



**PENGARUH UKURAN PARTIKEL DAN TEKANAN
KOMPAKSI TERHADAP KARAKTERISTIK BRIKET
LIMBAH DAUN CENGKEH**

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik Program Studi Teknik Mesin**

Oleh

Pradipta Bagas Maruto Putra

NIM.5212415019

TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Pradipta Bagas Maruto Putra
NIM : 5212415019
Program Studi : Teknik Mesin S1
Judul : Pengaruh Ukuran Partikel dan Tekanan Kompaksi terhadap
Karakteristik Briket Limbah Daun Cengkeh

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 24 Juli 2019

Pembimbing



Widi Widayat, S.T., M.T.

NIP. 19740815000031001

LEMBAR PENGESAHAN KELULUSAN

Skripsi dengan judul “Pengaruh Ukuran Partikel dan Tekanan Kompaksi terhadap Karakteristik Briket Limbah Daun Cengkeh” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada Jumat, 26 Juli 2019

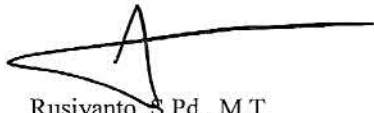
Oleh

Nama : Pradipta Bagas Maruto Putra
NIM : 5212415019
Program Studi : Teknik Mesin S1

Panitia:

Ketua Panitia

Sekretaris



Rusiyanto, S.Pd., M.T
NIP. 197403211999031002



Dr. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T. IPP
NIP. 197509272006041002

Penguji 1

Penguji 2

Pembimbing



Samsudin Anis, S.T., M.T. Ph.D
NIP. 197408152000031001



Danang Dwi Saputro, S.T., M.T
NIP. 197811052005011001



Widi Widayat, S.T., M.T
NIP. 19740815000031001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T. IPM
NIP. 196911301994031001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan Nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan Norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 16 Agustus 2019

Yang membuat pernyataan



Pradipta Bagas Maruto Putra

NIM. 5212415019

RINGKASAN

Pradipta Bagas Maruto Putra. 2019. Pengaruh Ukuran Partikel dan Tekanan Kompaksi terhadap Karakteristik Briket Limbah Daun Cengkeh. Widi Widayat, S.T., M.T. Teknik Mesin. Fakultas Teknik

Pembuatan briket limbah daun cengkeh dilakukan karena limbah sisa penyulingan daun cengkeh hanya digunakan sebagai bahan bakar penyulingannya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel dan tekanan kompaksi terhadap karakteristik briket yang meliputi: uji *proximate* (nilai kalor, kadar abu, kadar air, *volatile matters* dan *fixed carbon*), struktur makro, kerapatan, *drop test*, *stability* dan laju dekomposisi.

Variasi ukuran partikel adalah 20 mesh, 40 mesh, 60 mesh, campuran dan tanpa pengayakan dengan tekanan 25 kg_f/cm² dan 50 kg_f/cm². Limbah daun cengkeh dikeringkan terlebih dahulu. Menggiling limbah daun cengkeh sesuai ukuran mesh yang digunakan. Melakukan pembriketan dan pengujian. Pada pengujian *proximate*, bahan yang digunakan hanya 2 yaitu daun kering sisa destilasi dan briket dengan perekat 15%.

Briket 60 mesh dengan tekanan 50 kg_f/cm² termasuk briket paling baik dengan massa yang hilang 0,186%, densitas 0,906 g/cm³ dan memiliki waktu paling lama saat pembakaran yaitu 1325 detik. Semakin tinggi nilai densitas akan menyebabkan briket menjadi semakin kuat sehingga memiliki persentase massa yang hilang menurun.

Kata kunci: Briket, Daun Cengkeh, Ukuran Partikel, Tekanan Kompaksi.

PRAKATA

Segala puji syukur bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia – Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada junjungan Nabi Muhammad SAW. Penyusunan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian syarat-syarat guna mencapai gelar Sarjana Teknik di Universitas Negeri Semarang.

Penulisan ini tidak dapat terselesaikan tanpa dukungan dari berbagai pihak baik moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada:

1. Bapak Dr. Fathur Rokhman, M. Hum, selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Bapak Dr. Nur Qudus, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Bapak Rusiyanto S.Pd., M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
4. Bapak Widi Widayat, S.T., M.T, selaku Pembimbing.
5. Bapak Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D dan Danang Dwi Saputro, S.T., M.T selaku Penguji I dan penguji II.
6. Semua dosen jurusan Teknik Mesin FT UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
7. Amir Maruto W.S dan Sumiyatun selaku orang tua saya yang telah memberikan memberikan motivasi dan do'a untuk menyelesaikan kuliah.
8. Ari Bagus Biantoro dan Rachmawati Dwi Yulinar selaku rekan kerja.
9. Teman – teman Program Studi Teknik Mesin 2015 yang memberi masukan dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Berbagai pihak yang telah mendukung dalam lancarnya penyelesaian skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dikarenakan terbatasnya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu,

penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan bahkan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak khususnya dalam ilmu energi terbarukan.

