 yang hanya 2,24 Kkal dan Briket B2 yang besarnya 2,67 Kkal. Hal tersebut menunjukkan pelepasan kalor selama 18 menit waktu pembakaran terjadi lebih baik pada Briket B3.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari hasil dan analisa pada penelitian mengenai variasi dimensi briket ampas tebu dengan *lignin-self bounding effect* terhadap karakteristik pembakaran adalah:

1. Dimensi memberi pengaruh pada kenaikan temperatur pembakaran. Semakin kecil dimensi briket, semakin cepat dalam memulai kenaikan temperatur dan mencapai titik puncak kenaikan temperaturnya serta waktu pembakaran yang semakin singkat. Briket B1 mencapai titik puncak sebesar 230,8°C pada menit ke-11, Briket B2 sebesar 303,4°C pada menit ke-13, dan Briket B3 sebesar 361,3°C pada menit ke-16.
2. Dimensi memberi pengaruh pada laju pengurangan massa. Semakin kecil dimensi briket, maka briket semakin cepat dalam memulai pengurangan massanya. Pada 6 menit awal pada waktu pembakaran, Briket B1 mengalami pengurangan massa paling tinggi dengan nilai 10,96 gram, sementara Briket B2 sebesar 7,11 gram dan Briket B3 sebesar 3,46 gram.
3. Dimensi memberi pengaruh pada laju pembakaran. Semakin kecil dimensi briket, semakin cepat nilai laju pembakaran tertingginya tercapai. Laju pembakaran pada berbanding lurus dengan kenaikan temperatur dan pengurangan massa. Laju pembakaran tertinggi pada Briket B1 sebesar 84 mg/s pada menit ke-8, Briket B2 sebesar 105 mg/s pada menit ke-11, Briket B3 sebesar 98 mg/s dan baru dicapai pada menit ke-16.
4. Dimensi memberi pengaruh pada pelepasan kalor. Semakin besar dimensi yang dimiliki briket, kalor yang dilepaskan briket semakin efisien untuk dimanfaatkan dalam pemasakan. Kalor yang dilepaskan Briket B3 guna pemanasan air memiliki nilai yang paling tinggi dengan besar 3,13 Kkal dibandingkan dengan Briket B1 yang hanya 2,24 Kkal dan Briket B2 yang besarnya 2,67 Kkal.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, antara lain:

1. Diperlukan pengujian nilai kalor yang dimiliki bahan bakar guna mendapatkan nilai efisiensi pembakaran.
2. Untuk penelitian selanjutnya, dalam pengujian yang dilakukan dengan *burner prototype* sebaiknya jumlah atau massa bahan bakar ditingkatkan serelevan mungkin dengan kapasitas ruang bakar.
3. Dalam pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh yang diberikan dimensi bahan bakar, perlu dilakukan penataan bahan bakar agar diperoleh hasil yang lebih spesifik. Hal tersebut berpengaruh pada *boundary layer* sehingga mempengaruhi perpindahan panas yang terjadi.
4. Diperlukan investigasi lebih lanjut mengenai perbandingan briket ampas tebu dengan *lignin self-bounding effect* terhadap jenis briket ampas tebu yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2013. *Outlook Energi Indonesia 2013*. Jakarta: Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi.
- Badan Pusat Statistik. 2012. *Statistik Tebu Indonesia 2012*. http://www.bps.go.id/hasil_publicasi/stat_tebu_2012/index3.php?pub=Statistik%20Tebu%20Indonesia%202012 [2012].
- Chaney, J. 2010. *Combustion Characteristic of Biomass Briquettes*. Nottingham: University of Nottingham.
- Grover, P.D. & Mishra, S.K. 1996. *Biomass Briquetting: Technology and Practices*. Bangkok: the FAO Regional Wood Energy Development Programme in Asia.
- Gupta, G.K. 2009. *Development of Bark-Based Environmental-Friendly Composite Panels* [Thesis]. Toronto: Faculty of Forestry, University of Toronto.
- Himawanto, D.A. 2005. *Pengaruh Temperatur Karbonasi Terhadap Karakteristik Pembakaran Briket Sampah Kota*. Surakarta: Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Sebelas Maret Surakarta.
- Indriani, Y.H., Sumiarsih, E. 1992. *Pembudidayaan Tebu di Lahan Sawah dan Tegalan*. 110-102. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Lubis, M. 2010. *Pemanfaatan Ampas Tebu Dalam Pembuatan Batako Ringan Yang Direncanakan Sebagai Konstruksi Dinding Kedap Suara* [Tesis]. Medan: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatra Utara.
- Mulyadi, A.F., Dewi I.A., & Deoranto, P. 2013. *Pemanfaatan Kulit Buah Nipah untuk Pembuatan Briket Bioarang Sebagai Sumber Energi Alternatif*. *Jurnal Teknologi Pertanian*. Vol.14. No.1: 65-72.
- Nugraha, J.R. 2013. *Karakteristik Termal Briket Arang Ampas Tebu dengan Variasi Bahan Perikat Lumpur Lapindo* [Skripsi]. Jember: Fakultas Teknik, Universitas Jember.

- Nugrahaeni, I.N. 2008. *Pemanfaatan Limbah Tembakau (Nicotiana Tabacum L.) untuk Bahan Pembuatan Briket Sebagai Bahan Bakar Alternatif* [Skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Patabang, D. 2012. *Karakteristik Termal Briket Arang Sekam Padi dengan Variasi Bahan Perekat*. Jurnal Mekanikal. Vol.3.No.2: 286-292.
- Rahayu, A. 2012. *Kinerja Pembakaran Biobriket yang Terbuat Dari Campuran Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Batubara Sub-Bituminus Dalam Kompor Briket* [Skripsi]. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Ramadani, G. 2012. *Kinerja Pembakaran Biobriket yang Terbuat dari Biomassa Baggase Tebu dan Batubara Subbtiminous Dalam Kompor Briket*. [Skripsi]. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Saputro, D.D. 2009. *Karakteristik Pembakaran Briket Arang Tongkol Jagung*. Jurnal Kompetensi Teknik. Vol.1.No.1
- Septoadi, H. 2008. *The Best Biobriquette Dimension and its Particle Size*. Asian J. Energy Environ. Vol. 9. Issue 3 & 4: 161-175.
- Subroto. 2006. *Karakteristik Pembakaran Biobriket Campuran Batubara, Ampas Tebu, dan Jerami*. Media Mesin. Vol 7.No 2. Hal 47-54.
- Sucipto, T. 2009. *Perekat Lignin*. Medan: Fakultas Pertanian, Universitas Sumatra
- Triono, A. 2006. *Karakteristik Briket Arang dari Campuran Serbuk Gergajian Kayu Afrika (Maesopsis eminii Engl) dan Kayu Sengon (Paraserienthes falcataria L. Nielsen) dengan Penambahan Tempurung Kelapa (Cocos nucifera L)* [Skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Widarti, E.S. *Studi Eksperimental Karakteristik Briket Organik Dengan Bahan Baku PPLH Seloliman*. Surabaya: Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Widyorini, Xu, Watanabe, dan Kawai. 2005. *Manufacture and Properties of Binderless Particleboard from Bagasse I: Effects of Raw Material Type, Storage Methods, and Manufacturing Process*. J. Wood Sci., 51:26-32.

