

**PENGARUH VARIASI PRODUK BAHAN BAKAR TEMPURUNG
KELAPA DAN MASSA BAHAN BAKAR EFISIENSI TERMAL
DAN DAYA PEMANASAN TUNGKU
PEMBAKARAN BATA API**

(Skripsi)

Oleh

Muhammad Akwi Husaini

NPM 1655021006



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI PRODUK BAHAN BAKAR TEMPURUNG KELAPA DAN MASSA BAHAN BAKAR EFISIENSI TERMAL DAN DAYA PEMANASAN TUNGKU PEMBAKARAN BATA API

Oleh

Muhammad Alwi Husaini

Kebutuhan akan energi bahan bakar di Indonesia semakin meningkat, baik pada skala industri hingga skala rumah tangga. Energi bahan bakar yang digunakan masih bertumpu pada sumber energi fosil. Sumber energi lain yang dapat dimanfaatkan adalah sumber energi yang berasal dari biomassa. Salah satu sumber energi biomassa adalah tempurung kelapa. Tempurung kelapa dapat diolah menjadi arang tempurung kelapa dan briket arang tempurung kelapa. Pada penelitian ini penulis melihat pengaruh yang dihasilkan dari pengolahan tempurung kelapa menjadi arang dan briket (variasi produk bahan bakar) ketika diaplikasikan pada tungku pembakaran bata api. Tempurung kelapa, arang tempurung kelapa dan briket arang tempurung kelapa yang digunakan diberi variasi massa sebesar 2 kg, 3 kg, dan 4 kg. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Water Boiling Test (Cold Start)* bertujuan untuk mengetahui seberapa baik unjuk kerja tungku bata api berupa efisiensi termal, konsumsi bahan bakar spesifik dan daya pemanasan dari masing-masing variasi produk dan massa bahan bakar yang diuji. Daya pemanasan terbesar dihasilkan tempurung kelapa dengan massa 4 kg sebesar 3.738,47 Watt. Efisiensi termal terbaik diperoleh pada bahan bakar tempurung kelapa dengan massa 4 kg diperoleh efisiensi termal sebesar 9%. Sedangkan konsumsi bahan bakar spesifik (bsfc) diperoleh pada tempurung kelapa dengan massa 2 kg yaitu sebesar 2.608,62 gr/kWh. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa efisiensi termal, bsfc, dan daya pemanasan dipengaruhi oleh densitas bahan bakar, porositas bahan bakar, ukuran bahan bakar, dan ketinggian penyusunan bahan bakar.

Kata Kunci: Biomassa, *Water Boiling Test*, Tempurung kelapa, Arang Tempurung kelapa, Briket arang tempurung kelapa, Tungku pembakaran bata api, Daya pemanasan, Efisiensi termal

ABSTRACT

EFFECT OF VARIATIONS IN COCONUT SHELL FUEL PRODUCTS AND FUEL MASS ON THERMAL EFFICIENCY AND HEATING POWER OF FIRE BRICK COMBUSTION FURNACES

By

Muhammad Alwi Husaini

The need for fuel energy in Indonesia is increasing, both on an industrial scale to a household scale. The fuel energy used still rests on fossil energy sources. Another energy source that can be utilized is energy sources derived from biomass. One source of biomass energy is the coconut shell. Coconut shells can be processed into coconut shell charcoal and coconut shell charcoal briquettes. In this study the authors looked at the effects resulting from the processing of coconut shells into charcoal and briquettes (variations of fuel products) when applied to fire brick combustion furnaces. Coconut shell, coconut shell charcoal and coconut shell charcoal briquettes used were given mass variations of 2 kg, 3 kg, and 4 kg. This study was conducted using the *Water Boiling Test (Cold Start)* method to find out how well the fire brick furnace performance in the form of thermal efficiency, specific fuel consumption and heating power from each product variation and fuel mass tested. The largest heating power was produced by coconut shells with a mass of 4 kg of 3,738.47 Watts. The highest thermal efficiency was 9% obtained in using coconut shell fuel with a mass of 4 kg. Meanwhile the highest specific fuel consumption (bsfc) was obtained in coconut shells with a mass of 2 kg which is 2,608.62 gr/kWh. Based on the results obtained, it can be concluded that thermal efficiency, bsfc, and heating power are affected by fuel density, fuel porosity, fuel size, and height of fuel arrangement.

Keywords: Biomass, Water Boiling Test, Coconut Shell, Coconut Shell Charcoal, Coconut Shell Charcoal Briquette, Fire brick combustion furnace, Heating power, Thermal efficiency

**PENGARUH VARIASI PRODUK BAHAN BAKAR TEMPURUNG
KELAPA DAN MASSA BAHAN BAKAR EFISIENSI TERMAL
DAN DAYA PEMANASAN TUNGKU
PEMBAKARAN BATA API**

Oleh

Muhammad Alwi Husaini

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI PRODUK BAHAN BAKAR
TEMPURUNG KELAPA DAN MASSA BAHAN
BAKAR EFISIENSI TERMAL DAN DAYA
PEMANASAN TUNGKU PEMBAKARAN
BATA API**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Alwi Husaini**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1655021006**

Jurusan : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**



Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2

Ir. Herry Wardono., M.Sc., IPM.
NIP 19660822 199512 1 001

A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.
NIP 19760715 200812 1 002

Ketua Jurusan
Teknik Mesin

Kepala Program Studi
S1 Teknik Mesin

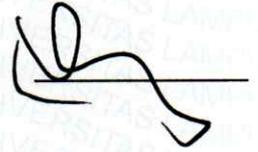
Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP 19710331 199903 1 003

Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP 19701104 199703 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

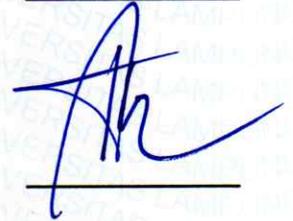
Ketua Penguji : Ir. Herry Wardono., M.Sc., IPM.



Anggota Penguji : A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.



Penguji Utama : Amrizal, S.T., M.T., Ph.D.



Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 12 Oktober 2021

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN PERATURAN REKTOR
NO. 13 TAHUN 2019.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



Muhammad Alwi Husaini

NPM. 1655021006

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Blora, pada tanggal 17 Januari 1998, sebagai anak dari pasangan Sudarto dan Siti Kholifah. Penulis adalah anak pertama dari 4 bersaudara, dengan adik bernama Rini Halimah S., Achmad Baharudin S., dan Rifat Sumantri S. Penulis menyelesaikan pendidikan taman kanak-kanak di TK Islam Arraudah di Jambu air, Bukittinggi. Pada tahun 2004. Penulis melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SDN 21 Taluak IV Suku, Kab. Agam, Sumatera Barat sampai dengan tahun 2010. Penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 4 Bukittinggi, lalu pindah sekolah dan menyelesaikan pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 1 Kebonagung, Kab. Demak pada tahun 2013. Penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 1 Godong, Kab. Grobogan yang diselesaikan pada tahun 2016. Pada tahun 2016 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Kemudian pada saat menjalani perkuliahan, penulis melaksanakan kerja praktek di PT. Pertamina (Persero) RU IV Cilacap, di Kota Cilacap, Prov. Jawa Tengah. Selama menjadi Mahasiswa, penulis aktif pada organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Anggota Devisi Agama Islam periode 2018-2019. Pada skripsi ini penulis melaksanakan penelitian dibidang konversi energi, dengan judul “PENGARUH VARIASI PRODUK BAHAN BAKAR TEMPURUNG KELAPA DAN MASSA BAHAN BAKAR TERHADAP EFISIENSI TERMAL DAN DAYA PEMANASAN TUNGKU PEMBAKARAN BATA API” dibawah bimbingan Bapak Ir. Herry Wardono, M.Sc.,IPM, Bapak A. Yudi Eka Risano, S.T., M. Eng., dan Bapak Amrizal, S.T., M.T., Ph.D.

**-DENGAN MENYEBUT NAMA ALLAH YANG MAHA PENGASIH LAGI
MAHA PENYAYANG**

KARYA TULIS INI DIPERSEMBAHKAN KEPADA

Kedua Orang Tua dan Keluarga Terkasih

serta

Kepada Semua Pihak Yang Telah Mendukung, Mendidik dan Membimbing Penulis

Terima Kasih Banyak.

MOTTO

**"SEBAIK-BAIK MANUSIA ADALAH MANUSIA YANG
BERMANFAAT BAGI MANUSIA LAINNYA"**

(HR. Ahmad)

"TERBENTUR, TERBENTUR, TERBENTUR, TERBENTUK"

(Tan Malaka)

"DIMA BUMI DIPIJAK, DISINAN LANGIK DIJUNJUANG"

(Rang Minang)

"AJA MUNG ELING BUTUHE URIP NGANTI LALI GUNANE URIP"

(Wong Jowo)

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah SWT, atas berkat rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Pengaruh Variasi Produk Bahan Bakar Tempurung Kelapa Dan Massa Bahan Bakar Terhadap Efisiensi Termal Dan Daya Pemanasan Tungku Pembakaran Bata Api” Skripsi ini adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Penulis menyadari betapa besar bantuan dan dukungan dari semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penyusunan skripsi ini. Melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Suharno, M.Sc.,PhD., selaku Dekan Teknik Universitas Lampung beserta staf dan jajarannya yang telah memberikan bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Amrul, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Ibu Novri Tanti, S.T., M.T. selaku Ketua Prodi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan tugas akhir kepada penulis serta bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan perhatian sehingga penulis dapat menyusun laporan skripsi ini menjadi lebih baik.
5. Bapak A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan masukan guna membangun laporan skripsi ini menjadi lebih baik lagi.