Semarang,.....
Penulis,

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN KELULUSAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
RINGKASAN	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
2.1 Kajian Pustaka.....	5
2.2 Landasan Teori.....	7
2.2.1 Briket.....	7
2.2.2 Karakteristik Pembakaran Biomassa Padat.....	9
2.2.3 Karakteristik Briket	12
2.2.4 Briket Daun Kering	17

2.2.5 Perekat.....	17
2.2.6 Ukuran Partikel Serbuk.....	18
2.2.7 Tekanan Kompaksi Terhadap Briket	19
2.2.8 Limbah Penyulingan Daun Cengkeh	19
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2 Desain Penelitian.....	21
3.2.1 Proses Bahan Baku Sebelum Pembriketan	22
3.2.2 Pembriketan.....	22
3.2.3 Pengujian Briket.....	23
3.3 Alat dan Bahan.....	25
3.4 Parameter Penelitian.....	28
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	28
3.6 Kalibrasi Instrumen.....	31
3.7 Teknik Analisis Data.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Hasil	33
4.1.1 Data <i>proximate test</i>	33
4.1.2 Data stabilitas	33
4.1.3 Data <i>drop test</i>	34
4.1.4 Data densitas	35
4.1.5 Data laju dekomposisi	36
4.1.6 Pengamatan struktur makro	36
4.2 Pembahasan.....	38
4.2.1 Perbandingan <i>proximate</i> serbuk daun cengkeh dan briket.....	38

4.2.2 Perubahan dimensi	41
4.2.3 Massa yang hilang.....	44
4.2.4 Densitas	46
4.2.5 Laju dekomposisi	47
4.2.6 Struktur Makro	51
BAB V PENUTUP	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Briket Limbah Daun Cengkeh	8
Gambar 2. 2 Grafik Mekanisme Pembakaran	9
Gambar 2. 3 Limbah Daun Cengkeh	20
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 3. 2 Alat Kompaksi	25
Gambar 3. 3 Alat Pencetak Briket.....	26
Gambar 3. 4 <i>Thermocontroller</i>	26
Gambar 3. 5 Alat Uji Laju Pembakaran.....	27
Gambar 4. 1 Tekanan 25 kg _f /cm ² dengan ukuran partikel (A) 20 mesh, (B) 40 mesh, (C) 60 mesh, (D) campuran dan (E) tanpa pengayakan	37
Gambar 4. 2 Tekanan 50 kg _f /cm ² dengan ukuran partikel (A) 20 mesh, (B) 40 mesh, (C) 60 mesh, (D) campuran dan (E) tanpa pengayakan	38
Gambar 4. 3 Nilai Kalor.....	38
Gambar 4. 4 Persentase Kadar Air, Kadar abu, <i>volatile matters</i> dan <i>fixed carbon</i>	39
Gambar 4. 5 Perubahan diameter pada tekanan 25 kg _f /cm ²	41
Gambar 4. 6 Perubahan diameter pada tekanan 50 kg _f /cm ²	41
Gambar 4. 7 Perubahan tinggi pada tekanan 25 kg _f /cm ²	42
Gambar 4. 8 Perubahan tinggi pada tekanan 50 kg _f /cm ²	42
Gambar 4. 9 Persentase massa yang hilang	44
Gambar 4. 10 Briket setelah <i>drop test</i>	44
Gambar 4. 11 Densitas	46
Gambar 4. 12 Massa sisa pada tekanan 25 kg _f /cm ²	47
Gambar 4. 13 Temperatur pada tekanan 25 kg _f /cm ²	48
Gambar 4. 14 Massa sisa pada tekanan 50 kg _f /cm ²	48
Gambar 4. 15 Temperatur pada tekanan 50 kg _f /cm ²	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kandungan Cengkeh	19
Tabel 2. 2 Karakteristik Pembakaran Briket Limbah Daun Cengkeh.....	20
Tabel 3. 1 Pengulangan Pengujian <i>Proximate</i>	23
Tabel 3. 2 Pengulangan Uji Densitas, <i>Drop test</i> , <i>Stability</i> dan Laju Dekomposisi	24
Tabel 3. 3 Uji <i>Proximate</i>	29
Tabel 3. 4 <i>Stability</i>	29
Tabel 3. 5 <i>Drop test</i>	30
Tabel 3. 6 <i>Density</i>	30
Tabel 3. 7 Laju Dekomposisi	30
Tabel 4. 1 Data <i>Proximate</i>	33
Tabel 4. 2 Perubahan dimensi	34
Tabel 4. 3 Massa yang hilang.....	35
Tabel 4. 4 Densitas	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perubahan Dimensi.....	57
Lampiran 2 <i>Drop Test</i>	59
Lampiran 3 Densitas	63
Lampiran 4 Laju Dekomposisi.....	69
Lampiran 5 Data Uji <i>Proximate</i>	98

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Limbah penyulingan minyak atsiri berupa daun cengkeh kering masih kurang diperhatikan manfaatnya. Sebagai contoh pada sentra minyak cengkeh di Musuk, Boyolali banyak menggunakan bahan bakar daun kering cengkeh sisa proses penyulingan minyak atsiri hanya untuk pembakaran produksinya saja (Adnan, et al 2018: 56). Perlu adanya upaya pemanfaatan penyulingan limbah daun cengkeh sebagai bahan bakar alternatif. Penelitian Aklis (2008: 10) menjelelaskan bahwa briket limbah daun cengkeh memiliki temperatur tertinggi pada 246 °C dalam waktu 6 menit, sisa massa 0,51 g pada menit ke – 24 dan mempunyai laju pembakaran tertinggi sebesar 0,53 g/menit pada menit ke – 2. Salah satu energi alternatif yang bisa digunakan dengan pemanfaatan limbah tersebut adalah briket.