- Widyorini, R & Rofii, M.N. 2011. *Pemanfaatan Limbah Kayu Jati Sebagai Bahan Baku Papan Partikel Non Perekat*. Prosiding Seminar Nasional MAPEKI XIV: 249-256.
- Winoto, A.H.I. 2013. *Analisis Nilai Kalor Briket Campuran Bottom Ash dan Tempurung Kelapa dengan Variasi Komposisi Campuran dan Tekanan* [Skripsi]. Jember: Fakultas Teknik, Universitas Jember.
- Witono, J.A. 2003. *Produksi Furfural dan Turunannya: Alternatif Peningkatan Nilai Ampas Tebu Indonesia*. http://www.chem-is-try.org/artikel_kimia/teknologi_tepat_guna/produksi_furfural_dan_turunannya_alternatif_peningkatan_nilai_tambah_ampas_tebu_indonesia/. [3 Maret 2005].

LAMPIRAN A. TABEL DATA

Lampiran A.1 Data Perubahan Temperatur Ruang Bakar Briket B1

Waktu (menit)	Temperatur (°C)			
	Pengujian ke-1	Pengujian ke-2	Pengujian ke-3	T _{rata-rata}
0	24,7	26,1	27,2	26,0
1	26,7	26,3	36,2	29,7
2	25,3	26,9	38,0	30,1
3	25,6	29,0	39,1	31,2
4	28,8	41,7	46,9	39,1
5	44,3	71,5	66,5	60,8
6	69,7	98,4	98,6	88,9
7	100,9	150,3	124,3	125,2
8	181,4	196,5	166,9	181,6
9	236,7	214,3	226,1	225,7
10	261,7	224,6	238,7	241,7
11	279,1	258,0	218,2	251,8
12	254,6	243,9	182,0	226,8
13	247,8	231,6	165,9	215,1
14	238,1	196,7	158,0	197,6
15	208,1	173,3	131,1	170,8
16	166,3	144,4	124,3	145,0
17	130,4	123,6	120,4	124,8
18	113,8	98,7	113,4	108,6

Lampiran A.2 Data Perubahan Temperatur Ruang Bakar Briket B2

Waktu (menit)	Temperatur (°C)			
	Pengujian ke-1	Pengujian ke-2	Pengujian ke-3	T _{rata-rata}
0	30,3	35,7	36,3	34,1
1	31,6	31,6	29,4	30,9
2	33,8	34,2	28,7	32,2
3	35,3	38,2	28,0	33,8
4	44,7	42,7	27,7	38,4
5	64,1	51,8	34,0	50,0
6	79,1	64,5	60,2	67,9
7	115,7	100,8	103,3	106,6
8	147,3	136,6	122,0	135,3
9	179,1	157,6	133,4	156,7
10	198,9	185,1	182,1	188,7
11	244,3	205,1	221,7	223,7
12	272,5	246,5	280,5	266,5
13	308,5	285,7	316,0	303,4
14	261,6	303,3	300,0	288,3
15	238,7	278,4	245,7	254,3
16	183,1	242,6	225,5	217,1
17	158,2	175,6	187,0	173,6
18	129,8	141,3	147,1	139,4

Lampiran A.3 Data Perubahan Temperatur Ruang Bakar Briket B3

Waktu (menit)	Temperatur (°C)			
	Pengujian ke-1	Pengujian ke-2	Pengujian ke-3	T _{rata-rata}
0	37,6	40,4	37,0	38,3
1	31,5	38,7	33,7	34,6
2	29,6	38,3	34,9	34,3
3	32,7	49,5	37,2	39,8
4	39,8	53,9	42,6	45,4
5	47,1	50,2	55,4	50,9
6	64,4	48,7	44,0	52,4
7	68,2	39,1	48,5	51,9
8	69,7	38,6	49,7	52,7
9	76,7	38,8	53,9	56,5
10	102,7	39,7	63,4	68,6
11	203,6	52,1	71,7	109,1
12	233,7	64,1	92,6	130,1
13	307,0	119,6	132,6	186,4
14	337,5	234,6	179,1	250,4
15	347,4	324,4	219,0	296,9
16	367,3	386,5	330,1	361,3
17	348,1	337,0	333,6	339,6
18	366,1	318,5	306,2	330,3
19	250,7	255,8	332,4	279,6
20	177,7	245,4	337,1	253,4
21	159,1		330,9	
22	136,7		312,3	
23			242,2	

Lampiran A.4 Data Laju Kenaikan Temperatur Briket B1

Waktu (menit)	Temperatur (°C)								
	Pengujian ke-1			Pengujian ke-2			Pengujian ke-3		
	T ₁	T ₂	T	T ₁	T ₂	T	T ₁	T ₂	T
1	24,7	26,7	2,0	26,1	26,3	0,2	27,2	36,2	9,0
2	24,7	25,3	0,6	26,1	26,9	0,8	27,2	38,0	10,8
3	24,7	25,6	0,9	26,1	29,0	2,9	27,2	39,1	11,9
4	24,7	28,8	4,1	26,1	41,7	15,6	27,2	46,9	19,7
5	24,7	44,3	19,6	26,1	71,5	45,4	27,2	66,5	39,3
6	24,7	69,7	45,0	26,1	98,4	72,3	27,2	98,6	71,4
7	24,7	100,9	76,2	26,1	165,3	139,2	27,2	124,3	97,1
8	24,7	181,4	156,7	26,1	211,5	185,4	27,2	166,9	139,7
9	24,7	236,7	212,0	26,1	229,3	203,2	27,2	226,1	198,9
10	24,7	261,7	237,0	26,1	239,6	213,5	27,2	238,7	211,5
11	24,7	279,1	254,4	26,1	273,0	246,9	27,2	218,2	191,0
12	24,7	254,6	229,9	26,1	258,9	232,8	27,2	182,0	154,8
13	24,7	247,8	223,1	26,1	246,6	220,5	27,2	165,9	138,7
14	24,7	238,1	213,4	26,1	211,7	185,6	27,2	158,0	130,8
15	24,7	208,1	183,4	26,1	173,3	147,2	27,2	131,1	103,9
16	24,7	166,3	141,6	26,1	144,4	118,3	27,2	124,3	97,11
17	24,7	130,4	105,7	26,1	123,6	97,5	27,2	120,4	93,2
18	24,7	113,8	89,1	26,1	98,7	72,6	27,2	113,4	86,2