6. Bapak Amrizal, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan masukan dan saran-saran membangun agar penulisan laporan ini menjadi lebih baik lagi.
7. Bapak Martinus S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan masukan tentang perkuliahan selama penulis menjadi mahasiswa.
8. Seluruh Dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, para staff Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, dan teknisi Lab Motor Bakar Universitas Lampung.
9. Untuk kedua Orangtua saya, Bapak Sudarto dan Ibunda Siti Kholifah yang selalu mendoakan untuk kebaikan anak-anaknya memberikan kasih sayangnya tanpa pamrih dan menyemangati anak-anaknya.
10. Untuk Saudara dan Saudari saya Afif, Faruq, Umi, Rini, Baharrudin dan Rifat yang selalu menghibur dan mendoakan saya agar selalu semangat dalam menjalani perkuliahan.
11. Kepada rekan seperjuangan saya Muhammad Hilman Farhani dan Tulus Oktavianus Sinaga yang selalu membantu saya ketika proses pembuatan skripsi saya ini.
12. Kepada sahabat-sahabat saya Dedy Rizaldy, Rizqal Hakim, Hamzah Yasin, Nugroho Priambodo dan masih banyak lagi lainnya yang tak cukup bilamana harus disebutkan semua, terima kasih sudah menemani perjuangan perkuliahan pada saat suka maupun duka.
13. Kepada rekan-rekan seperjuangan Teknik Mesin 2016 yang telah banyak membantu selama masa perkuliahan.
14. Rekan-rakan seperjuangan di Lab. Motor Bakar dan Propulsi.
15. Mas Agus, Mas Marta, Mas Dadang dan Mas Nanang, terima kasih atas bantuannya.
16. Kepada semua yang telah membantu penulis menyemangati dan berbagai hal lainnya sehingga terselesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh sebab itu saran dan kritik akan

diterima dengan terbuka. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan dipergunakan dengan sebaik-baiknya, dan bermanfaat bagi diri sendiri dan yang membacanya.

Bandar Lampung, Oktober 2021

Penulis,

Muhammad Alwi Husaini

DAFTAR ISI

	Halaman
MOTTO	i
SANWACANA	ii
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR NOTASI.....	x
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	4
C. Batasan Masalah	4
D. Sistematika Penulisan Laporan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Bahan Bakar.....	7
B. Biomassa.....	10
C. Tempurung Kelapa.....	12
D. Arang Tempurung Kelapa.....	13
E. Briket Arang Tempurung Kelapa.....	17
F. Teori Pembakaran	20
G. Tungku Pembakaran Tradisional	21
H. Metode <i>Water Boilling Test</i>	22
III. METODOLOGI PENELITIAN	
A. Tempat dan Waktu Pelaksanaan	26

B. Alat dan Bahan.....	26
C. Persiapan Alat dan Bahan	31
D. Prosedur Pengujian	34
E. Alur Pengujian	36
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil	37
B. Pembahasan.....	40
1. Persiapan alat dan bahan	40
2. Pengujian WBT (<i>Water Boilling Test</i>).....	40
3. Penjabaran pengaruh massa bahan bakar terhadap prestasi tungku ...	42
4. Penjabaran pengaruh variasi produk bahan bakar terhadap prestasi tungku.....	48
V. PENUTUP	
A. Kesimpulan	56
B. Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	61

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Grafik kebutuhan energi per jenis	10
Gambar 2. Tempurung Kelapa	13
Gambar 3. <i>Kiln Drum</i>	15
Gambar 4. Arang Tempurung Kelapa	16
Gambar 5. Proses pembuatan briket tempurung kelapa.....	18
Gambar 6. Tungku pembakaran tradisional	22
Gambar 7. Tungku Pembakaran.....	27
Gambar 8. Wajan	27
Gambar 9. Neraca digital	27
Gambar 10. <i>Stopwatch</i>	28
Gambar 11. Gelas ukur	28
Gambar 12. Termometer digital.....	29
Gambar 13. Wadah.....	29
Gambar 14. Briket arang tempurung kelapa	30
Gambar 15. Air.....	31
Gambar 16. Persiapan Tungku dan lain sebagainya	32
Gambar 17. Penyimpanan Bahan Bakar	32
Gambar 18. Penyetelan Temperatur <i>Oven</i>	33
Gambar 19. Alur pengujian	36
Gambar 20. Susunan bahan bakar di ruang bakar	40
Gambar 21. Pemantik bahan bakar	41
Gambar 22. Posisi termometer	41
Gambar 23. Grafik pengaruh variasi 3 jenis dan massa bahan bakar terhadap daya pemanasan	49
Gambar 24. Bahan Bakar ketika terbakar (a) Tempurung Kelapa, (b) Arang	

Tempurung Kelapa, dan (c) Briket Tempurung Kelapa.....	50
Gambar 25. Grafik pengaruh 3 variasi produk dan massa bahan bakar terhadap bsfc	51
Gambar 26. Grafik pengaruh variasi produk dan massa bahan bakar terhadap efisiensi termal	54
Gambar 27. Asap yang dihasilkan oleh tempurung kelapa.....	55

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Klasifikasi bahan bakar	8
Tabel 2. Komposisi tempurung kelapa dan arang tempurung kelapa	14
Tabel 3. Hasil uji briket tempurung kelapa	19
Tabel 4. Variasi Pengujian	35
Tabel 5. Hasil pengujian tempurung kelapa.....	37
Tabel 6. Hasil pengujian arang tempurung kelapa.....	38
Tabel 7. Hasil pengujian briket tempurung kelapa	38
Tabel 8. Perhitungan daya pemanasan, bsfc dan efisiensi termal dari tungku.....	39

DAFTAR NOTASI

- W_{cv} : Berat air yang menguap (gram)
- P_{ci} : Berat dengan air sebelum pengujian (gram)
- P_{cf} : Berat dengan air setelah pengujian (gram)
- t_{cf} : Waktu akhir pemasakan (detik)
- t_{ci} : Waktu awal pemasakan (detik)
- f_{cm} : Konsumsi bahan bakar (moist) (gram)
- f_{cf} : Berat bahan bakar setelah pengujian (gram)
- f_{ci} : Berat bahan bakar sebelum pengujian (gram)
- f_{cd} : Konsumsi bahan bakar ekuivalen (gram)
- Δc_c : Perubahan menjadi arang (gram)
- m : Kadar kelembaban (%)
- h_c : Efisiensi Termal (%)
- T_{cf} : Temperatur air setelah pengujian ($^{\circ}\text{C}$)
- T_{ci} : Temperatur air sebelum pengujian ($^{\circ}\text{C}$)
- $bsfc$: Brake *Specific Fuel Consumption* (g/kWh)
- Q : Daya Pemanasan (Watt)
- t : Waktu selama proses (detik)

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan akan energi bahan bakar di Indonesia semakin meningkat, baik pada skala industri hingga skala rumah tangga. Meningkatnya kebutuhan bahan bakar dapat meningkatkan eksploitasi besar-besaran terhadap sumber daya alam. Bahan bakar yang umumnya digunakan oleh masyarakat Indonesia merupakan bahan bakar yang berasal dari fosil atau sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Eksploitasi besar-besaran terhadap bahan bakar fosil ini memiliki dampak negatif seperti polusi udara, pemanasan global, hujan asam, pencemaran air dan kerusakan terhadap tanah akibat kegiatan penambangan.

Dampak negatif akibat penambangan ini harus segera diatasi. Salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan menggunakan sumber energi bahan bakar lain yang dapat diperbaharui yaitu energi biomassa. Energi bahan bakar biomassa sampai saat ini belum bisa memenuhi kebutuhan atau belum dapat menggantikan peran energi bahan bakar fosil. Namun, di lain sisi penggunaan energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil mempunyai keuntungan karena dapat dimanfaatkan secara lestari atau dapat diperbaharui, serta tidak menyebabkan polusi udara, dan mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian (Qistina, 2016).

Kebutuhan energi yang kian lama kian meningkat ini didukung oleh hasil penelitian *outlook* energi Indonesia 2019 yang dikeluarkan oleh BPPT menyatakan bahwa selama kurun waktu 2017-2050, kebutuhan energi *final* (tanpa mempertimbangkan kayu bakar) diperkirakan akan meningkat dengan laju pertumbuhan rata-rata 4% per tahun, yaitu 120 juta SBM (Setara Barel Minyak (1 barel senilai dengan 158,99 Liter)) pada tahun 2017 menjadi 435,9 juta SBM pada tahun 2050. Jika dikonversikan 1 SBM bernilai 5,4 GJ (GigaJoule) atau setara dengan 1.289.767,86 kilokalori. Jadi penting untuk memanfaatkan sumber energi biomassa guna mencukupi atau setidaknya turut serta sebagai salah satu sumber energi pada sektor rumah tangga ataupun hingga skala yang lebih besar.

Energi biomassa merupakan sumber energi yang melimpah di Indonesia, sebab Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki iklim sangat cocok untuk berbagai macam tanaman. Biomassa merupakan bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan (Parinduri, 2020). Biomassa sebenarnya sudah lama digunakan oleh orang terdahulu, biasanya energi biomassa ini digunakan secara langsung atau tanpa diolah terlebih dahulu dikarenakan minimnya pengetahuan akan pengolahan biomassa. Sedangkan, pada saat ini sudah banyak cara untuk mengolah biomassa sehingga memiliki nilai guna yang tinggi. Cara pengolahan biomassa atau konversi biomassa menjadi bahan bakar siap pakai adalah dengan cara pembakaran langsung, konversi termokimiawi dan konversi biokimiawi. Contoh energi biomassa yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari adalah limbah pertanian, limbah hutan, tinja, kotoran, ubi, rumput, tanaman dan berbagai macam pohon (Parinduri, 2020).

Tanaman kelapa atau (*Cocos nucifera*) merupakan tanaman yang hampir semua bagiannya memiliki manfaat. Buahnya dapat digunakan untuk bahan baku makanan, air kelapanya dapat digunakan untuk melepas dahaga, sabut dan tempurungnya biasanya digunakan untuk bahan bakar tungku tradisional, batangnya digunakan untuk konstruksi bangunan rumah dan masih banyak

lagi kegunaan dari bagian-bagian tubuh kelapa yang dapat dimanfaatkan (Ningrum, 2017). Kelapa merupakan salah satu hasil perkebunan Indonesia yang merajai pasar dunia. Indonesia merupakan penghasil kelapa terbesar di Asia Tenggara, menurut data dari *Directorate General of Estate* (2018), produksi kelapa mentah pada tahun 2018 di Indonesia mencapai 2.840.148 Ton. Dengan besarnya produksi kelapa di Indonesia akan berdampak positif bagi perekonomian negara, namun di sisi lain besarnya produksi ini akan meningkatkan limbah dari produk kelapa. Sekalipun semua bagian dari kelapa dapat dimanfaatkan tetap saja ada limbah dari hasil pengolahan baik skala rumah tangga hingga industri. Limbah dari hasil pengolahan ini termasuk ke dalam klasifikasi biomassa.