Pembriketan adalah salah satu cara untuk memanfaatkan biomassa jenis limbah dedaunan kering contohnya limbah daun cengkeh dari sisa penyulingan minyak cengkeh. Pembriketan bertujuan agar membentuk briket dari semula limbah daun cengkeh menjadi sebuah bahan bakar dengan bentuk dan ukuran tertentu sehingga mudah dikemas dan didistribusi, serta agar dapat meningkatkan kepadatan energi dari limbah daun cengkeh. Kualitas briket dipengaruhi oleh komposisi, jenis bahan baku dan ukuran partikel briket arang (Sudiro dan Suroto, 2014 dalam Alfajriandi, et al., 2017: 3). Komposisi perekat yang akan digunakan juga diperhatikan dalam pembuatan briket.

Perekat briket berfungsi untuk merekatkan serbuk saat pemadatan briket saat proses pengepresan. Perekat berpengaruh terhadap asap yang akan ditimbulkan oleh briket. Semakin banyak perekat maka semakin banyak asap yang ditimbulkan. Komposisi perekat merupakan perbandingan tapioka dan air yang digunakan.

Tekanan saat pengepresan berpengaruh terhadap panjang briket, dalam hal ini dijelaskan oleh Niedziółka, et al (2018: 4) yang menyatakan bahwa jika terjadi peningkatan tekanan briket maka panjang briket berkurang. Hal ini bisa meningkatkan kerapatan briket sehingga briket menjadi semakin kuat.

Ukuran partikel dan besarnya tekanan yang digunakan sering diabaikan karena keinginan sendiri. Wakchaure dan Mani (2009: 28) menyatakan bahwa kadar air, ukuran partikel dan distribusinya mempengaruhi stabilitas, kadar air, *bulk density*, rasio kompresi dan kuat tekan briket biomassa. Ukuran partikel juga berpengaruh terhadap densitas briket karena semakin kecil ukuran partikel briket, semakin tinggi densitasnya sehingga briket semakin kuat.

Pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan bahan baku limbah daun cengkeh dan bahan perekat tapioka. Pembuatan briket merupakan upaya memanfaatkan limbah daun cengkeh dengan memperhatikan ukuran partikel dan tekanan kompaksi dengan memperhatikan karakteristik briket. Briket limbah daun cengkeh sendiri diharapkan memiliki kualitas yang baik sesuai dengan karakteristik briket.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah maka didapatkan identifikasi masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Meningkatnya limbah daun cengkeh, hanya digunakan sebagai bahan bakar penyulingan minyak atsiri.
2. Kurangnya pemanfaatan limbah dedaunan kering yang berpotensi untuk dijadikan briket.
3. Kurangnya pemanfaatan limbah hasil penyulingan daun cengkeh sebagai bahan bakar alternatif briket.
4. Kurang memperhatikannya komposisi perekat, unsur partikel serbuk dan tekanan kompaksi yang digunakan terhadap karakteristik briket.

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan dibatasi agar penelitian lebih terfokus dan tidak meluas, adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Briket dengan bahan baku limbah penyulingan daun cengkeh dengan perbandingan ukuran partikel 20 mesh, 40 mesh, 60 mesh, campuran ketiga mesh dan tanpa penyaringan, serta tekanan kompaksi 25 kgf/cm^2 dan 50 kgf/cm^2 .
2. Karakteristik briket meliputi: nilai kalor, kadar abu, kadar air, *volatile matters*, *fixed carbon*, stabilitas, densitas, ketahanan, struktur makro dan laju dekomposisi
3. Pengujian meliputi: *proximate test* (nilai kalor, kadar abu, kadar air, *volatile matters* dan *fixed carbon*), pengamatan struktur makro, densitas, *drop test* (massa yang hilang), *stability* (perubahan dimensi) dan uji laju dekomposisi.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh ukuran partikel 20

mesh, 40 mesh, 60 mesh, campuran ketiga mesh dan tanpa penyaringan, serta tekanan kompaksi 25 kgf/cm^2 dan 50 kgf/cm^2 terhadap karakteristik briket?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel 20 mesh, 40 mesh, 60 mesh, campuran ketiga mesh dan tanpa penyaringan, serta tekanan kompaksi 25 kgf/cm^2 dan 50 kgf/cm^2 terhadap karakteristik briket.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi peneliti, mengetahui pengaruh ukuran partikel dan tekanan terhadap karakteristik briket.
2. Bagi mahasiswa, meningkatkan pengetahuan tentang mata kuliah energi terbarukan yang terkait dengan bahan bakar alternatif briket.
3. Bagi masyarakat, meningkatkan mutu pengetahuan tentang inovasi IPTEK pembuatan briket limbah daun cengkeh.
4. Bagi lembaga, memberikan ide tentang pengaruh ukuran dan tekanan kompaksi terhadap karakteristik briket.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian tentang pembuatan briket limbah hasil penyulingan daun cengkeh dilakukan oleh Aklis (2008) menggunakan variasi limbah daun cengkeh dengan persentase 0%, 20%, 40%, 60% dan 100%. Pengujian karakteristik pembakaran yang dilakukan meliputi: uji temperatur, massa sisa dan laju pembakaran. Pengambilan data dilakukan setiap 1 menit pada tungku pembakaran. Hasil penelitian pada variasi 100% limbah daun cengkeh menunjukkan bahwa untuk uji temperatur pembakaran memperoleh temperatur pembakaran 243°C dalam 7 menit, uji massa sisa pembakaran mempunyai sisa 0,62 gram pada menit ke – 25 dan uji laju pembakaran memperoleh 0,31 g/menit.

Aklis (2008) menggunakan variasi limbah daun cengkeh dengan persentase 0%, 20%, 40%, 60% dan 100% dengan metode briketing. Pengujian karakteristik pembakaran yang dilakukan adalah sama meliputi: uji temperatur, massa sisa dan laju pembakaran. Hasil yang diperoleh pada variasi 100% limbah daun cengkeh dengan metode briketing menghasilkan temperatur tertinggi 246°C dalam waktu 6 menit, sisa massa 0,51 g pada menit ke – 24, dan mempunyai laju pembakaran tertinggi sebesar 0,53 g/menit.