Lampiran A.5 Data Laju Kenaikan Temperatur Briket B2

Waktu (menit)	Temperatur (°C)								
	Pengujian ke-1			Pengujian ke-2			Pengujian ke-3		
	T ₁	T ₂	T	T ₁	T ₂	T	T ₁	T ₂	T
1	30,3	31,6	1,3	35,7	31,6	-4,1	36,3	29,4	-6,9
2	30,3	33,8	3,5	35,7	34,2	-1,5	36,3	28,7	-7,6
3	30,3	35,3	5,0	35,7	38,2	2,5	36,3	28,0	-8,3
4	30,3	44,7	14,4	35,7	42,7	7,0	36,3	27,7	-8,6
5	30,3	64,1	33,8	35,7	51,8	16,1	36,3	34,0	-2,3
6	30,3	79,1	48,8	35,7	64,5	28,75	36,3	60,2	23,9
7	30,3	115,7	85,4	35,7	100,8	65,1	36,3	103,3	67,0
8	30,3	147,3	117,0	35,7	136,6	100,9	36,3	122,0	85,7
9	30,3	179,1	148,8	35,7	157,6	121,9	36,3	133,4	97,1
10	30,3	198,9	168,6	35,7	185,1	149,4	36,3	182,1	145,8
11	30,3	244,3	214,0	35,7	205,1	169,4	36,3	221,7	185,4
12	30,3	272,5	242,2	35,7	246,5	210,8	36,3	280,5	244,2
13	30,3	308,5	278,2	35,7	285,7	250,0	36,3	316,0	279,7
14	30,3	261,6	231,3	35,7	303,3	267,6	36,3	300,0	263,7
15	30,3	238,7	208,4	35,7	278,4	242,7	36,3	245,7	209,4
16	30,3	183,1	152,8	35,7	242,6	206,9	36,3	225,5	189,2
17	30,3	158,2	127,9	35,7	175,6	139,9	36,3	187,0	150,7
18	30,3	129,8	99,5	35,7	141,3	105,6	36,3	147,1	110,8

Lampiran A.6 Data Laju Kenaikan Temperatur Briket B3

Waktu (menit)	Temperatur (°C)								
	Pengujian ke-1			Pengujian ke-2			Pengujian ke-3		
	T ₁	T ₂	T	T ₁	T ₂	T	T ₁	T ₂	T
1	37,6	31,5	-6,1	40,4	38,7	-1,7	37,0	33,7	-3,3
2	37,6	29,6	-8,0	40,4	38,3	-2,1	37,0	34,9	-2,1
3	37,6	32,7	-4,9	40,4	49,5	9,1	37,0	37,2	0,2
4	37,6	39,8	2,2	40,4	53,9	13,5	37,0	42,6	5,6
5	37,6	47,1	9,5	40,4	50,2	9,8	37,0	55,4	18,4
6	37,6	64,4	26,8	40,4	48,7	8,3	37,0	44,0	7,0
7	37,6	68,2	30,6	40,4	39,1	-1,3	37,0	48,5	11,5
8	37,6	69,7	32,1	40,4	38,6	-1,8	37,0	49,7	12,7
9	37,6	76,7	39,1	40,4	38,8	-1,6	37,0	53,9	16,9
10	37,6	102,7	65,1	40,4	39,7	-0,7	37,0	63,4	26,4
11	37,6	203,6	166,0	40,4	52,1	11,7	37,0	71,7	34,7
12	37,6	233,7	196,1	40,4	64,1	23,7	37,0	92,6	55,6
13	37,6	307,0	269,4	40,4	119,6	79,2	37,0	132,6	95,6
14	37,6	337,5	299,9	40,4	234,6	194,2	37,0	179,1	142,1
15	37,6	347,4	309,8	40,4	324,4	284,0	37,0	219,0	182
16	37,6	367,3	329,7	40,4	386,5	346,1	37,0	330,1	293,1
17	37,6	348,1	310,5	40,4	337,0	296,6	37,0	333,6	296,6
18	37,6	366,1	328,5	40,4	318,5	278,1	37,0	306,2	269,2
19	37,6	250,7	213,1	40,4	255,8	215,4	37,0	332,4	295,4
20	37,6	177,7	140,1	40,4	245,4	205,0	37,0	337,1	300,1

Lampiran A.7 Data Perubahan Massa Briket B1

Waktu (menit)	Massa (gram)			
	Pengujian ke-1	Pengujian ke-2	Pengujian ke-3	$M_{rata-rata}$
0	59,33	58,96	60,13	59,47
1	58,90	57,91	58,16	58,32
2	58,39	57,53	57,11	57,68
3	55,60	56,98	55,70	56,09
4	55,10	51,82	51,36	52,76
5	54,10	51,28	47,81	51,06
6	52,25	49,68	43,61	48,51
7	48,20	48,49	38,65	45,11
8	40,92	46,22	33,11	40,08
9	35,23	42,60	27,52	35,12
10	31,10	37,14	25,29	31,18
11	29,83	35,85	23,91	29,86
12	27,79	33,13	21,30	27,41
13	23,48	31,04	19,67	24,73
14	21,77	28,22	17,92	22,64
15	20,44	24,98	16,27	20,56
16	19,41	21,16	15,34	18,64
17	16,01	18,62	14,88	16,50
18	15,20	15,42	14,31	14,98

Lampiran A.8 Data Perubahan Massa Briket B2

Waktu (menit)	Massa (gram)			
	Pengujian ke-1	Pengujian ke-2	Pengujian ke-3	$M_{rata-rata}$
0	59,85	59,79	59,96	59,87
1	59,76	59,67	58,78	59,40
2	59,18	59,23	58,46	58,96
3	57,56	58,50	57,97	58,01
4	53,32	57,52	56,50	55,78
5	51,29	56,66	55,70	54,55
6	49,14	54,91	54,22	52,76
7	46,91	52,70	51,73	50,45
8	43,68	49,84	48,75	47,42
9	39,79	48,22	46,03	44,68
10	36,75	44,79	40,96	40,83
11	30,58	36,50	36,45	34,51
12	27,03	32,64	32,52	30,73
13	23,39	28,14	28,14	26,56
14	20,51	24,91	26,02	23,81
15	19,74	22,01	24,63	22,13
16	19,23	19,84	21,93	20,33
17	17,85	18,25	20,48	18,86
18	16,76	17,24	19,21	17,74