Berdasarkan penelitian Nurhilal (2018), limbah dari kelapa berupa tempurung kelapa dan sabut kelapa dapat dijadikan biobriket dengan perekat molase (tetes tebu) kandungan 10%, menghasilkan nilai kalor sebesar 6.211 kal/g dan telah memenuhi Standar Briket Nasional. Serta memiliki efisiensi pembakaran sebesar 9,861% yang diperoleh dengan pengujian *Water Boiling Test*. Selain limbah tempurung dan sabut kelapa, limbah ampas kelapa parut juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar berupa biopelet. Ampas kelapa parut dipres dengan temperatur yang tinggi untuk dijadikan biopelet. Ketika pengepresan ampas kelapa parut dilakukan dengan temperatur 250°C, 200°C dan 150°C menghasilkan waktu membara yang lama. Lama waktu membara yang dihasilkan dari ampas kelapa parut yang telah diolah menjadi biopelet adalah pada temperatur 250°C dengan waktu rata-rata 118,4 menit (Nisa, 2018).

Sejalan dengan masalah-masalah di atas, peneliti telah mengamati penelitian tentang pemanfaatan biomassa berupa tempurung kelapa yang digunakan sebagai bahan bakar pada tungku tradisional. Namun tidak hanya sampai disana, peneliti juga menggunakan sampel tempurung kelapa yang telah diolah menjadi arang tempurung kelapa dan briket tempurung kelapa sebagai pembandingnya. Kemudian akan diamati pengaruh dari masing-masing

variasi bahan bakar dan massa tersebut terhadap efisiensi termal serta daya pemanasan dari tungku tersebut. Pada penelitian ini tungku pembakaran yang digunakan oleh penulis adalah tungku dari Tugas Akhir Ryan Rusdi Wijayanto.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi produk bahan bakar berupa tempurung kelapa, arang tempurung kelapa dan briket tempurung kelapa terhadap efisiensi termal dan daya pemanasan.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi massa bahan bakar 2 kg, 3 kg, dan 4 kg pada setiap produk bahan bakar terhadap efisiensi termal dan daya pemanasan.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang menjadi acuan dari proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tungku pembakaran menggunakan tungku tradisional yang dirancang pada tugas akhir saudara Ryan Rusdi Wijayanto.
2. Bahan bakar berupa tempurung kelapa, arang tempurung kelapa dan briket tempurung kelapa menggunakan sampel yang sudah ada dipasaran.
3. Pengujian dan pengambilan data menggunakan Metode *Water Boiling Test* (WBT).
4. Variasi massa bahan bakar yang akan digunakan dalam pengujian ini adalah 2 kg, 3 kg dan 4 kg.
5. Pengambilan data dilakukan pada pagi dan sore hari guna mengurangi pengaruh dari lingkungan di sekitar tungku (dapat diabaikan).

D. Sistematika Penulisan Laporan

Adapun sistematika penulisan pada laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

I. PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang penulis membuat skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi Produk Bahan Bakar Tempurung Kelapa Dan Massa Bahan Bakar Terhadap Efisiensi Termal Dan Daya Pemanasan Tungku Pembakaran Bata Api” beserta tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan laporan skripsi ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang landasan-landasan teori yang mendukung penelitian ini seperti Pengertian Bahan Bakar, Biomassa, Tempurung Kelapa, Arang, Briket Serta Teori Pembakaran.

III. METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang tempat penelitian, alat dan bahan, serta langkah-langkah dalam proses penelitian yaitu dari persiapan alat dan bahan, penyimpanan bahan, prosedur pengujian WBT beserta alur pengujian, rencana anggaran biaya dan waktu penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan tentang hasil dari penelitian dan pembahasan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

V. PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dari pembahasan penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Pada bagian ini berisi tentang sumber referensi yang digunakan oleh penulis dalam melakukan penelitian.

LAMPIRAN

Pada bagian ini berisi tentang data pelengkap seperti gambar dan beberapa data pendukung untuk menunjang laporan penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Bahan Bakar

Bensin, solar, gas LPG dan batubara merupakan contoh dari bahan bakar yang sering kita temui dalam kehidupan sehari-hari. Bahan bakar merupakan sumber energi yang dapat menghasilkan energi panas. Bahan bakar biasanya digunakan dalam kehidupan sehari-hari untuk menghidupkan mesin, misalnya pada kendaraan bermotor, kompor, mesin industri dan mesin pembangkit listrik. Bahan bakar adalah bahan atau material apapun yang bisa diubah menjadi energi. Bahan bakar mengandung energi panas yang dapat dilepaskan jika dioksidasikan atau dibakar (Maridjo, 2019).

Bahan bakar dapat diklasifikasikan secara luas menjadi 2 jenis yaitu menurut sifat fisiknya atau wujudnya dan menurut sumbernya. Namun, klasifikasi ini tidak menggambarkan kemampuan atau kualitas dari bahan bakar tersebut. Kualitas disini memiliki makna kemampuan untuk mengembangkan intensitas panas dalam penggunaan normal. Penggunaan normal bahan bakar itu dapat terjadi ketika adanya reaksi pembakaran antara campuran bahan bakar dengan udara atmosfer untuk menghasilkan energi lain misalnya energi kinetik dan translasi. Bahan bakar alami adalah bahan bakar mentah atau bahan bakar yang belum diolah menjadi bahan bakar yang memiliki nilai termal yang lebih baik. Sementara bahan bakar buatan atau bahan bakar yang telah diolah serta memiliki kelebihan yaitu mempunyai nilai energi lebih

besar ketimbang yang belum diolah terlebih dahulu. Adapun klasifikasi dari bahan bakar adalah seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi bahan bakar

Bahan Bakar Alami	Bahan Bakar Buatan (<i>Manufacture</i>)
Bahan Bakar Padat	
Kayu Batok kelapa Minyak Serpih (<i>Oil Shale</i>)	Jerami Arang Briket
Bahan Bakar Cair	
Minyak Bumi (mentah) / <i>Petroleum</i>	Minyak dari penyulingan minyak bumi Tar Batubara <i>Alcohol</i> , dan lain sebagainya
Bahan Bakar Gas	
Gas Alam	Gas Batubara Hidrogen <i>Acetylene</i> , dan lain sebagainya

Sumber : Markides, 2021

Bahan bakar juga dapat di bagi kembali menjadi 2 bagian yaitu yang dapat di perbaharui dan tidak dapat di perbaharui. Bahan bakar yang tidak dapat di perbaharui biasanya terbuat dari fosil, sementara bahan bakar yang dapat di perbaharui terbuat dari bahan organik atau biomassa serta sumber-sumber lain yang sifatnya dapat diperbaharui. Namun, bahan bakar fosil lebih di minati karena mudah dalam pemakaian, sudah teruji, memiliki tingkat efisiensi yang relatif tinggi. Sementara bahan bakar dari biomassa memiliki kelemahan seperti, memiliki proses relatif lebih panjang dalam pengoperasiannya, memiliki efisiensi rendah dan masih sedikitnya varian pilihan untuk penggunaannya. Contohnya seperti penggunaan gas (bahan bakar tidak dapat

diperbaharui) dalam kegiatan rumah tangga lebih mudah atau praktis dalam penggunaannya serta lebih cepat menghasilkan energi panas di bandingkan dengan kayu (bahan bakar dapat diperbaharui) yangmana masih perlu dinyalakan dengan cara yang relatif tidak praktis dan panas yang dihasilkan membutuhkan waktu yang lebih lama.

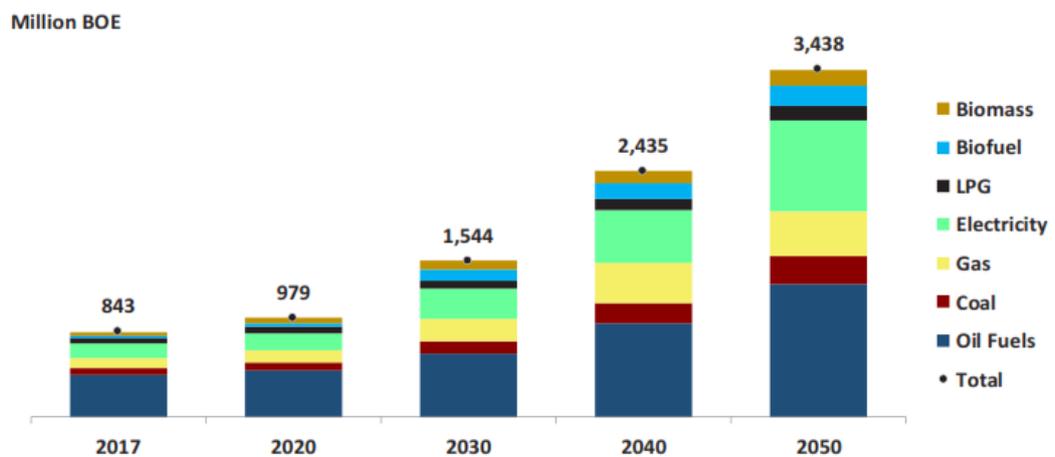
Bahan bakar fosil memang memiliki banyak keuntungan seperti yang sudah dijelaskan di atas. Namun, bahan bakar fosil juga memiliki beberapa kelemahan. Adapun kelemahan dari bahan bakar fosil adalah sebagai berikut (Harjanto, 2008):

1. Menghasilkan polusi udara yakni CO₂, SO₂, NO_x, dan lain sebagainya.
2. Pemanasan global.
3. Perubahan cuaca yang ekstrim.
4. Pencemaran terhadap tanah dan air.
5. Hujan asam.