Penelitian tentang pengaruh ukuran partikel terhadap briket daun kering dilakukan oleh Malakauseya, et al (2013) menggunakan variasi ukuran serbuk yang lolos mesh 20 (halus) dan yang tidak lolos mesh 20 (kasar). Persentase campuran limbah

daun kayu putih yang digunakan adalah 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. Pengujian yang dilakukan meliputi: nilai kalor pembakaran (kal/gram), waktu pembakaran (menit), massa abu (gram) dan temperatur tertinggi (°C). Hasil yang diperoleh untuk 100% limbah daun kayu putih dengan ukuran serbuk lolos 20 mesh untuk uji nilai kalor dan lama waktu pembakaran adalah 4333,85 kal/g dan 38,67 menit.

Alfajriandi, et al (2017) menggunakan variasi ukuran serbuk 20 mesh, 40 mesh, 60 mesh, 80 mesh dan 100 mesh dengan pengujian kadar air, kadar abu, kerapatan, nilai kalor dan daya bakar. Hasil analisis pada komposisi ukuran serbuk 20 mesh, 40 mesh dan 60 mesh dengan pengujian kadar air, kadar abu, kerapatan dan nilai kalor adalah sebagai berikut: ukuran partikel 20 mesh menghasilkan kadar air 6,48%, kadar abu 27,49%, kerapatan 0,36 g/cm³ dan nilai kalor 4337 kal/g. Ukuran partikel 40 mesh menghasilkan kadar air 6,65%, kadar abu 27,57%, kerapatan 0,36 g/cm³ dan nilai kalor 4481 kal/g. Ukuran partikel 60 mesh menghasilkan kadar air 6,8%, kadar abu 29,86%, kerapatan 0,38 g/cm³ dan nilai kalor 4646 kal/g. Perlakuan pada penelitian ini yang terpilih adalah pada ukuran serbuk 60 mesh. Ukuran serbuk 20 mesh, 40 mesh dan 60 mesh pada daun kering berpotensi untuk dijadikan briket berdasarkan karakteristik briket yang dihasilkan.

Penelitian tentang pengaruh tekanan terhadap briket daun kering dilakukan oleh Kasrun, et al (2016) menggunakan variasi tekanan 1 MPa dan 2 MPa dengan ukuran partikel 60 mesh. Pengujian yang dilakukan meliputi: waktu penyalaan, temperatur tertinggi dan durasi penyalaan. Hasil dari analisa untuk tekanan 1 MPa menghasilkan waktu penyalaan 164 detik, temperatur tertinggi 437°C dan durasi

pembakaran 6716 detik. Tekanan 2 MPa menghasilkan waktu penyalaan 268 detik, temperatur tertinggi 522°C dan durasi pembakaran 7293 detik.

Terdapat potensi untuk pembuatan briket dari limbah penyulingan daun cengkeh karena sudah ada penelitian terdahulu. Ukuran partikel dan tekanan pengepresan sangat mempengaruhi karakteristik briket daun kering, karena ukuran partikel yang terlalu kecil dapat meningkatkan densitas sehingga meningkatkan ketahanan briket.

2.2 Landasan Teori

Landasan teori penelitian merupakan teori yang mendukung tentang pengaruh ukuran partikel dan tekanan kompaksi terhadap karakteristik briket limbah daun cengkeh yang meliputi briket secara umum, bahan pembuatan briket, karakteristik pembakaran, karakteristik briket, briket daun kering, bahan perekat briket, ukuran partikel, tekanan kompaksi dan daun cengkeh. Landasan teori dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.2.1 Briket

Bioarang adalah arang hasil pembakaran biomassa kering tanpa udara (pirolisis), sedangkan biomassa adalah bahan organik yang berasal dari jasad hidup. Briket merupakan bahan bakar dari pemadatan serbuk yang mempunyai bentuk tertentu. Pembriketan merupakan proses pemadatan material untuk diubah ke bentuk tertentu, dengan prinsip merubah kepadatan energi dari briket yang masih dalam bentuk serpihan maupun serbuk menjadi sebuah briket dengan memiliki bentuk yang lebih padat dan ukuran yang bisa ditentukan. Pembriketan bertujuan untuk pemanfaatan limbah agar lebih prospektif dengan meningkatkan kepadatan

energi sehingga dapat meningkatkan nilai kalor, densitas, mudah dalam pembuatan, pengemasan dan distribusi, serta mempunyai ukuran yang beragam (Arifin, et al., 2018: 37). Kualitas briket yang baik adalah briket yang memiliki nilai kalor tinggi, kadar air rendah, kadar abu rendah, kadar karbon tinggi dan kadar zat terbang (*volatile matters*) yang rendah.

Sebagai bahan baku briket, bahan baku yang akan digunakan harus memenuhi kriteria sebagai berikut: (1) mudah dinyalakan, (2) emisi gas hasil pembakaran tidak mengandung racun, (3) kedap air dan tidak berjamur bila disimpan dalam waktu yang lama, dan (4) menunjukkan upaya laju pembakaran yang baik. (Allo, et al., 2018: 19).