Lampiran A.9 Data Perubahan Massa Briket B3

Waktu (menit)	Massa (gram)			
	Pengujian ke-1	Pengujian ke-2	Pengujian ke-3	M _{rata-rata}
0	59,25	59,30	58,67	59,07
1	59,09	58,02	58,41	58,51
2	58,94	57,46	58,35	58,25
3	58,49	56,93	58,16	57,86
4	58,09	56,50	57,42	57,34
5	57,50	55,60	56,76	56,62
6	56,79	54,77	55,28	55,61
7	56,19	53,98	54,69	54,95
8	55,27	53,21	53,92	54,13
9	53,81	52,78	53,18	53,26
10	51,56	51,63	51,90	51,70
11	48,20	50,54	49,49	49,41
12	46,24	49,27	47,86	47,79
13	43,89	46,76	46,01	45,55
14	40,46	42,47	44,05	42,33
15	37,21	36,79	40,74	38,25
16	32,26	29,43	35,48	32,39
17	28,37	24,91	28,34	27,21
18	24,09	20,71	22,22	22,34

Lampiran A.10 Data Laju Pembakaran Briket B1

Waktu (menit)	Pengujian ke-1		Pengujian ke-2		Pengujian ke-3	
	M (gram)	LP (mg/s)	M (gram)	LP (mg/s)	M (gram)	LP (mg/s)
1	0,43	7	1,05	18	1,97	33
2	0,51	8	0,38	6	1,05	18
3	2,79	47	0,55	9	1,41	23
4	0,50	8	5,16	86	4,34	72
5	1,00	17	0,54	9	3,55	59
6	1,85	31	1,60	27	4,20	70
7	4,05	68	1,19	20	4,96	83
8	7,28	121	2,27	38	5,54	92
9	5,69	95	3,62	60	5,59	93
10	4,13	69	5,46	91	2,23	37
11	1,27	21	1,29	22	1,38	23
12	2,04	34	2,72	45	2,61	44
13	4,31	72	2,09	35	1,63	27
14	1,71	29	2,82	47	1,75	29
15	1,33	22	3,24	54	1,65	28
16	1,03	17	3,82	64	0,93	16
17	3,40	57	2,54	42	0,46	8
18	0,81	14	3,20	53	0,57	10

Lampiran A.11 Data Laju Pembakaran Briket B2

Waktu (menit)	Pengujian ke-1		Pengujian ke-2		Pengujian ke-3	
	M (gram)	LP (mg/s)	M (gram)	LP (mg/s)	M (gram)	LP (mg/s)
1	0,09	2	0,12	2	1,18	20
2	0,58	10	0,44	7	0,32	5
3	1,62	27	0,73	12	0,49	8
4	4,24	71	0,98	16	1,47	25
5	2,03	34	0,86	14	0,80	13
6	2,15	36	1,75	29	1,48	25
7	2,23	37	2,21	37	2,49	42
8	3,23	54	2,86	48	2,98	50
9	3,89	65	1,62	27	2,72	45
10	3,04	51	3,43	57	5,07	85
11	6,17	103	8,29	138	4,51	75
12	3,55	59	3,86	64	3,93	66
13	3,64	61	4,50	75	4,38	73
14	2,88	48	3,23	54	2,12	35
15	0,77	13	2,90	48	1,39	23
16	0,51	8	2,17	36	2,70	45
17	1,38	23	1,59	27	1,45	24
18	1,09	18	1,01	17	1,27	21

Lampiran A.12 Data Laju Pembakaran Briket B3

Waktu (menit)	Pengujian ke-1		Pengujian ke-2		Pengujian ke-3	
	M (gram)	LP (mg/s)	M (gram)	LP (mg/s)	M (gram)	LP (mg/s)
1	0,16	3	1,28	21	0,26	4
2	0,15	3	0,56	9	0,06	1
3	0,45	7	0,53	9	0,19	3
4	0,40	7	0,43	7	0,74	12
5	0,59	10	0,90	15	0,66	11
6	0,71	12	0,83	14	1,48	25
7	0,60	10	0,79	13	0,59	10
8	0,92	15	0,77	13	0,77	13
9	1,46	24	0,43	7	0,74	12
10	2,25	38	1,15	19	1,28	21
11	3,36	56	1,09	18	2,41	40
12	1,96	33	1,27	21	1,63	27
13	2,35	39	2,51	42	1,85	31
14	3,43	57	4,29	72	1,96	33
15	3,25	54	5,68	95	3,31	55
16	4,95	82	7,36	123	5,26	88
17	3,89	65	4,52	75	7,14	119
18	4,28	71	4,20	70	6,12	102

Lampiran A.13 Data Perubahan Temperatur Air pada Briket B1

Waktu (menit)	Temperatur (°C)			
	Pengujian ke-1	Pengujian ke-2	Pengujian ke-3	T _{rata-rata}
0	23,9	23,3	26,7	24,6
1	24,5	24,4	27,4	25,4
2	24,3	24,4	28,2	25,6
3	25,1	24,4	28,5	26,0
4	25,7	24,6	29,0	26,4
5	27,6	25,1	30,1	27,6
6	28,1	26,6	32,0	28,9
7	31,2	27,5	34,9	31,2
8	33,7	29,0	36,5	33,1
9	35,5	32,3	37,0	34,9
10	35,8	33,3	38,0	35,7
11	37,3	35,9	39,5	37,6
12	39,6	37,2	41,9	39,6
13	39,9	39,3	42,7	40,6
14	40,9	40,1	41,0	40,7
15	41,5	38,2	40,8	40,2
16	40,5	39,0	38,2	39,2
17	39,4	37,2	37,4	38,0
18	36,7	35,0	34,9	35,5

Lampiran A.14 Data Perubahan Temperatur Air pada Briket B2

Waktu (menit)	Temperatur (°C)			
	Pengujian ke-1	Pengujian ke-2	Pengujian ke-3	T _{rata-rata}
0	26,4	27,2	27,6	27,1
1	27,2	26,4	26,9	26,8
2	27,0	27,4	26,9	27,1
3	28,2	27,9	26,2	27,4
4	30,8	28,5	26,5	28,6
5	33,5	30,3	27,2	30,3
6	33,6	32,8	27,3	31,2
7	34,7	33,6	27,9	32,1
8	35,4	34,4	28,0	32,6
9	36,9	34,6	28,9	33,5
10	38,5	34,8	29,8	34,4
11	41,1	36,5	31,8	36,5
12	42,9	37,3	38,0	39,4
13	45,5	38,8	43,9	42,7
14	46,5	40,7	46,4	44,5
15	45,2	42,3	49,4	45,6
16	44,4	43,8	46,6	44,9
17	43,7	44,9	44,7	44,4
18	41,4	43,8	41,1	42,1