Sementara itu bahan bakar yang dapat diperbaharui memiliki keuntungan seperti tidak menghasilkan polusi udara, berkurangnya limbah organik yang tidak terpakai, memaksimalkan potensi pertanian dan perhutanan serta tidak merusak tanah karena tidak adanya kegiatan tambang. Bahan bakar yang dapat diperbaharui sebenarnya memiliki potensi yang cukup besar untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari sampai skala industri. Walaupun sudah banyak penelitian tentang pemanfaatan bahan bakar yang dapat diperbaharui ini dikembangkan, namun belum adanya keseriusan untuk mengolahnya menjadi bahan siap pakai nan praktis yang membuat bahan bakar ini sedikit peminatnya. Pengembangan bahan bakar yang ada pada masa sekarang ini hanya sebatas *hybrid* atau masih campuran antara bahan bakar fosil dan bahan bakar biomassa seperti solar dengan minyak kelapa sawit menjadi (Biosolar).

Kebutuhan akan energi bahan bakar semakin lama semakin meningkat dikarenakan meningkatnya jumlah penduduk, meningkatnya pendapatan tiap orang dan pengaruh dari kebijakan yang dibuat oleh pemerintah. Mengacu

pada grafik kebutuhan energi per jenis dibawah ini, pemanfaatan dari energi baru terbarukan seperti biomassa masih kecil. Dapat dilihat bahwa kebutuhan energi keseluruhan 979 *Million Barrels Oil Equivalent* (BOE) atau setara 979 juta barrel minyak, dan diperkirakan akan terus meningkat tiap tahunnya. Maka perlu adanya keseriusan dalam mengolah atau memaksimalkan potensi biomassa yang ada, supaya kedepannya tidak kewalahan dalam memenuhi kebutuhan energi bahan bakar yang masih bertumpu pada sektor energi fosil.



Gambar 1. Grafik kebutuhan energi per jenis

(Sugiyono, 2019)

B. Biomassa

Biomassa merupakan sebuah produk energi alternatif yang berasal dari semua yang berfotosintesis. Potensi energi biomassa di Indonesia sangatlah besar, sebab Indonesia adalah negara yang memiliki kekayaan alam berupa flora yang melimpah. Biomassa biasanya merupakan produk dari sektor pertanian, peternakan dan perkebunan.

1. Pengertian Biomassa

Menurut Arhamsyah (2010) Biomassa merupakan bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa adalah kayu, pohon, buah, daun, hingga

limbah pertanian, perkebunan dan perhutanan. Pemanfaatan biomassa di Indonesia sebenarnya sudah ada sejak dulu, contohnya seperti kegiatan memasak menggunakan kayu dan kegiatan memanggang sate dengan menggunakan arang. Hal ini didukung oleh melimpahnya ketersediaan biomassa di area lingkungan tempat tinggal masyarakat. Dengan ketersediaan biomassa yang melimpah kita dapat menekan kebutuhan energi fosil. Sehingga, pencemaran yang diakibatkan oleh sisa pembakaran bahan bakar fosil dapat berkurang. Dapat pula menekan anggaran untuk proses kegiatan penambangan, pengolahan, penggunaan, dan pemanfaatan energi fosil, karena energi biomassa relatif murah dalam kegiatan pemakaiannya.

2. Proses konversi biomassa

Biomassa sebelum digunakan, biasanya diolah terlebih dahulu menjadi 3 wujud, yaitu padat cair dan gas. Biomassa berwujud padat misalnya arang, briket, *biochar*. Biomassa berwujud cair misalnya bioethanol, biodiesel, minyak goreng dan methanol. Biomassa berwujud gas misalnya metana, methanol dan biogas. Biomassa yang telah dikonversi atau diolah akan meningkatkan kualitas dari bahan bakar biomassa tersebut. Biomassa yang belum diolah pun tetap bisa digunakan, namun tentu saja energi yang dihasilkan tidak akan semaksimal jika diolah terlebih dahulu. Biomassa biasanya diolah dengan teknik konversi, sehingga dapat mengubah kualitas dari biomassa supaya menjadi produk yang dapat dimanfaatkan sesuai dengan kebutuhan.

Adapun teknik konversi biomassa dapat dibagi menjadi 3 yaitu (Yokoyama, 2008) :

a. Konversi fisika

Konversi fisika merupakan teknik yang digunakan pada tahap awal atau pendahuluan. Konversi fisika bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan dengan cara menggerus, menggerinda dan hal lainnya

untuk mengurai struktur biomasanya, sehingga proses selanjutnya kimia, termal dan biologi dapat di percepat.

b. Konversi kimia

Konversi kimia biasanya meliputi karbonasi, pirolisis, pembakaran, reaksi hidrotermal guna menguraikan biomassa, dan sintesis, hidrogenisasi, polimerisasi untuk membangun molekul baru atau pembentukan kembali biomassa.

c. Konversi biologi

Konversi biologi biasanya terdiri dari proses fermentasi seperti fermentasi etanol, fermentasi metana, fermentasi hidrogen. Aplikasi proses fotolisis dan fotosintesis berguna untuk memperbaiki sistem biomassa menjadi lebih baik.

C. Tempurung Kelapa

Kelapa (*Cocos Nucifera*) merupakan salah satu tanaman yang memiliki banyak kegunaan dalam kehidupan masyarakat, khususnya untuk masyarakat Indonesia. Tumbuhan kelapa sering dimanfaatkan untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan minyak goreng. Selain itu, kelapa juga dapat dimanfaatkan sebagai pelengkap bumbu masak, pelepas dahaga dan sebagai bahan konstruksi rumah. Tumbuhan Kelapa tergolong dalam marga *Cocos* dari suku palem-paleman atau *Arecaceae*. Tumbuhan ini diperkirakan berasal dari pesisir Samudera Hindia di sisi Asia, dan kini menyebar luas di seluruh pantai Dunia (Winarno, 2014).

Pada tahun 2010 total luas areal tanaman kelapa di Indonesia adalah 3.739,35 ribu ha. Areal ini didominasi oleh perkebunan rakyat seluas 3.697,03 ribu ha (98,87%), perkebunan besar negara seluas 4,29 ribu ha (0,11%) dan perkebunan besar swasta seluas 38,02 ribu ha (1,02%). Total produksi yang dihasilkan sebesar 3.166,6 ribu ton setara kopra (daging kelapa yang sudah kering), dengan rinciannya meliputi perkebunan rakyat sebesar 3.126 ribu ton

(98,73%), perkebunan besar negara sebesar 1,8 ribu ton (0,06%) dan perkebunan besar swasta sebesar 38,47 ribu ton (1,22%) (Dirjenbun, 2012).

Dari data diatas dapat diketahui bahwa Indonesia memiliki volume produksi yang besar. Sebab, wilayahnya yang digunakan sebagai lahan perkebunan kelapa cukup besar. Dengan demikian, semakin besar produksi kelapa maka semakin besar pula limbah kelapa yang dihasilkan. Limbah kelapa tidak sepenuhnya jelek, karena limbah kelapa memiliki potensi yang cukup baik untuk dimanfaatkan. Salah satu limbah kelapa yang sering dijumpai adalah tempurung kelapa. Tempurung kelapa termasuk kedalam kayu keras dengan ketebalan 3-5 mm, dan memiliki kadar air berkisar 9 – 10%. Secara kimiawi kandungan dari tempurung kelapa adalah *lignin* (33,61%), *cellulose* (19,27%) dan *hemicelluloses* (36,51%).



Gambar 2. Tempurung Kelapa

D. Arang Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa memiliki energi kalor alami yang terkandung di dalamnya. Energi kalor atau termal ini dapat ditingkatkan dengan cara memberi perlakuan terhadap tempurung kelapa sebelum digunakan. Salah satu cara yang biasa digunakan adalah dengan membuatnya menjadi arang tempurung kelapa. Proses pengarangan akan membuat kandungan karbon serta abu meningkat, sementara kandungan air akan berkurang drastis. Arang

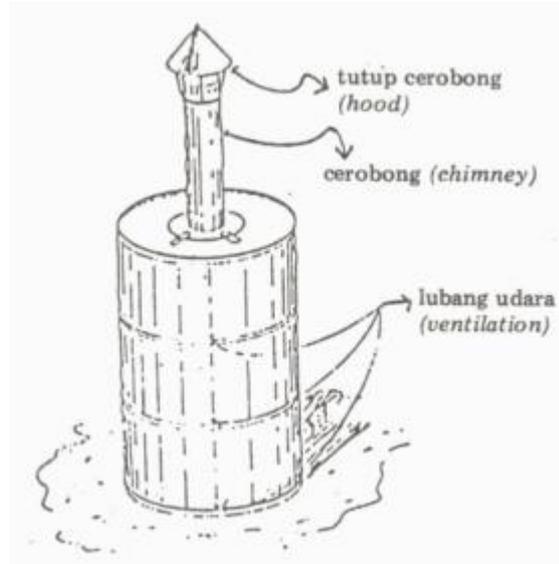
tempurung kelapa memiliki kandungan karbon yang besar sehingga sangat cocok untuk dijadikan bahan bakar. Adapun komposisi peningkatan kandungan karbon pada arang tempurung kelapa dapat dilihat pada Tabel 2. Selain digunakan sebagai bahan bakar arang tempurung kelapa juga dapat digunakan sebagai absorben atau penyerap material pengotor yang terdapat didalam air (Nustini, 2019).

Tabel 2. Komposisi tempurung kelapa dan arang tempurung kelapa

Bahan	Komponen	Kandungan (%)	Sifat termal (kJ/kg)
Tempurung Kelapa	<i>Moisture</i>	10,46	18,388
	<i>Volatile</i>	67,67	
	<i>Karbon</i>	18,29	
	<i>Abu</i>	3,58	
Arang tempurung kelapa	<i>Volatile</i>	10,60	30,750
	<i>Karbon</i>	76,32	
	<i>Abu</i>	13,08	

Sumber : Budi, 2011

Menurut Tirono (2011) menyatakan bahwa arang tempurung kelapa adalah arang yang dibuat dengan cara dikarbonisasi dari tempurung atau batok kelapa. Tempurung kelapa memiliki kandungan karbohidrat yang sangat kompleks, jika dipanaskan atau dibakar akan mengakibatkan rentetan reaksi secara termal serta menimbulkan panas sebagai hasil peruraian dari bermacam-macam struktur molekul. Pada temperatur 275°C, lingo selulosa tempurung kelapa mulai melepaskan H₂O dan gas CO₂, selain itu juga terbentuk arang dan metana (BPPI, 1983). Temperatur pada saat proses pengarangan akan berpengaruh terhadap kualitas dari arang, maka dengan mendapat temperatur yang tepat akan meningkatkan kualitas dari produk arang tersebut.