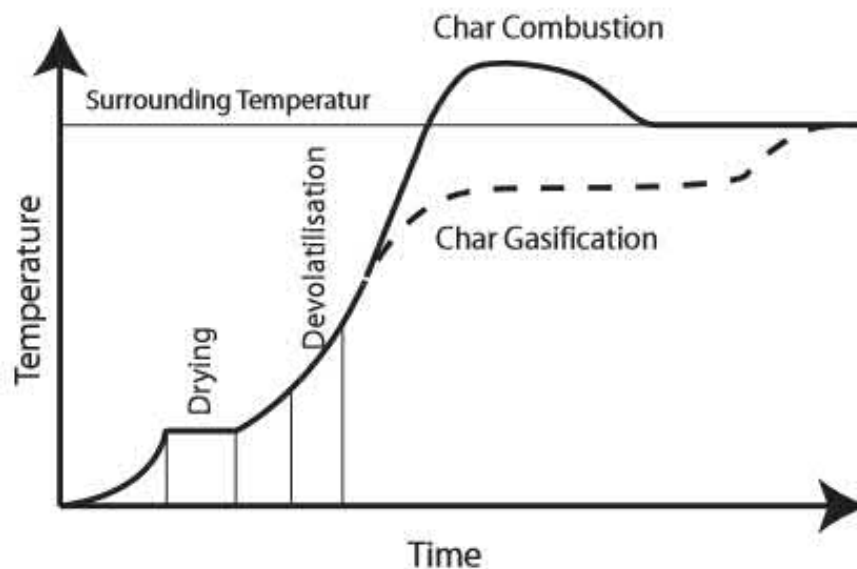
Bahan baku briket harus diperhatikan karena mempengaruhi karakteristik briket. Ukuran partikel dan bentuk briket dapat mempengaruhi kadar kalor, densitas dan kadar air yang akan diperoleh. Lebih jelasnya gambar 2.1 adalah contoh dari bentuk briket dari limbah penyulingan daun cengkeh.



Gambar 2. 1 Briket Limbah Daun Cengkeh
(Sumber: Aklis, 2008: 65)

2.2.2 Karakteristik Pembakaran Biomassa Padat

Menurut Surono (2010:14) biomassa terdiri atas beberapa komponen yaitu kandungan air (*moisture content*), zat mudah menguap (*volatile matter*), karbon terikat (*fixed carbon*), dan abu (*ash*), sedangkan mekanisme pembakaran biomassa terdiri dari tiga tahap yaitu pengeringan (*drying*), devolatilisasi (*devolatilization*), dan pembakaran arang (*char combustion*). Lebih jelasnya bisa dilihat gambar 2.2 mengenai mekanisme pembakaran biomassa padat.



Gambar 2. 2 Grafik Mekanisme Pembakaran
(Sumber: Thunman dan Leckner, 2007: 5.2)

Tahapan-tahapan dalam pembakaran bahan bakar padat adalah sebagai berikut:

a. Pengeringan (*drying*)

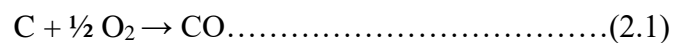
Bahan bakar padat mengalami proses kenaikan temperatur yang mengakibatkan menguapnya kadar air yang berada pada permukaan bahan bakar padat tersebut, sedangkan untuk kadar air yang berada di dalam akan menguap melalui pori-pori bahan bakar.

b. Devolatilisasi (*devolatilization*)

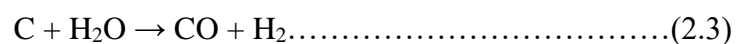
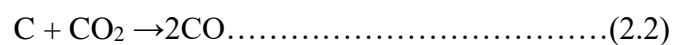
Devolatilisasi merupakan proses bahan bakar mulai mengalami dekomposisi setelah terjadi pengeringan yaitu terpisahnya ikatan kimia secara termal dan zat *volatile matter* akan keluar dari partikel. Proses devolatilisasi ini akan menghasilkan zat *volatile matter*.

c. Pembakaran arang (*char combustion*).

Sisa dari pirolisis adalah arang dan sedikit abu. Partikel bahan bakar mengalami tahapan oksidasi arang yang memerlukan 70 – 80% dari total waktu pembakaran (Subroto, et al., 2017: 35). Laju pembakaran arang tergantung pada laju reaksi antara karbon dan oksigen pada permukaan serta laju difusi oksigen pada lapis batas dan bagian dalam dari arang. Reaksi permukaan akan membentuk CO (persamaan 2.1). CO akan bereaksi lebih lanjut membentuk CO₂ di luar partikel (persamaan 2.2). Pembakaran akan menyisakan material berupa abu. Karbon yang terkandung di dalam arang bereaksi dengan oksigen pada permukaan dan membentuk karbon monoksida menurut reaksi berikut (Borman dan Ragland, 1998 dalam Syamsiro dan Saptoadi, 2007: 4):



Reduksi pada persamaan reaksi 2.2 dan 2.3 lebih lambat daripada persamaan reaksi 2.1. Permukaan karbon bereaksi dengan karbondioksida dan uap air melalui reaksi reduksi (persamaan 2.3) sebagai berikut:



Selama proses karbonisasi, gas – gas yang bisa terbakar seperti CO, CH₄, H₂, formaldehid, methana, asam formiat dan asam asetat serta gas – gas yang tidak bisa terbakar seperti CO₂, H₂O dan tar cair dilepaskan. Gas-gas yang dilepaskan pada proses ini mempunyai nilai kalor yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan kalor pada proses karbonisasi.