Lampiran A.15 Data Perubahan Temperatur Air pada Briket B3

Waktu (menit)	Temperatur (°C)			
	Pengujian ke-1	Pengujian ke-2	Pengujian ke-3	T _{rata-rata}
0	28,3	28,9	27,9	28,4
1	27,5	28,3	27,0	27,6
2	26,8	27,4	26,6	26,9
3	26,7	26,8	26,4	26,6
4	26,7	26,6	26,1	26,5
5	26,8	31,4	26,7	28,3
6	26,7	33,4	28,9	29,7
7	26,9	32,1	30,7	29,9
8	27,0	31,8	30,8	29,9
9	27,5	32,4	31,0	30,3
10	28,5	33,4	31,4	31,1
11	30,9	35,2	31,5	32,5
12	32,8	37,1	32,9	34,3
13	34,6	40,2	35,4	36,7
14	37,8	46,1	37,5	40,5
15	40,9	53,2	39,3	44,5
16	44,4	55,5	43,3	47,7
17	47,8	54,4	52,6	51,6
18	48,6	52,5	58,4	53,2
19	46,5	48,5	63,8	52,9
20	45,6	44,4	67,7	52,6
21	45,7		71,2	
22	46,6		65,1	
23	47,1		58,3	

Lampiran A.16 Data *Free Convection* pada Briket B1

Menit	t (s)	T (K)	T (K)	T _f (K)	S	Q (Watt)	Integral Q (Joule)
1	60	298,4	0,4	298,2	0,00335	0,069	2,093
2	120	298,6	0,6	298,3	0,00335	0,110	5,387
3	180	299,0	1,0	298,5	0,00335	0,195	9,203
4	240	299,4	1,4	298,7	0,00335	0,306	15,087
5	300	300,6	2,6	299,3	0,00334	0,644	28,659
6	360	301,9	3,9	300,0	0,00333	1,068	51,564
7	420	304,2	6,2	301,1	0,00332	1,905	89,599
8	480	306,1	8,1	302,0	0,00331	2,645	136,849
9	540	307,9	9,9	303,0	0,00330	3,428	182,568
10	600	308,7	10,7	303,4	0,00330	3,761	215,821
11	660	310,6	12,6	304,3	0,00329	4,594	251,062
12	720	312,6	14,6	305,3	0,00328	5,521	303,928
13	780	313,6	15,6	305,8	0,00327	6,029	346,745
14	840	313,7	15,7	305,8	0,00327	6,044	362,198
15	900	313,2	15,2	305,6	0,00327	5,806	355,381
16	960	312,2	14,2	305,1	0,00328	5,364	334,879
17	1020	311,0	13,0	304,5	0,00328	4,792	304,417
18	1080	308,5	10,5	303,3	0,00330	3,688	253,849
Total						Joule	3249,287
						Kal	777,341
						Kkal	0,777

Lampiran A.17 Data *Free Convection* pada Briket B2

Menit	t (s)	T (K)	T (K)	T _f (K)	S	Q (Watt)	Integral Q (Joule)
1	60	299,8	1,8	298,9	0,00335	0,416	12,690
2	120	300,1	2,1	299,1	0,00334	0,493	27,311
3	180	300,4	2,4	299,2	0,00334	0,593	32,618
4	240	301,6	3,6	299,8	0,00334	0,966	46,959
5	300	303,3	5,3	300,7	0,00333	1,578	76,654
6	360	304,2	6,2	301,1	0,00332	1,917	105,048
7	420	305,1	7,1	301,5	0,00332	2,242	124,955
8	480	305,6	7,6	301,8	0,00331	2,455	141,033
9	540	306,5	8,5	302,2	0,00331	2,809	158,107
10	600	307,4	9,4	302,7	0,00330	3,186	180,041
11	660	309,5	11,5	303,7	0,00329	4,099	219,008
12	720	312,4	14,4	305,2	0,00328	5,443	286,925
13	780	315,7	17,7	306,9	0,00326	7,051	375,621
14	840	317,5	19,5	307,8	0,00325	7,951	450,517
15	900	318,6	20,6	308,3	0,00324	8,511	494,137
16	960	317,9	19,9	308,0	0,00325	8,154	499,760
17	1020	317,4	19,4	307,7	0,00325	7,901	481,503
18	1080	315,1	17,1	306,6	0,00326	6,740	438,622
Total						Joule	4151,509
						Kal	993,184
						Kkal	0,993

Lampiran A.18 Data *Free Convection* pada Briket B3

Menit	t (s)	T (K)	T (K)	T _f (K)	S	Q (Watt)	Integral Q (Joule)
1	60	300,6	2,6	299,3	0,00334	0,644	19,634
2	120	299,9	1,9	299,0	0,00334	0,445	32,551
3	180	299,6	1,6	298,8	0,00335	0,360	24,101
4	240	299,5	1,5	298,7	0,00335	0,315	20,228
5	300	301,3	3,3	299,7	0,00334	0,867	35,730
6	360	302,7	4,7	300,3	0,00333	1,336	66,329
7	420	302,9	4,9	300,5	0,00333	1,420	82,730
8	480	302,9	4,9	300,4	0,00333	1,408	84,837
9	540	303,3	5,3	300,7	0,00333	1,566	89,305
10	600	304,1	6,1	301,1	0,00332	1,866	103,128
11	660	305,5	7,5	301,8	0,00331	2,428	129,127
12	720	307,3	9,3	302,6	0,00330	3,144	167,520
13	780	309,7	11,7	303,9	0,00329	4,218	221,390
14	840	313,5	15,5	305,7	0,00327	5,949	305,868
15	900	317,5	19,5	307,7	0,00325	7,917	416,966
16	960	320,7	22,7	309,4	0,00323	9,599	526,328
17	1020	324,6	26,6	311,3	0,00321	11,663	638,894
18	1080	326,2	28,2	312,1	0,00320	12,520	725,931
Total						Joule	3690,598
						Kal	882,918
						Kkal	0,883

Lampiran A.19 Pelepasan Kalor Total Pada Variasi Dimensi Briket**A.19a Pelepasan Kalor Total Pada Briket B1**

Q	m	Cp	T	Besar (kkal)
$Q_{sensible\ air}$	0,06	1	16,1	0,966
$Q_{latent\ air}$	-	-	-	0
$Q_{sensible\ WBP}$	0,268	0,1148	16	0,492
Q_{conv}	Terlampir			0,777
Q_{total}				2,236

A.19b Pelepasan Kalor Total Pada Briket B2

Q	m	Cp	T	Besar (kkal)
$Q_{sensible\ air}$	0,06	1	18,5	1,11
$Q_{latent\ air}$	-	-	-	0
$Q_{sensible\ WBP}$	0,268	0,1148	18,3	0,563
Q_{conv}	Terlampir			0,993
Q_{total}				2,666

A.19c Pelepasan Kalor Total Pada Briket B3

Q	m	Cp	T	Besar (kkal)
$Q_{sensible\ air}$	0,06	1	24,8	1,488
$Q_{latent\ air}$	-	-	-	0
$Q_{sensible\ WBP}$	0,268	0,1148	24,8	0,763
Q_{conv}	Terlampir			0,883
Q_{total}				3,134