Gambar 3. *Kiln Drum*

Arang tempurung kelapa dapat dibuat dengan cara yang cukup sederhana. Biasanya pada proses pembuatan arang memerlukan drum sebagai tempat pengolahan dari tempurung kelapa, drum ini disebut *kiln drum*. Drum ini memiliki bentuk bagian badan yang mana salah satu ujungnya terbuka, kemudian terdapat penutup, cerobong untuk keluarnya udara, dan lubang udara pada bagian badan drum seperti yang tampak pada Gambar 3.

Menurut Budi (2011) menjelaskan runtutan proses pembuatan arang tempurung kelapa dari awal hingga akhir. Adapun proses pembuatan arang kelapa secara sederhana adalah sebagai berikut :

1. Membersihkan tempurung kelapa (tempurung yang digunakan sebaiknya tidak terlalu muda dan tidak terlalu tua)
2. Memasukkan ke dalam drum
3. Meletakkan kayu pada bagian tengah drum
4. Menata satu per satu tempurung supaya terbakar merata.
5. Setelah tersusun rapi keluarkan kayu yang ada dibagian tengah drum
6. Ruang tengah tadi berguna sebagai ruang pembakaran.
7. Pembakaran dilakukan dengan membakar daun-daunan kering, kertas, kayu atau percikan bahan bakar lain.

8. Ketika api menyala dengan baik, tutup drum dan beri cerobong asap guna mengeluarkan asap dari dalam drum
9. Jika asap sudah keluar dan berwarna kebiru-biruan maka proses pembakaran sudah selesai
10. Tutup cerobong asap tadi supaya arang tidak berubah menjadi abu, dan diamkan selama 6 jam.
11. Tahap terakhir adalah menyortir arang yang akan digunakan sesuai dengan kebutuhan, sebab tidak semua tempurung menjadi arang.



Gambar 4. Arang Tempurung Kelapa

Pada penelitian Hadi (2011) pembuatan arang tempurung kelapa dimodifikasi sedikit menggunakan drum dengan suplai udara terkendali. Hasilnya cukup memuaskan dengan meningkatnya kualitas arang dibandingkan dengan cara biasa (drum tanpa modifikasi) serta meningkatnya kapasitas produksinya. Tempurung kelapa akan mengalami perubahan kandungan pada saat diubah menjadi arang tempurung kelapa. Kandungan *volatile* (zat terbang) pada arang tempurung kelapa (10,60%) menurun dibandingkan dengan tempurung kelapa (67,67%). Kandungan karbon didalam arang meningkat dari 67% menjadi 76%. Dengan perubahan tersebut membuat sifat termal arang meningkat dari semula 18.833 kJ/kg menjadi 30.750 kJ/kg (Budi, 2011).

Arang tempurung kelapa sering digunakan oleh masyarakat untuk pembuatan olahan makanan dengan sistem dibakar. Sebab, makanan yang dibakar menggunakan arang akan mengeluarkan cita rasa yang lezat dibandingkan dengan bahan bakar lain. Selain itu, bahan bakar berbentuk arang tempurung kelapa memiliki beberapa kelebihan dibanding tempurung kelapa biasa. Adapun kelebihanannya adalah :

1. Memiliki kandungan panas yang relatif lebih tinggi, sebab kandungan nilai karbonnya yang lebih tinggi dibandingkan dengan tempurung kelapa.
2. Memiliki temperatur panas (termal) yang *constant* atau tidak mudah berubah-ubah.
3. Tidak mengandung banyak asap ketika digunakan.
4. Mampu menghasilkan panas lebih lama.
5. Dan lain sebagainya.

E. Briket Arang Tempurung Kelapa

Penggunaan tempurung kelapa dengan dibakar secara langsung pada tungku tradisional memiliki kelemahan. Salah satunya adalah kecilnya efisiensi dari potensi termal yang terkandung didalamnya, sebab masih tingginya kandungan air yang ada didalamnya. Maka dari itu orang-orang mulai mengolah tempurung kelapa menjadi arang kelapa dengan proses karbonisasi atau proses pengarangan. Arang tempurung kelapa memiliki nilai kalor yang lebih besar dari tempurung kelapa biasa. Kerapatan suatu zat atau massa jenis dapat mempengaruhi nilai kalor suatu bahan bakar. Nilai kalor bahan bakar akan mempengaruhi laju pembakaran pada proses pembakaran. Semakin tinggi nilai kalor suatu bahan bakar, maka semakin lambat laju pembakaran pada proses pembakaran. Ketika arang tempurung kelapa yang memiliki nilai kalor yang sudah cukup tinggi, dapat ditingkatkan lagi dengan cara dimampatkan atau ditekan (*press*) guna lebih merapatkan tiap molekul dari bahan bakar tersebut. Kegiatan ini biasa disebut dengan proses pembuatan

briket arang tempurung kelapa, adapun proses pembuatan briket arang tempurung kelapa yang lebih rinci adalah sebagai berikut :

1. Mengarangkan terlebih dahulu tempurung kelapa
2. Kemudian arang tempurung kelapa yang sudah jadi dihaluskan menjadi butiran-butiran kecil.
3. Serbuk arang dicampur menggunakan perekat (lem) dengan perbandingan 90% arang dan 10% perekat.
4. Campuran arang dan perekat dimasukkan ke cetakan briket.
5. Setelah itu, dimampatkan (*press*) menggunakan mesin *press* sehingga arang menjadi lebih padat.
6. Terakhir, jemur arang yang sudah dimampatkan di bawah sinar matahari sampai kering sehingga terbentuklah yang namanya briket arang.



Gambar 5. Proses pembuatan briket tempurung kelapa

Menurut Wikipedia, Briket adalah sebuah blok bahan yang dapat dibakar yang digunakan sebagai bahan bakar untuk memulai dan mempertahankan nyala api. Sedangkan menurut Fields (2017) Briket adalah semacam kumpulan debu, batang, dan sisa-sisa limbah yang ukurannya kecil dari tumbuhan yang dikompres menjadi bentuk biasa dengan atau tanpa pengikat. Pada kehidupan sehari-hari briket yang biasa dijumpai adalah briket arang, briket batubara dan briket biomassa. Sesuai dengan namanya, briket arang adalah briket yang bahan dasarnya biomassa yang telah diarangkan kemudian ditekan dengan tekanan tertentu sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Briket batubara adalah briket yang bahan dasarnya batubara yang dipadatkan dengan

proses penekanan sesuai dengan standar penekanan dari briket batubara itu sendiri. Briket biomassa adalah briket yang bahan dasarnya biomassa itu sendiri yang kemudian dihaluskan dan dipadatkan dengan tekanan tertentu. Hal ini membuat briket biomassa mirip dengan briket arang, namun perbedaan yang mendasar adalah jika briket arang biomassanya diarangkan sementara briket biomassa tidak perlu diarangkan.

Bahan bakar briket arang tempurung kelapa sudah memiliki nilai ekonomis yang tinggi dan kualitasnya juga sudah baik. Dengan perkembangan teknologi pada saat ini mendorong berbagai macam inovasi, termasuk pada pengolahan briket arang tempurung kelapa. Pada penelitian sebelumnya, dibuat briket dengan campuran tempurung kelapa dan serbuk gergaji kayu sengon, dari hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa semakin banyak kandungan tempurung kelapa pada briket tersebut akan menghasilkan kalor yang lebih tinggi. Sebab, serbuk gergaji sengon memiliki nilai kalor yang rendah dan semakin banyak kandungan perekat pada briket tersebut maka semakin kecil juga nilai kalor yang dihasilkan (Anggoro, 2017).

Tabel 3. Hasil uji briket tempurung kelapa

<i>Parameter</i>	<i>Unit</i>	<i>Results</i>	<i>Method</i>
<i>Total Moisture</i>	%, ar	7.2	ASTM D. 3302-15
<i>Proximate Analysis :</i>			
- <i>Moisture in Analysis</i>	%, adb	6.5	ASTM D.3173-11
- <i>Ash Content</i>	%, adb	2.8	ASTM D.3174-12
- <i>Volatile Matter</i>	%, adb	15.5	ISO 562-2010
- <i>Fixed Carbon</i>	%, adb	75.2	ASTM D. 3172-13
<i>Total Sulfur</i>	%, adb	0.02	ASTM D. 4239-14
<i>Gross Calorific Value</i>	Kcal/kg, adb	7,007	ASTM D. 5865-13
<i>Bulk Density</i>	g/cc	1.107	ASTM D. 291-13

Sumber : Sucofindo, 2016

Pada penelitian ini penulis menggunakan briket arang tempurung kelapa yang sudah tersedia di pasaran. Briket arang tempurung kelapa ini telah mendapatkan sertifikasi dari *Sucofindo*, dengan demikian data yang di

terbitkan dapat digunakan pada penelitian ini. Total moisture diukur dengan presentasi *As Receive* (AR) yang memperlihatkan sampel yang diukur dalam keadaan sebenarnya. Hasil *inherent moisture*, kadar abu, zat terbang, karbon tertambat, total sulfur dan nilai kalori pada penelitian ini dalam presentasi *Air Dried Basis* (ADB) yang menandakan kelembaban sampel sama dengan kelembaban udara sekitar. Adapun hasil uji dari briket tempurung kelapa adalah seperti Tabel 3.