Menurut Sulistyanto (2006:78) faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran briket adalah sebagai berikut:

a. Ukuran partikel

Partikel yang lebih kecil ukurannya akan lebih cepat terbakar.

b. Kecepatan aliran udara

Laju pembakaran biobriket akan naik dengan adanya kenaikan kecepatan aliran udara dan kenaikan temperatur

c. Jenis bahan bakar

Jenis bahan bakar akan menentukan karakteristik bahan bakar. Karakteristik tersebut antara lain kandungan *volatile matter* dan kandungan *moisture*.

d. Temperatur udara pembakaran

Kenaikan temperatur udara pembakaran menyebabkan semakin pendeknya waktu pembakaran.

Menurut Subroto (2006:49) beberapa masalah yang berhubungan dengan pembakaran *biomass* antara lain:

a. Kadar air

Kandungan air yang tinggi menyulitkan penyalaan dan mengurangi temperatur pembakaran.

b. Kadar kalori

Semakin besar nilai kalor maka kecepatan pembakaran semakin lambat.

c. Kadar abu

Kadar abu yang tinggi didalam batubara tidak mempengaruhi proses pembakaran.

d. *Volatile matter* atau zat-zat yang mudah menguap

Semakin banyak kandungan *volatile matter* pada biobriket maka semakin mudah biobriket untuk terbakar dan menyala.

2.2.3 Karakteristik Briket

Karakteristik briket terdiri: sifat fisik, sifat kimia dan ketahanan briket. Menurut Satmoko, et al (2013: 15) Sifat fisik (nilai kalor, kadar air dan kerapatan), sifat kimia (kadar abu, *volatile matters* dan *fixed carbon*) dan ketahanan briket (*drop test* dan *stability*). Lebih jelasnya karakteristik briket sebagai berikut:

a. Sifat Fisik

1. Nilai Kalor (*heating value*)

Nilai kalor merupakan besarnya panas yang diperoleh dari proses pembakaran (Sinurat, 2011 dalam Widarti, et al., 2016: 18). Pengujian nilai kalor bertujuan menghasilkan panas dengan meningkatkan temperatur 1 gr air dari 3,5°C – 4,5°C dengan satuan kalori. Briket yang memiliki kadar air dan kadar abu yang rendah akan menghasilkan nilai kalor yang tinggi (Kulsum, 2016: 49). Pengujian dilakukan di *bomb calorimeter*. Panas yang diserap air dalam *bomb calorimeter* dihitung dengan menggunakan rumus 2.4 (Elfiano, et al., 2014: 60).

$$Q = m \times C_p \times \Delta T \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

Q = Panas yang diserap (kJ)

m = Massa briket (g)

Cp = Kapasitas kalor (kal/g °C)

ΔT = Perubahan Temperatur (°C)

2. Kadar Air (*water content*)

Kadar air berpengaruh terhadap proses penyalan briket. Kandungan air yang tinggi dapat menyulitkan penyalan dan mengurangi temperatur pembakaran (Sudiro dan Suroto, 2014: 4). Mengurangi kadar air yang tinggi harus dilakukan dengan meningkatkan tekanan saat pengepresan atau meningkatkan suhu saat pengeringan. Persamaan kadar air dapat dilihat pada rumus 2.5 (Aristiyanto dan Palupi, 2014: 92).

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{A - B}{A} \times 100\% \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

A = Massa sampel (g)

B = Massa sampel setelah proses pemanasan (g).

3. Kerapatan (*density*)

Menurut Lestari, et al (2017: 2) kerapatan yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan briket arang sulit terbakar dikarenakan semakin besar rongga udara atau celah yang dapat dilalui oleh oksigen dalam proses pembakaran. Kerapatan dipengaruhi oleh ukuran serbuk briket. Semakin halus serbuk akan meningkatkan kerapatan briket. Persamaan densitas dapat dilihat pada rumus 2.6 dengan massa dibagi dengan volume briket. Volume briket pada rumus 2.7 menggunakan volume

silindris (jika briket berbentuk silindris). Rumus 2.6 dan 2.7 (Aristiyanto dan Palupi, 2014: 92).

$$\text{Kerapatan biobriket } (\rho) = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$\text{Volume biobriket } (v) = \frac{1}{4} \pi d^2 t \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

ρ = Kerapatan biobriket (g/cm^3)

Π = phi (3,14)

d = Diameter (cm)

t = Tinggi biobriket (cm)

v = Volume biobriket (cm^3)

b. Sifat Kimia

1. Kadar Abu (*ash content*)

Penentuan kadar abu mengacu pada ASTM (2012) yaitu dengan cara menimbang 1 g briket ke dalam cawan yang telah diketahui massanya (Gunawan, et al., 2018: 3). Semakin banyak konsentrasi perekat dan semakin tinggi tekanan pengempaan tekanan menyebabkan kadar abu semakin tinggi (Bestari, et al., 2016: 17). Hasil penelitian Purwanto (2015:306), menyatakan bahwa semakin tinggi kadar abu maka semakin rendah nilai kalor yang dihasilkan. Komponen unsur kimia abu pada umumnya mengandung kalsium, magnesium, natrium, mangan, besi, aluminium, seng, silika, tembaga, kromium dan tergantung dari jenis biomassa (Alpian, et al., 2011 dalam Smith dan Idrus, 2017:27). Salah satu unsur utama yang terkandung dalam abu adalah silika dan pengaruhnya kurang baik terhadap nilai

kalor yang dihasilkan (Iskandar, 2012:33) Persamaan kadar abu dapat dilihat pada rumus 2.8. (Aristiyanto dan Palupi, 2014: 92).