LAMPIRAN B. PERHITUNGAN

Lampiran B.1 Perhitungan Laju Kalor *Free Convection Air*

Perhitungan *free convection* oleh air mengacu pada perhitungan konveksi bebas pada plat horizontal dimana koefisien bilangan Nusselt = $0,54 Ra^{1/4}$ (Cengel, 2002). Persamaan yang digunakan:

$$\dot{Q} = h \cdot A_{wbp} \cdot \Delta T \quad \text{dimana: } Ra = (g \cdot \beta (T - T_{\infty}) \cdot L_c \cdot Pr) / \nu^2$$

$$h = (Nu \cdot k) / L_c$$

dengan spesifikasi sebagai berikut:

- $m_{air} = 0,06 \text{ kg}$
- $C_{p \text{ air}} = 1 \text{ Kkal/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$
- $m_{wbp} = 0,268 \text{ kg}$
- $d_{wbp} = 0,14 \text{ m}$
- $L_c = d_{wbp}/4 = 0,035 \text{ m}$
- $A_{wbp} = 0,061544 \text{ m}^2$
- $L_{wbp} = 0,07 \text{ m}$
- $C_{p \text{ wbp}} = 1148 \text{ Kkal/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$
- $T_{\infty} = 298 \text{ K}$
- $\Delta T = T_{air} - T_{\infty}$
- Properti udara pada temperatur ambient, tekanan 1 atm (Cengel, 2002):

$$\rho = 1,184 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 1007 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$k = 0,02551 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$= 2,141 \times 10^{-5}$$

$$\mu = 1,849 \times 10^{-5}$$

$$\nu = 1,562 \times 10^{-5}$$

$$Pr = 0,7296$$

B.1a Perhitungan Laju Kalor *Free Convection* Briket B1• Menit ke-1

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(298,4-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 1.825,758$$

$$Nu = 0,54 (1.825,758)^{1/4} = 3,529$$

$$h = (3,529 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 2,573 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$$

$$\dot{Q} = 2,573 \times 0,062 \cdot 0,4$$

$$= \mathbf{0,0693 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-3

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(299,0-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 4.209,288$$

$$Nu = 0,54 (4.209,288)^{1/4} = 4,35$$

$$h = (4,35 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 3,170212 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$$

$$\dot{Q} = 3,170212 \times 0,062 \cdot 1,0$$

$$= \mathbf{0,195 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-5

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(300,6-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 10.914,896$$

$$Nu = 0,54 (10.914,896)^{1/4} = 5,519$$

$$h = (5,519 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 4,023 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$$

$$\dot{Q} = 4,023 \times 0,062 \cdot 2,6$$

$$= \mathbf{0,644 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-2

$$Ra = \frac{99,8 \times 0,003(298,6-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 2667,521$$

$$Nu = 0,54 (2.667,521)^{1/4} = 3,881$$

$$h = (3,881 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 2,829 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$$

$$\dot{Q} = 2,829 \times 0,062 \cdot 0,6$$

$$= \mathbf{0,11 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-4

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(299,4-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 6.028,937$$

$$Nu = 0,54 (6.028,937)^{1/4} = 4,758$$

$$h = (4,758 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 3,468 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$$

$$\dot{Q} = 3,468 \times 0,062 \cdot 1,4$$

$$= \mathbf{0,306 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-6

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(301,9-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 16.336,865$$

$$Nu = 0,54 (16.336,865)^{1/4} = 6,105$$

$$h = (6,105 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 4,45 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$$

$$\dot{Q} = 4,45 \times 0,062 \cdot 3,9$$

$$= \mathbf{0,062 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-7

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(304,2-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 25.872,233$$

$$Nu = 0,54 (25.872,233)^{1/4} = 6,849$$

$$h = (6,849 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 4,992 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$$

$$\dot{Q} = 4,992 \times 0,062 \cdot 6,2$$

$$= \mathbf{1,905 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-9

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(307,9-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 41.195,819$$

$$Nu = 0,54 (41.195,819)^{1/4} = 7,693$$

$$h = (7,693 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 5,607 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$$

$$\dot{Q} = 5,607 \times 0,062 \cdot 9,9$$

$$= \mathbf{3,428 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-11

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(310,6-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 51.891,342$$

$$Nu = 0,54 (51.891,342)^{1/4} = 8,15$$

$$h = (8,15 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 5,94 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$$

$$\dot{Q} = 5,94 \times 0,062 \cdot 12,6$$

$$= \mathbf{4,594 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-8

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(306,1-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 33.557,702$$

$$Nu = 0,54 (33.557,702)^{1/4} = 7,309$$

$$h = (7,309 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 5,327 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$$

$$\dot{Q} = 5,327 \times 0,062 \cdot 8,1$$

$$= \mathbf{2,645 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-10

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(308,7-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 44.319,286$$

$$Nu = 0,54 (44.319,286)^{1/4} = 7,835$$

$$h = (7,835 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 5,711 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$$

$$\dot{Q} = 5,711 \times 0,062 \cdot 10,7$$

$$= \mathbf{3,761 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-12

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(312,6-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 59.952,882$$

$$Nu = 0,54 (59.952,882)^{1/4} = 8,45$$

$$h = (8,45 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 6,159 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$$

$$\dot{Q} = 6,159 \times 0,062 \cdot 14,6$$

$$= \mathbf{5,521 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-13

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(313,6-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 64.230,812$$

$$Nu = 0,54 (64.230,812)^{1/4} = 8,597$$

$$h = (8,597 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 6,266 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 6,266 \times 0,062. 15,6$$

$$= \mathbf{6,029 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-15

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(313,2-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 62.361,055$$

$$Nu = 0,54 (62.361,055)^{1/4} = 8,533$$

$$h = (8,533 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 6,22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 6,22 \times 0,062. 15,2$$

$$= \mathbf{5,806 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-17

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(311,0-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 53.642,503$$

$$Nu = 0,54 (53.642,503)^{1/4} = 8,218$$

$$h = (8,218 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 5,99 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 5,99 \times 0,062. 13,0$$

$$= \mathbf{4,792 \text{ W}}$$

• Menit ke-14

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(313,7-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 64.364,257$$

$$Nu = 0,54 (64.364,257)^{1/4} = 8,601$$

$$h = (8,601 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 6,269 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 6,269 \times 0,062. 15,7$$

$$= \mathbf{6,044 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-16

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(312,2-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 58.612,961$$

$$Nu = 0,54 (58.612,961)^{1/4} = 8,402183766$$

$$h = (8,402 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 6,124 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 6,124 \times 0,062. 14,2$$

$$= \mathbf{5,365 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-18

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(308,5-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 43.640,943$$

$$Nu = 0,54 (43.640,943)^{1/4} = 7,805$$

$$h = (7,805 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 5,689 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 5,6889 \times 0,062. 10,5$$

$$= \mathbf{3,688 \text{ Watt}}$$

B.1b Perhitungan Laju Kalor *Free Convection* Briket B2• Menit ke-1

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(299,8-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 7.706,271$$