F. Teori Pembakaran

Pembakaran menurut teori adalah reaksi kimia yang cepat antara oksigen dengan bahan yang dapat terbakar, disertai timbulnya cahaya serta menghasilkan energi (panas). Pembakaran bisa terjadi akibat bahan bakar yang memiliki kandungan unsur yang mudah terbakar yaitu Karbon, Hidrogen dan Sulfur (belerang). Namun, yang memiliki pengaruh signifikan dalam reaksi pembakaran adalah unsur Karbon dan Hidrogen. Selain pengaruh dari unsur tersebut, pada reaksi pembakaran banyak atau sedikitnya bahan bakar pada jumlah udara tertentu memiliki pengaruh yang dapat mengakibatkan tidak terbakarnya bahan bakar dan terbentuknya karbon monoksida. Jumlah oksigen yang diperlukan untuk proses pembakaran sempurna serta tambahan udara berlebih diperlukan untuk menjamin terjadinya reaksi pembakaran sempurna. Walau demikian, terlalu banyak suplai udara berlebih akan mengakibatkan kehilangan panas dan efisiensi (Budianto, 2009).

Pada umumnya, proses pembakaran terdiri dari dua macam yaitu pembakaran sempurna dan pembakaran tidak sempurna. Pembakaran sempurna adalah pembakaran yang seluruh unsur C (Karbon) yang bereaksi dengan O (oksigen) menghasilkan CO_2 dan seluruh unsur H (Hidrogen) menghasilkan H_2O serta seluruh unsur S (Sulfur) menghasilkan SO_2 . Pembakaran tidak sempurna adalah pembakaran yang tidak seluruh hasil dari unsur C (Karbon)

yang bereaksi dengan O (Oksigen) menjadi CO₂, ketika hasil dari reaksi pembakaran mengandung CO (Karbon Monoksida) maka menunjukkan bahwa terjadi pembakaran yang tidak sempurna. Pada proses pembakaran, kandungan bahan bakar akan mempengaruhi panas yang dihasilkan. Setiap bahan bakar memiliki nilai kalor yang tersimpan didalamnya. Menurut Koesmadinata (1980), nilai kalor bahan bakar adalah jumlah panas yang dihasilkan atau ditimbulkan oleh suatu gram bahan bakar tersebut dengan meningkatkan temperatur 1 gr air dari 3,50 C – 4,50 C, dengan satuan kalori.

Jumlah energi yang dilepaskan pada proses pembakaran dinyatakan sebagai entalpi pembakaran yang merupakan beda entalpi antara produk dan reaktan dari proses pembakaran sempurna. Entalpi pembakaran ini dapat dinyatakan sebagai *Higher Heating Value* (HHV) atau *Lower Heating Value* (LHV). HHV diperoleh dengan memperhitungkan nilai pembakaran yang mana pengembunan air dianggap sebagai panas dari proses pembakaran, sedangkan LHV diperoleh dengan memperhitungkan nilai pembakaran hanya ketika seluruh air hasil pembakaran dalam bentuk uap (pengembunan air tidak ikut diperhitungkan).

G. Tungku Pembakaran Tradisional

Tungku adalah alat yang dirancang untuk tempat terjadinya pembakaran agar bahan bakar dapat digunakan untuk memanaskan sesuatu. Bahan dasar dalam pembuatan tungku tradisional adalah bata tahan api, supaya panas yang terjadi pada saat pembakaran tidak hilang atau terbuang serta dapat diarahkan sesuai dengan rancangannya. Tungku ini biasa ditemukan atau digunakan oleh rumah tangga yang mayoritas di pedesaan karena persediaan kayu atau bahan bakar sejenis masih mudah ditemui serta pada sektor industri tahu, gula aren, bata merah, tembikar dan lain-lain. Tungku pemasak tradisional menggunakan bahan bakar seperti kayu bakar, arang kayu, serabut kelapa,

sekam padi dan lain-lain. Tungku pemasak besar biasa dikenal sebagai pawon yang biasanya memiliki 2 sampai 3 lubang pemasak (Adan, 1998). Tungku pembakaran tradisional memiliki efisiensi yang terbilang rendah, yaitu sebesar 5-10% (Robith, 2004). Untuk meningkatkan efisiensi dari tungku, dilakukan perancangan ulang menjadi tungku tanah liat berdaya sedang. Kemudian setelah pembuatan tungku tanah liat berdaya sedang, dilakukan pengujian efisiensi dengan menggunakan Metode *Water Boilling Test*. Hasil dari pengujian tersebut menyatakan adanya peningkatan efisiensi dari tungku tersebut menjadi 23% (Budianto, 2015).



Gambar 6. Tungku pembakaran tradisional

H. Metode *Water Boilling Test*

Perhitungan kinerja tungku dapat diperoleh dengan menggunakan banyak metode, salah satu metode tersebut adalah Metode *Water Boilling Test*. Metode WBT ini merupakan metode kasar yang menggambarkan keadaan tungku seperti yang ada dilapangan. Pengertian dari Metode *Water Boilling Test* (WBT) adalah suatu metode pengujian unjuk kerja dengan cara mendidihkan air yang berada dalam wajan atau panci, dengan tujuan untuk mengetahui jumlah energi yang dihasilkan oleh bahan bakar yang ditransfer menuju wajan atau panci selama proses pembakaran (Subekti, 2012).

Metode ini dapat dibagi menjadi 3 bagian penting yaitu pengujian WBT *start* dingin, pengujian WBT *start* panas dan pengujian WBT *simmering* yaitu sebagai berikut (Subekti, 2012):

1. Metode WBT *start* dingin yaitu pengujian yang dilakukan pada saat kompor atau tungku dalam keadaan dingin, kemudian isi air kedalam wadah lalu dipanaskan hingga airnya mendidih, setelah air mendidih tungku dimatikan dan catat waktu yang digunakan dari awal hingga air mendidih, massa air yang telah diuapkan dan jumlah bahan bakar yang masih tersisa.
2. Metode WBT *start* panas yaitu pengujian yang hampir mirip dengan metode WBT *start* dingin, namun perbedaannya adalah pengujian dilakukan pada saat kompor atau tungku dalam keadaan panas.
3. Metode *simmering* yaitu metode pengujian yang dilakukan dengan menjaga temperatur air yang telah mendidih hingga *constant* selama 45 menit, dan toleransi perubahan temperaturnya adalah 3°C saat keadaan mendidih. Kemudian mencatat waktu untuk mendidih air tersebut, menghitung massa air yang diuapkan, temperatur air setelah mendidih dan bahan bakar tersisa.

Setelah didapatkan nilai data dari metode diatas, maka dapat dilanjutkan ke perhitungan guna mendapatkan nilai efisiensi termalnya. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut (Bailis, 2007) :

1. *Moisture content*

Merupakan kadar kelembaban dari bahan bakar dan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Bailis, 2007):

$$m = \frac{w-d}{(d)} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

2. *Water vaporized* (kandungan air yang menguap)

Persamaan ini berguna untuk mengetahui kandungan air yang menguap, didapat dengan cara berat awal dari air dikurangi berat akhir ketika sudah selesai (Baillis, 2007).

$$W_{cv} = P_{ci} - P_{cf} \dots\dots\dots(2)$$

3. *Fuel consumed* (f_{cm})

Persamaan ini digunakan untuk mengetahui seberapa banyak bahan bakar yang digunakan untuk mendidihkan air dengan cara selisih dari bahan bakar awal dikurangi bahan bakar yang tersisa setelah pengujian (Baillis, 2007).

$$f_{cm} = f_{cf} - f_{ci} \dots\dots\dots(3)$$

4. Waktu pemasakan (t)

Persamaan yang digunakan untuk mengetahui lama dari waktu pemasakan dengan selisih antara waktu akhir pemasakan dikurangi waktu awal pemasakan (Bailis, 2007).

$$t = t_{cf} - t_{ci} \dots\dots\dots(4)$$

5. Perubahan menjadi arang (Δc_c)

Persamaan yang digunakan untuk mengetahui perubahan bahan bakar yang menjadi arang, dengan arang hasil pembakaran dikurangi dengan berat tempat arang (Bailis, 2007).

$$\Delta c_c = c_c - k \dots\dots\dots(5)$$

6. Konsumsi bahan bakar kering ekuivalen (*Equivalent dry fuel consumed*)

Merupakan perhitungan yang menyesuaikan jumlah kayu yang dibakar untuk memperhitungkan dua faktor (Bailis, 2007):

- a. Energi yang digunakan untuk menghilangkan kelembaban dari bahan bakar
- b. Jumlah arang yang tersisa karena tidak terbakar.

Adapun rumus persamaan dari *equivalent dry fuel consumed* adalah sebagai berikut (Bailis, 2007):

$$f_{cd} = f_{cm} \times (1 - (1.12 \times m)) - 1.5 \times \Delta c_c \dots\dots\dots(6)$$

7. Efisiensi thermal

Merupakan rasio atau perbandingan dari pekerjaan yang dilakukan untuk memanaskan dan menguapkan air dengan energi yang dikonsumsi untuk membakar bahan bakar. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut (Bailis, 2007) :

$$h_c = \frac{(4.186 \times (P_{ci}-P) \times (t_{cf}-t_{ci}) + 2260 \times (W_{cf}))}{f_{cd} \times LHV} \dots\dots\dots(7)$$

8. Brake specific fuel consumption (bsfc)

Merupakan laju bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan suatu daya. Bsfc juga menjadi parameter tingkat efisiensi dari penggunaan bahan bakar. Semakin kecil angkanya berarti semakin baik (Bailis, 2007).

$$bsfc = \frac{(f_{cd} \div t) \times 3600}{\dot{Q} \div 1000} \dots\dots\dots(8)$$

9. Daya pemanas

Besarnya energi yang dihasilkan dalam waktu tertentu untuk satu kali siklus WBT (Bailis, 2007).

$$\dot{Q} = \frac{(4.186 \times (P_{ci}-P) \times (t_{cf}-t_{ci}) + 2260 \times (W_{cf}))}{t \times 60} \dots\dots\dots(9)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Adapun tempat dan waktu penelitian dilaksanakan yang telah di rencanakan adalah sebagai berikut :

1. Tempat penelitian

Pengambilan data dan penelitian dilakukan di samping Sekretariat HIMA Teknik Mesin Universitas Lampung sebagai lokasi tungku bata api.

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari minggu awal bulan Juni.

B. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Alat

Adapun alat yang digunakan adalah sebagai berikut ini :

- a. Tungku pembakaran

Tungku pembakaran yang digunakan pada pengujian kali ini merupakan jenis tungku tradisional yangmana bahan bakarnya adalah bahan bakar padat, pengambilan data menggunakan metode WBT. Tungku tersebut terbuat dari bata api yang sangat baik untuk digunakan sebagai media yang menahan panas supaya tidak banyak terbuang percuma.



Gambar 7. Tungku Pembakaran

b. Wajan

Wajan yang digunakan sebagai wadah dari air yang akan dipanaskan untuk mengambil data yang diperlukan dengan menggunakan metode WBT.



Gambar 8. Wajan

c. Neraca digital (timbangan)

Neraca digital digunakan untuk mengukur massa dari bahan bakar dan air sebelum dan sesudah pelaksanaan pengujian.



Gambar 9. Neraca digital

d. *Stopwatch*

Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu selama pengujian WBT berlangsung.



Gambar 10. *Stopwatch*

e. Gelas ukur

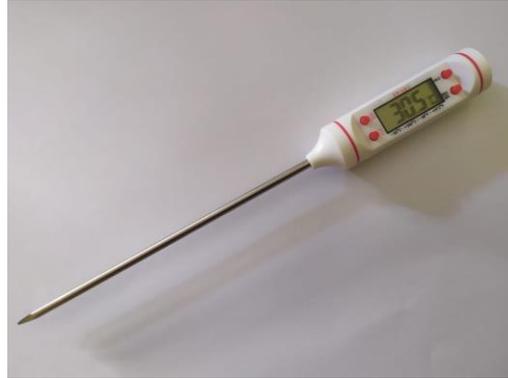
Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume air dan media untuk mengambil air sebelum diletakkan di wajan untuk pengujian WBT.



Gambar 11. Gelas ukur

f. Termometer digital

Termometer digital digunakan untuk mengukur temperatur air pada saat proses pengujian WBT berlangsung.



Gambar 12. Termometer digital

g. Wadah

Wadah digunakan sebagai media untuk meletakkan bahan bakar padatan sebelum dan sesudah pengujian untuk diukur menggunakan neraca atau timbangan digital.



Gambar 13. Wadah

2. Bahan

Adapaun bahan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

a. Tempurung kelapa

Tempurung kelapa digunakan sebagai bahan bakar tungku, tempurung kelapa yang didapat di pasaran kemudian dikeringkan terlebih dahulu menggunakan bantuan sinar matahari guna mengurangi kandungan air dari tempurung kelapa. Gambar arang tempurung kelapa dapat dilihat pada tinjauan pustaka Gambar 2.

b. Arang tempurung kelapa

Arang tempurung kelapa digunakan sebagai bahan bakar tungku pembakaran. Arang tempurung kelapa diperoleh dari arang yang tersedia di pasaran. Gambar arang tempurung kelapa dapat dilihat pada tinjauan pustaka Gambar 4.

c. Briket tempurung kelapa

Briket tempurung kelapa digunakan sebagai bahan bakar tungku pembakaran. Briket tempurung kelapa menggunakan briket yang tersedia di pasaran. Masing-masing dari bahan bakar yang digunakan menggunakan variasi massa sebesar 2 kg, 3 kg dan 4 kg.



Gambar 14. Briket arang tempurung kelapa

d. Air

Air digunakan untuk media penerima kalor yang didapat dari proses pembakaran bahan bakar pada tungku pembakaran yang kemudian diteruskan ke wajan guna memanaskan air. Air yang digunakan untuk pengujian WBT ini adalah 5 kg pada setiap pengujiannya.



Gambar 15. Air

C. Persiapan Alat dan Bahan

Adapun persiapan yang dilakukan untuk alat dan bahan sebelum pengujian pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Persiapan Alat

Untuk memulai pengambilan data menggunakan pengujian WBT (*Water Boiling Test*) ada beberapa hal yang harus dipersiapkan, adapun persiapan yang dilakukan adalah :

- a. Mempersiapkan tungku pembakaran yang digunakan. Memastikan tidak ada bagian yang rusak maupun kotor agar proses pengujian dapat berjalan dengan lancar.
- b. Mempersiapkan *stopwatch* untuk menghitung lama proses pengujian WBT sehingga air mencapai temperatur 100°C atau temperatur puncaknya.
- c. Mengkalibrasi termometer digital yang digunakan menjadi satuan Celcius, dan mempersiapkan gagang penopang di atas wajan pengujian.
- d. Mengkalibrasi timbangan digital untuk menghitung massa bahan bakar (tempurung kelapa, arang tempurung kelapa dan briket tempurung kelapa) dan air yang digunakan pada proses pembakaran.

- e. Memastikan wajan yang digunakan dalam kondisi baik pada bagian pegangan dan permukaan.
- f. Memastikan pembacaan gelas ukur dengan baik dan benar agar tidak terjadi kesalahan dalam pengambilan data.



Gambar 16. Persiapan Tungku dan lain sebagainya

2. Penyimpanan bahan

Bahan bakar yang digunakan pada pengujian ini disimpan di tempat yang tidak lembab supaya tidak mempengaruhi kualitas dari bahan bakar. Selain itu, bahan bakar disimpan dalam keadaan terbungkus plastik atau wadah lain yang sifatnya dapat menjaga bahan bakar tersebut. Pada saat digunakan, bahan bakar dikeringkan terlebih dahulu dengan dijemur di bawah sinar matahari.



Gambar 17. Penyimpanan Bahan Bakar

3. Persiapan bahan

Adapun persiapan bahan yang dilakukan sebelum melakukan pengujian dengan metode WBT adalah sebagai berikut :

- a. Gunakan sampel bahan bakar secukupnya (dianjurkan 300 gram) untuk sekali prosedur pengeringan. Catat massa pertama sebagai *Mass of Fuel_{wet}*.
- b. Letakkan sampel di atas wadah yang sudah ditimbang terlebih dahulu (catat berat wadah) secara merata agar proses pengeringan maksimal, lalu letakkan ke dalam oven.
- c. Panaskan sampel dengan temperatur sebesar $\pm 105^{\circ}\text{C}$, temperatur tidak boleh lebih dari 110°C . Karena materi yang bukan air ikut menguap jika mendekati 200°C .



Gambar 18. Penyetelan Temperatur Oven

- d. Keluarkan dan timbang sampel setiap 30 menit, catat berat sampel sebagai *Mass of Fuel_{wet}* ini dikarenakan bahan bakar masih belum benar-benar kering.
- e. Ulangi langkah 4 sampai berat sampel tidak berkurang lagi massanya. Maka bahan bakar tersebut dapat dikatakan kering.
- f. Timbang sampel setelah pengeringan dan catat sebagai *Mass of Fuel - dry*. Lalu simpan di tempat yang tertutup sehingga *Moisture Content* terjaga.
- g. Gunakan persamaan 1 sampai dengan 9 untuk mengolah data.

D. Prosedur Pengujian

Adapun prosedur pengujian yang telah dilakukan pada penelitian inidengan metode WBT adalah sebagai berikut :

1. Letakkan bahan bakar yang sudah dikeringkan terlebih dahulu kedalam tungku sebanyak variasi yang digunakan. Penempatan bahan bakar dilakukan dalam satu tahap atau biasa dengan metode *batch* yang artinya pengujian dilakukan dalam sekali peletakkan bahan bakar sekaligus.
2. Letakkan wajan di atas tungku pembakaran, lalu isi 5 kg air. Kemudian pastikan wajan tidak miring atau mempunyai peluang jatuh sehingga air tumpah. Wajan harus dibiarkan terbuka (tidak ditutup)
3. Letakkan termometer digital di tengah-tengah wajan dan ± 5 cm dari permukaan bawah wajan.
4. Cek dan catat temperatur air sebelum proses dimulai, pastikan tidak berbeda jauh dengan temperatur lingkungan.
5. Nyalakan api untuk memulai proses pengujian WBT. Setelah api menyala, mulai hitung waktu dengan *stopwatch*.
6. Catat waktu pendidihan air (t) dan temperatur yang dicapai pada *stopwatch* dan termometer digital. Pada saat temperatur air mendekati temperatur didih air pada tekanan atmosfer atau temperatur air sudah tidak naik lagi atau cenderung turun.
7. Angkat wajan dan matikan api pada tungku pembakaran (tidak menggunakan air karena mempengaruhi berat bahan bakar sisa).
8. Angkat bahan bakar yang tersisa dan pisahkan antara bahan bakar yang masih utuh, dan yang sudah menjadi arang kedalam wadah yang telah disiapkan. Lalu timbang keduanya.
9. Timbang berat wajan beserta air di dalamnya setelah pengujian.