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{A_1 - B_1}{C_1} \times 100\% \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan:

A_1 = Massa cawan dan sisa abu/ residu (g)

B_1 = Massa cawan kosong (g)

C_1 = Massa sampel yang digunakan (g)

2. *Volatile Matters*

Menurut Elfiano, et al (2014: 60) perhitungan persentase kadar zat menguap (*volatile matter*) yang terkandung di dalam briket menggunakan standar ASTM D – 3175 – 02. Semakin banyak kandungan *volatile matter* suatu biobriket menyebabkan semakin mudah biobriket tersebut terbakar sehingga laju pembakaran semakin cepat (Martynis, et al., 2012: 41). Persamaan *volatile matters* menggunakan rumus 2.9 (Patabang, 2011: 26).

$$\text{VM (\%)} = \left(\frac{BH - A_1}{A} \times 100\% \right) - \text{Kadar air (\%)} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

BH = Massa sampel dan cawan (g)

G = Massa cawan dan residu (g)

3. *Fixed Carbon*

Menurut Putro, et al (2015: 284) kadar karbon tetap (*Fixed Carbon*) adalah fraksi karbon yang terdapat dalam arang yang berupa zat padat / karbon yang

tertinggal sesudah penentuan kadar air, kadar zat terbang (VM) dan kadar abu. Melalui pengeluaran zat terbang dan kadar air menyebabkan karbon secara otomatis akan meningkat. Semakin besar kadar zat terbang maka akan menurunkan kadar karbon terikat (Darmawan, 2002 dalam Wiranata, et al., 2017:6). Formula kadar *fixed carbon* terdapat pada rumus 2.10 (Prabowo, et al., 2017: 86).

$$\text{Fixed carbon (\%)} = 100\% - (\% \text{ air} + \% \text{ abu} + \% \text{ VM}) \dots \dots \dots (2.10)$$

c. Sifat Ketahanan

1. *Drop test*

Menurut Prabowo, et al (2017: 86) *drop test* berfungsi menguji ketahanan biobriket dengan benturan pada permukaan keras dan datar ketika dijatuhkan dari ketinggian 2 meter. Perhitungan *drop test* biobriket menggunakan standar ASTM D 440 – 86 R02 dengan rumus 2.11 (Prabowo, et al 2017: 86)

$$\text{Massa yang tersisa (\%)} = \frac{(a - b)}{a} \times 100\% \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

a = Massa biobriket sebelum dijatuhkan (g)

b = Massa biobriket setelah dijatuhkan (g)

2. *Stability*

Stability adalah pengujian untuk mengetahui perubahan bentuk dan ukuran dari briket sampai briket mempunyai ketetapan ukuran dan bentuk (stabil) (Utomo dan Primastuti, 2013: 224). Apabila briket mengalami perubahan bentuk secara terus – menerus sehingga briket tidak mencapai kestabilan maka dapat dipastikan bahwa pembriketan gagal.

2.2.4 Briket Daun Kering

Semakin tinggi komposisi briket daun kering, semakin rendah kadar air yang diperoleh sehingga semakin mudah untuk penyalaan briket (Wandi, et al., 2015: 6). Briket daun kering harus menggunakan perekat dalam proses pencetakannya. Perekat diperlukan untuk menghasilkan briket yang kuat karena bahan baku (daun) tidak mempunyai kekuatan ikat yang cukup untuk mempertahankan bentuk terhadap pemuaiian dan benturan (Widayat dan Saputro, 2011: 150). Briket daun kering akan mudah hancur jika tidak menggunakan perekat, karena sifat dari bahan baku daun kering sangat rapuh dan mudah hancur.

Daun kering memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan bakar alternatif briket karena memiliki kadar air yang rendah. Briket daun kering sangat memerlukan perekat untuk menambah kekuatan ikat pada briket sehingga dapat mempertahankan bentuk saat terjadi pemuaiian dan benturan.

2.2.5 Perekat

Menurut Maulana, et al (2018: 2) fungsi dari perekat yaitu untuk menyatukan serbuk partikel arang, namun jumlah perekat yang digunakan juga harus diperhatikan karena semakin banyak perekat yang digunakan dapat meningkatkan asap yang dihasilkan. Zhang, et al (2018: 478) menyatakan bahwa pada umumnya, sifat-sifat yang diperlukan sebagai bahan pengikat briket adalah a) ikatan kuat, b) bebas polusi, c) tidak menimbulkan efek pada pelepasan panas dan pembakaran batubara, d) tidak menimbulkan efek pada pemanfaatan batubara, e) dapat diterima oleh lingkungan, f) tersedia secara ekonomis. Menurut Saleh (2013: 79) terdapat dua jenis perekat yang digunakan dalam pembriketan, yaitu perekat yang berasap (tar,

pitch, *clay*, dan molases) dan perekat yang kurang berasap (pati, dekstrin, dan tepung beras).

Saleh (2013: 79) juga menyatakan bahwa jenis perekat berpengaruh terhadap kerapatan, ketahanan tekan, nilai kalor, kadar air, dan kadar abu. Semakin banyak perekat maka semakin banyak abu yang dihasilkan (Sudiana, et al., 2017: 28). Semakin rendah persentase perekat maka kandungan air briket akan menurun (Subekti, et al., 2018: 7).