$$Nu = 0,54 (7.706,271)^{1/4} = 5,059$$

$$h = (5,059 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 3,688 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 3,688 \times 0,062 \cdot 1,8$$

$$= \mathbf{0,416 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-2

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(300,4-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 10.218,068$$

$$Nu = 0,54 (10.218,068)^{1/4} = 5,429$$

$$h = (5,429 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 3,957 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 3,957 \times 0,062 \cdot 2,4$$

$$= \mathbf{0,593 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-3

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(303,3-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 22.287,76$$

$$Nu = 0,54 (22.287,76)^{1/4} = 6,598$$

$$h = (6,598 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 4,809 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 4,809 \times 0,062 \cdot 5,3$$

$$= \mathbf{1,579 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-4

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(300,1-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 8.823,248$$

$$Nu = 0,54 (8.823,248)^{1/4} = 5,234$$

$$h = (5,234 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 3,814 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 3,814 \times 0,062 \cdot 2,1$$

$$= \mathbf{0,493 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-5

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(301,6-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 15.087,728$$

$$Nu = 0,54 (15.087,728)^{1/4} = 5,989$$

$$h = (5,985 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 4,362 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 4,362 \times 0,062 \cdot 3,6$$

$$= \mathbf{0,967 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-6

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(304,2-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 26.009,891$$

$$Nu = 0,54 (26.009,891)^{1/4} = 6,858$$

$$h = (6,858 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 4,998 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 4,998 \times 0,062 \cdot 6,2$$

$$= \mathbf{1,918 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-7

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(305,1-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 29.446,403$$

$$Nu = 0,54 (29.446,403)^{1/4} = 7,074$$

$$h = (7,074 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 5,156 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 5,156 \times 0,062 \cdot 7,1$$

$$= \mathbf{2,242 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-9

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(306,5-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 48.243,438$$

$$Nu = 0,54 (48.243,438)^{1/4} = 7,397$$

$$h = (7,397 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 5,391 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 5,391 \times 0,062 \cdot 8,5$$

$$= \mathbf{2,809 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-11

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(309,5-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 47.434,869$$

$$Nu = 0,54 (47.434,869)^{1/4} = 7,969$$

$$h = (7,969 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 5,809 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 5,809 \times 0,062 \cdot 11,5$$

$$= \mathbf{4,099 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-8

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(305,6-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 31.640,791$$

$$Nu = 0,54 (31.640,791)^{1/4} = 7,202$$

$$h = (7,202 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 5,249 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 5,249 \times 0,062 \cdot 7,6$$

$$= \mathbf{2,455 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-10

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(307,4-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 38.882,084$$

$$Nu = 0,54 (38.882,084)^{1/4} = 7,583$$

$$h = (7,583 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 5,527 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 5,527 \times 0,062 \cdot 9,4$$

$$= \mathbf{3,186 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-12

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(312,4-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 59.283,104$$

$$Nu = 0,54 (59.283,104)^{1/4} = 8,426$$

$$h = (8,426 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 6,141 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 6,141 \times 0,062 \cdot 14,4$$

$$= \mathbf{5,443 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-13

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(315,7-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 72.609,532$$

$$Nu = 0,54 (72.609,532)^{1/4} = 8,864$$

$$h = (8,864 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 6,461 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 6,461 \times 0,062 \cdot 17,7$$

$$= 7,051 \text{ Watt}$$

• Menit ke-15

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(318,6-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 84.086,324$$

$$Nu = 0,54 (84.086,324)^{1/4} = 9,196$$

$$h = (9,196 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 6,702 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 6,702 \times 0,062 \cdot 20,6$$

$$= 8,511 \text{ Watt}$$

• Menit ke-17

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(317,4-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 79.350,425$$

$$Nu = 0,54 (79.350,425)^{1/4} = 9,063$$

$$h = (9,063 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 6,606 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 6,606 \times 0,062 \cdot 19,4$$

$$= 7,901 \text{ Watt}$$

• Menit ke-14

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(317,5-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 79.745,788$$

$$Nu = 0,54 (79.745,788)^{1/4} = 9,075$$

$$h = (9,075 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 6,614 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 6,614 \times 0,062 \cdot 19,5$$

$$= 7,951 \text{ Watt}$$

• Menit ke-16

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(317,9-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 81.325,959$$

$$Nu = 0,54 (81.325,959)^{1/4} = 9,119$$

$$h = (9,119 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 6,647 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 6,647 \times 0,062 \cdot 19,9$$

$$= 8,154 \text{ Watt}$$

• Menit ke-18

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(315,1-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 70.088,661$$

$$Nu = 0,54 (70.088,661)^{1/4} = 8,786$$

$$h = (8,786 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 6,404 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 6,404 \times 0,062 \cdot 17,1$$

$$= 6,74 \text{ Watt}$$

B.1c Perhitungan Laju Kalor *Free Convection* Briket B3• Menit ke-1

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(300,6-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 10.914,896$$

$$Nu = 0,54 (10.914,896)^{1/4} = 5,52$$

$$h = (5,52 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 4,023 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 4,023 \times 0,062 \cdot 2,6$$

$$= \mathbf{0,644 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-3

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(299,6-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 6.867,885$$

$$Nu = 0,54 (6.867,885)^{1/4} = 4,916$$

$$h = (4,916 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 3,583 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 3,583 \times 0,062 \cdot 1,6$$

$$= \mathbf{0,36 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-5

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(301,3-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 13.837,341$$

$$Nu = 0,54 (13.837,341)^{1/4} = 5,857$$

$$h = (5,857 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 4,269 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 4,269 \times 0,062 \cdot 3,3$$

$$= \mathbf{0,867 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-2

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(299,9-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 8.125,254$$

$$Nu = 0,54 (8.125,254)^{1/4} = 5,127$$

$$h = (5,127 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 3,737 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 3,737 \times 0,062 \cdot 1,9$$

$$= \mathbf{0,445 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-4

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(299,5-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 6.168,8$$

$$Nu = 0,54 (6.168,8)^{1/4} = 4,786$$

$$h = (4,786 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 3,488 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 3,488 \times 0,062 \cdot 1,5$$

$$= \mathbf{0,315 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-6

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(302,7-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 19.523,435$$

$$Nu = 0,54 (19.523,435)^{1/4} = 6,383$$

$$h = (6,383 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 4,652 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 4,652 \times 0,062 \cdot 4,7$$

$$= \mathbf{1,336 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-7

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(302,9-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 20.491,646$$

$$Nu = 0,54 (20.491,646)^{1/4} = 6,461$$

$$h = (6,461 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 4,709 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 4,709 \times 0,062. 4,9$$

$$= \mathbf{1,42 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-9

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(303,3-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 22.149,689$$