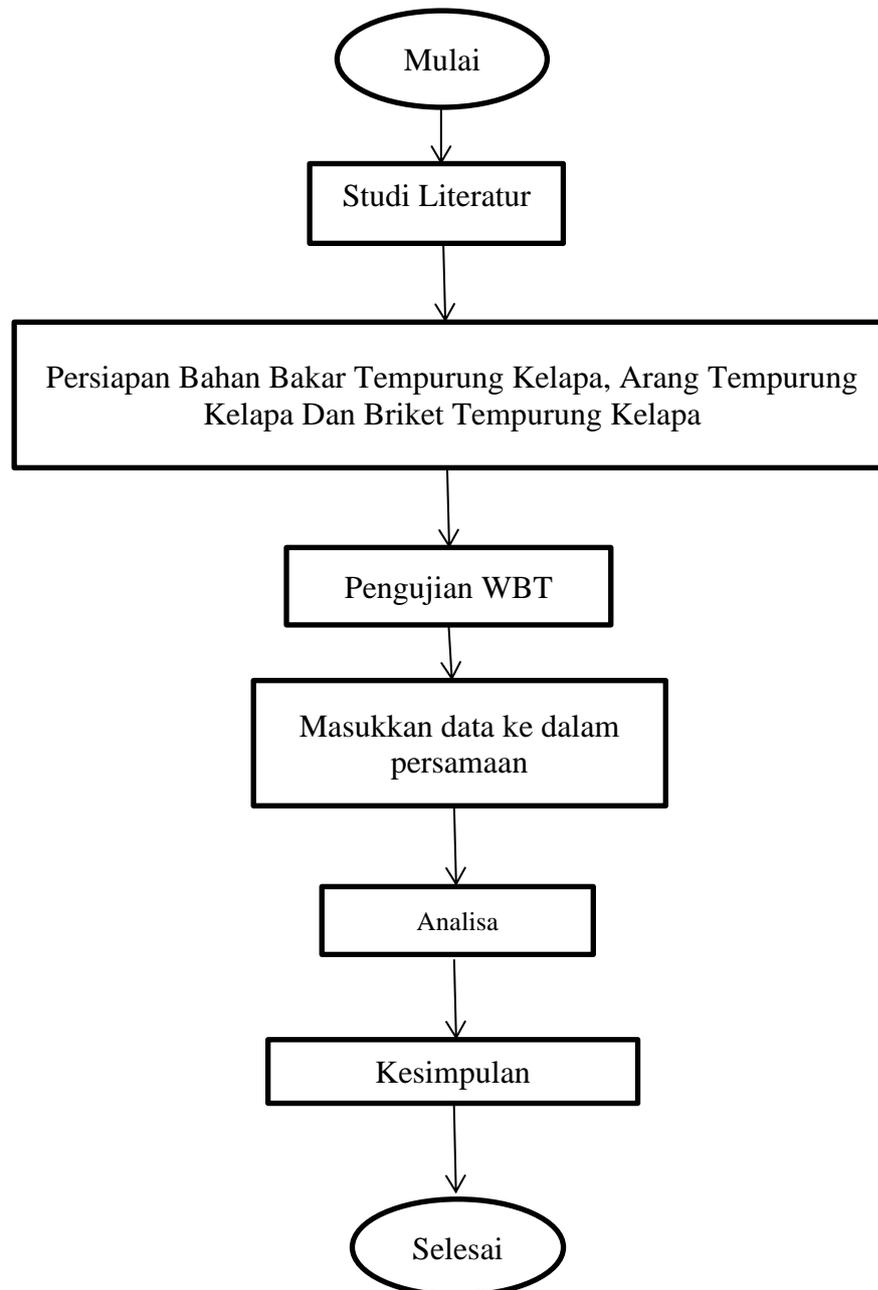
Dalam penelitian ini ada macam-macam variabel dan variasi pengujian yang dilakukan dalam proses pengambilan data. Adapun variabel pengujiannya dijabarkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Variasi Pengujian

No.	Variabel	Variasi
1.	Bahan bakar	Tempurung kelapa, Arang tempurung kelapa dan Briket tempurung kelapa
2.	Rasio pengisian ruang bakar berdasarkan massa	2 kg, 3 kg, dan 4 kg
3.	Massa air	5 kg

E. Alur Pengujian

Adapun alur pengujian yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Alur pengujian

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian pengaruh variasi produk bahan bakar tempurung kelapa dan massa bahan bakar tempurung kelapa terhadap tungku pembakaran bata api adalah sebagai berikut:

1. Variasi penambahan massa produk bahan bakar tempurung kelapa akan meningkatkan daya pemanasan dan efisiensi termal yang dihasilkan, dan akan mengalami penurunan konsumsi bahan bakar spesifik yang diperlukan oleh biomassa tersebut. Pada variasi massa dari ketiga bahan bakar yang sudah dilakukan diperoleh daya pemanasan dan efisiensi termal tertinggi pada massa 4 kg (terbaik) sedangkan konsumsi bahan bakar spesifik tertinggi dihasilkan oleh variasi massa 2 kg (paling boros). Faktor-faktor yang mempengaruhi prestasi bahan bakar karena penambahan jumlah massanya adalah ketinggian dari bahan bakar yang akan semakin meningkat seiring dengan penambahan massa dan massa yang lebih besar akan meningkatkan temperatur udara pembakaran lebih tinggi dibandingkan dengan variasi massa yang lebih kecil.
2. Daya pemanasan dan efisiensi termal tertinggi dihasilkan pada tempurung kelapa (terbaik) dengan konsumsi bahan bakar spesifik terendah (terhemat) pada massa 4 kg. Sedangkan daya pemanasan dan efisiensi termal terendah dihasilkan oleh briket arang tempurung kelapa. Faktor-faktor yang mempengaruhi prestasi bahan bakar adalah jumlah massa serta karakteristik dari bahan bakar seperti kandungan *volatile matter*,

ukuran partikel bahan bakar, luas penampang yang bersinggungan dengan api, ketinggian penyusunan bahan bakar, dan densitas atau massa jenis bahan bakar.

B. Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan untuk penelitian kedepannya adalah sebagai berikut :

1. Sebaiknya pada pelaksanaan pengujian WBT dilaksanakan oleh 2 orang atau lebih agar *error* ketika pengujian dapat dikurangi.
2. Penggunaan suplai udara tambahan dan pemecahan arang serta briket (seperti partikel kecil yang menyebar) dianjurkan untuk bahan bakar briket dan arang guna memaksimalkan potensi termalnya.
3. Penelitian menggunakan WBT *start* panas supaya kualitas data lebih baik.
4. Kedepannya diharapkan mampu menggunakan bahan bakar dengan dimensi yang sama.
5. Lebih memperhatikan hal-hal kecil yang dapat mengganggu penelitian berlangsung seperti cuaca yang tiba-tiba hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arhamsyah, 2010. *The Utilization Of Wood Biomass As A Source Renewable*. Banjarbaru. Arhamsyah. Peneliti Baristand Industri Banjarbaru
- Basu, Prabir. 2013. *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction*. Elsevier Academic Press: London.
- Budiyanto. 2009. "Kajian Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) untuk Pembuatan Biobriket". Seminar Nasional dan Rapat Tahunan Dekan BKS-B. Jurusan Teknologi Industri Pertanian. Fakultas Pertanian. Universitas Bengkulu. Bengkulu
- Budi, Esmar. 2011. Tinjauan Proses Pembentukan dan Penggunaan Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Bakar". *Jurnal Penelitian Sains* : Volume 14 Nomer 4(B) 14406. Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Jakarta. Indonesia.
- Bailis, Rob. 2007. *The Water Boiling Test. Household Energy and Health Programme: Shell Foundation*.
- Bonechi, C., 2014. "*Bioenergy Systems for the Future*". University of Siena, Siena, Italy.
- BPPT. 2019. "Dampak Peningkatan Pemanfaatan Baru Energi Terbarukan Terhadap Perekonomian Nasional". *Outlook Energi Indonesia 2019*.
- Harjanto, Nur, Tri. 2008. "Dampak Lingkungan Pusat Listrik Tenaga Fosil Dan Prospek PLTN Sebagai Sumber Energy Listrik Nasional". Vol 1, No1. ISSN 1979-2409. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, BATAN.
- Iskandar, Taufik. 2012. Identifikasi Nilai Kalor Biochar dari Tongkol Jagung dan Sekam Padi pada Proses Pirolisis. Malang. *Jurnal Teknik Kimia*: Vol.7, No.1. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tungadewi
- Maridjo., Yuliyani, Ika., R, Angga. 2019. "Pengaruh Pemakaian Bahan Bakar Premum, Peralite Dan Pertamina Terhadap Kinerja Motor 4 Tak". *Jurnal*

- Teknik Energi: Volume 9 Nomor 1. Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung.
- Ndraha N. 2009. Uji komposisi bahan baku briket bioarang tempurung kelapa serbuk kayu terhadap mutu yang dihasilkan. Sumatera Utara: USU.
- Ningrum, Setia. 2017. “Etnobotani Kelapa (*Cocos nucifera*) Pada Masyarakat Desa Sungai Itik Kecamatan Sadu Kabupaten Tanjung Jabung Timur”. Artikel Ilmiah. Jurusan Pendidikan Biologi, FKIP, Universitas Jambi.
- Nisa, Zahro K., Bagiono, Tuntas., Suyanto, Adib. 2018. “Pemanfaatan Limbah Ampas Kelapa Parut (*Cocos nucifera*) Sebagai Biopellet (*biomass pellets*) Dengan Variasi Suhu Pengepresan Terhadap Lama Waktu Membara. Diploma, Poltekes Kemenkes Yogyakarta.
- Nurhilal, Otong., dan Suryaningsih, Sri. 2018. Pengaruh Komposisi Campuran Sabut dan Tempurung Kelapa Terhadap Nilai Kalor Biobriket Dengan Perak Molase. JIIF: Vol. 02 No. 01 (2018) 8-14. Departemen Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Padjadjaran.
- Parinduri, Luthfi., Parinduri, Taufik. 2020. “Konversi Biomassa Energi Sebagai Sumber Energi Terbarukan”. *Journal of Electrical Technology*: Vol. 5, No. 2. Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara.
- Rusdi, Ryan. 2018. “Pengaruh Massa dan Sudut Kemiringan Bahan Bakar terhadap Unjuk Kerja Tungku Pembakaran Tradisional”. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Markides, C.N. “*Applied Thermal Engineering*”. Imperial College London, London, United Kingdom
- Muhazir., Mahyuddin., Ibrahim Mohd. Isa T. 2019 “Rancang Bangun Tungku Penukar Kalor Menggunakan Pipa Spiral dengan Bahan Bakar Biomassa”. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Abulyatama. Aceh.
- Qistina, Idzni., Sukandar, Dede., Trilaksono. 2016. “Kajian Kualitas Briket Biomassa dari Sekam Padi dan Tempurung Kelapa”. Jurnal kimia VALENSI 2(2):136-142. Banten. Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta

- Subekti, P. 2015. “Perhitungan Komporasi Energi Bahan Bakar Sekam Padi dengan Minyak Tanah. Vol. 4 No.1: Jurnal Aptek. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Pasir Pangairan. Riau
- Tirono, Mokhammad., dan Sabit, Ali. 2011. “Efek Suhu Pada Pengarangan Terhadap Nilai Kalor Arang Tempurung Kelapa (*Coconut Shell Charcoal*)”. Jurnal Neutrino: Vol. 3, No. 2. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Maula Malik Ibrahim Malang.
- Winarno, F, G. 2014. “Kelapa Pohon Kehidupan”. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Yokoyama, Shinya. 2008. “Panduan Untuk Produksi Dan Pemanfaatan Biomassa”. The Japan Institute of Energy.