$$Nu = 0,54 (22.149,689)^{1/4} = 6,588$$

$$h = (6,588 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 4,802 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 4,802 \times 0,062. 5,3$$

$$= \mathbf{1,566 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-11

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(305,5-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 31.366,705$$

$$Nu = 0,54 (31.366,705)^{1/4} = 7,186$$

$$h = (7,186 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 5,238 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 5,238 \times 0,062. 7,5$$

$$= \mathbf{2,428 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-8

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(302,9-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 20.353,376$$

$$Nu = 0,54 (20.353,376)^{1/4} = 6,45$$

$$h = (6,45 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 4,702 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 4,702 \times 0,062. 4,9$$

$$= \mathbf{1,409 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-10

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(304,1-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 25.459,166$$

$$Nu = 0,54 (25.459,166)^{1/4} = 6,821$$

$$h = (6,821 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 4,972 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 4,972 \times 0,062. 6,1$$

$$= \mathbf{1,866 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-12

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(307,3-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 38.473,328$$

$$Nu = 0,54 (38.473,328)^{1/4} = 7,563$$

$$h = (7,563 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 5,512 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 5,512 \times 0,062. 9,3$$

$$= \mathbf{3,144 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-13

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(309,7-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 48.516,708$$

$$Nu = 0,54 (48.516,708)^{1/4} = 8,014$$

$$h = (8,014 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 5,841 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 5,841 \times 0,062. 11,7$$

$$= \mathbf{4,218 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-15

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(317,5-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 79.482,227$$

$$Nu = 0,54 (79.482,227)^{1/4} = 9,067$$

$$h = (9,067 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 6,609 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 6,609 \times 0,062. 19,5$$

$$= \mathbf{7,918 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-17

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(324,6-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 107.363,211$$

$$Nu = 0,54 (107.363,211)^{1/4} = 9,775$$

$$h = (9,775 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 7,124 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 7,124 \times 0,062. 26,6$$

$$= \mathbf{11,663 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-14

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(313,5-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 63.563,369$$

$$Nu = 0,54 (63.563,369)^{1/4} = 8,574$$

$$h = (8,574 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 6,249 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 6,249 \times 0,062. 15,5$$

$$= \mathbf{5,949 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-16

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(320,7-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 92.329,945$$

$$Nu = 0,54 (92.329,945)^{1/4} = 9,413$$

$$h = (9,413 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 6,861 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 6,861 \times 0,062. 22,7$$

$$= \mathbf{9,599 \text{ Watt}}$$

• Menit ke-18

$$Ra = \frac{9,8 \times 0,003(326,2-298)0,035^3 \times 0,7296}{(1,562 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 113.401,253$$

$$Nu = 0,54 (113.401,253)^{1/4} = 9,909$$

$$h = (9,909 \times 0,02551)/0,035$$

$$= 7,223 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\dot{Q} = 7,223 \times 0,062. 28,2$$

$$= \mathbf{12,52 \text{ Watt}}$$

Lampiran B.2 Perhitungan Total Pelepasan KalorPelepasan Kalor Briket B1

- $Q_{\text{sensibel air}} = m_{\text{air}} \cdot C_p \text{ air} \cdot \Delta T = 0,06 \text{ kg} \cdot 1 \text{ Kkal/kg}^\circ\text{C} \cdot 16,1^\circ\text{C} = 0,966 \text{ Kkal}$

- $Q_{\text{laten air}} = m_2 \cdot H_L = 0 \text{ Kkal}$ (tidak ada air menguap)

- $Q_{\text{sensibel WBP}} = m_{\text{WBP}} \cdot C_p \text{ WBP} \cdot \Delta T$
 $= 0,268 \text{ kg} \cdot 0,1148 \text{ Kkal/kg}^\circ\text{C} \cdot 16^\circ\text{C} = 0,492 \text{ Kkal}$

- $Q_{\text{total}} = Q_{\text{sensibel air}} + Q_{\text{laten air}} + Q_{\text{sensibel WBP}} + Q_{\text{free convection}}$
 $= 0,966 \text{ Kkal} + 0 \text{ Kkal} + 0,492 \text{ Kkal} + 0,777 \text{ Kkal}$
 $= \mathbf{2,236 \text{ Kkal}}$

Pelepasan Kalor Briket B2

- $Q_{\text{sensibel air}} = m_{\text{air}} \cdot C_p \text{ air} \cdot \Delta T = 0,06 \text{ kg} \cdot 1 \text{ Kkal/kg}^\circ\text{C} \cdot 18,5^\circ\text{C} = 1,11 \text{ Kkal}$

- $Q_{\text{laten air}} = m_2 \cdot H_L = 0 \text{ Kkal}$ (tidak ada air menguap)

- $Q_{\text{sensibel WBP}} = m_{\text{WBP}} \cdot C_p \text{ WBP} \cdot \Delta T$
 $= 0,268 \text{ kg} \cdot 0,1148 \text{ Kkal/kg}^\circ\text{C} \cdot 18,3^\circ\text{C} = 0,563 \text{ Kkal}$

- $Q_{\text{total}} = Q_{\text{sensibel air}} + Q_{\text{laten air}} + Q_{\text{sensibel WBP}} + Q_{\text{free convection}}$
 $= 1,11 \text{ Kkal} + 0 \text{ Kkal} + 0,563 + 0,993 \text{ Kkal}$
 $= \mathbf{2,666 \text{ Kkal}}$

Pelepasan Kalor Briket B1

- $Q_{\text{sensibel air}} = m_{\text{air}} \cdot C_p \text{ air} \cdot \Delta T = 0,06 \text{ kg} \cdot 1 \text{ Kkal/kg}^\circ\text{C} \cdot 24,8^\circ\text{C} = 1,488 \text{ Kkal}$

- $Q_{\text{laten air}} = m_2 \cdot H_L = 0 \text{ Kkal}$ (tidak ada air menguap)

- $Q_{\text{sensibel WBP}} = m_{\text{WBP}} \cdot C_p \text{ WBP} \cdot \Delta T$
 $= 0,268 \text{ kg} \cdot 0,1148 \text{ Kkal/kg}^\circ\text{C} \cdot 24,8^\circ\text{C} = 0,763 \text{ Kkal}$

- $Q_{\text{total}} = Q_{\text{sensibel air}} + Q_{\text{laten air}} + Q_{\text{sensibel WBP}} + Q_{\text{free convection}}$
 $= 1,488 \text{ Kkal} + 0 \text{ Kkal} + 0,763 \text{ Kkal} + 0,883 \text{ Kkal}$
 $= \mathbf{3,134 \text{ Kkal}}$

LAMPIRAN C. DOKUMENTASI PENELITIAN



D1. Pembubutan Dies



D2. Modifikasi Burner Prototype



D3. Pencetakan Briket



D4. Temperatur Ruang Dies



D5. Massa Pengujian



D6. Sisa Pembakaran Briket