Perekat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah 15% perekat tapioka. Banyak jumlah perekat tapioka yang digunakan, menyebabkan semakin tinggi kadar abu biobriket (Smith dan Idrus, 2017:27). Penggunaan tapioka akan menghasilkan briket yang tidak berasap dan tahan lama (Saleh, 2013:83). Selain berpengaruh terhadap kadar abu, tapioka juga berpengaruh terhadap *volatile matters*. Semakin banyak perekat tepung tapioka, semakin tinggi *volatile matters* (Patabang, 2011: 28)

2.2.6 Ukuran Partikel Serbuk

Menurut Alfajriandi, et al (2017: 10) semakin kecil ukuran partikel dapat menurunkan nilai kalor briket arang dan ukuran partikel briket sebaiknya antara 60 – 80 mesh. Mesh digunakan untuk menyatakan jumlah lubang tiap inchi linear. Misalnya ayakan 30 mesh, artinya sepanjang 1 inchi terdapat 30 lubang. Semakin halus ukuran partikel maka kerapatannya akan semakin meningkat (Boedjang, 1973 dalam Sumangat dan Broto, 2009: 19).

Wang, et al (2016: 9) menyatakan bahwa ukuran partikel berpengaruh pada kekuatan dan kepadatan produk. Selain berpengaruh terhadap ketahanan fisik

briket, ukuran partikel juga berpengaruh terhadap waktu saat penyalaan briket dan juga stabilitas pada briket. Waweru, et al (2017: 108) menyatakan bahwa semakin kecil ukuran partikel mengakibatkan pengapian yang rendah dikarenakan peningkatan luas permukaan dan volume sehingga pembakaran lebih lama (kadar oksigen lebih banyak dibandingkan kadar karbon).

2.2.7 Tekanan Kompaksi Terhadap Briket

Tekanan kompaksi berpengaruh terhadap kepadatan yang dihasilkan briket. Mitchual, et al (2013: 6) menyatakan bahwa tekanan dan ukuran partikel berpengaruh terhadap tingkat kepadatan dan kuat tekan pada celah briket. Tekanan kompaksi atau beban kompaksi dalam pembuatan briket akan menentukan kekuatan mekanik briket. Semakin besar tekan kompaksi menyebabkan briket semakin kuat (Sjaifudin dan Sugiyana, 2016: 46).

Tekanan juga memiliki pengaruh terhadap laju pembakaran yang akan dihasilkan. Thabuot, et al (2015: 895) menyatakan bahwa saat kekuatan tekan dan kepadatan meningkat, laju pembakaran briket akan berkurang. Semakin besar kekuatan dan kepadatan maka semakin kecil laju pembakaran briket.

2.2.8 Limbah Penyulingan Daun Cengkeh

Kandungan daun cengkeh dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Kandungan Cengkeh

Kandungan	Daun cengkeh
<i>Volatile matter</i> (%)	46,0091
<i>Fixedcarbon</i> (%)	13,0309
Kadar air (%)	9,925
Kadar abu (%)	6,22
Kadar kalori (kal/ kg)	4089,199

(Sumber: Aklis, 2008: 10)

Menurut Adnan, et al (2018: 62) kelebihan dari daun cengkeh adalah memiliki kandungan *volatile matter* dan kadar kalori yang cukup tinggi. Kandungan *volatile matter* yang tinggi akan mempermudah penyalaan, namun mengakibatkan laju pembakaran menjadi lebih singkat. Kadar kalori yang tinggi akan meningkatkan temperatur pembakaran. Aklis (2008) melakukan penelitian tentang pembuatan briket limbah penyulingan daun cengkeh dan menghasilkan beberapa hasil uji pembakaran seperti: temperatur pembakaran, massa pembakaran dan laju pembakaran biobriket. Lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2.2 tentang karakteristik pembakaran briket limbah daun cengkeh, sedangkan pada gambar 2.3 disajikan contoh dari bentuk limbah penyulingan daun cengkeh.

Tabel 2. 2 Karakteristik Pembakaran Briket Limbah Daun Cengkeh

Jenis Pengujian	Nilai
Temperatur pembakaran (°C/menit)	243/ 7
Massa pembakaran (g/ menit)	0,62/ 25
Laju pembakaran biobriket (g/ menit)	0,31

(Sumber: Aklis, 2008: 66)



Gambar 2. 3 Limbah Daun Cengkeh
(Sumber: Adnan, et al., 2018: 59)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Perbandingan 2 bahan menunjukkan bahwa kadar perekat berpengaruh terhadap hasil *proximate* dimana briket memiliki persentase kadar air, kadar abu dan *fixed carbon* yang lebih tinggi, namun kadar kalor dan persentase *volatile matters* lebih rendah dibandingkan limbah daun cengkeh.
2. Variasi ukuran serbuk dan tekanan kompaksi yang digunakan berpengaruh terhadap uji *stability*, *drop test* dan densitas. Semakin tinggi nilai densitas akan menyebabkan briket menjadi semakin kuat sehingga persentase massa yang hilang menurun. Besarnya densitas tidak menentukan seberapa cepatnya briket mencapai kestabilan. Semakin kecil ukuran briket maka semakin kecil persentase perubahan dimensi briket pada setiap jamnya.
3. Tekanan kompaksi tidak terlalu berpengaruh terhadap struktur makro karena dilihat perbandingan ukuran mesh yang sama terhadap kedua tekanan yang berbeda, tidak nampak perubahannya.
4. Pada uji laju dekomposisi, variasi ukuran serbuk dan tekanan kompaksi berpengaruh terhadap temperatur maksimal dan sisa massa. Semakin tinggi tekanan yang digunakan mengakibatkan lebih lama mencapai temperatur maksimal, lebih cepat dalam pengeringan, lebih lama *devolatilization*

dan lebih lama pada proses *char combustion*.

5. Ukuran serbuk berpengaruh terhadap sisa abu yang dihasilkan dan lamanya pembakaran. Semakin kecil ukuran serbuk maka akan menghasilkan sisa abu yang lebih banyak.

5.2 Saran

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka terdapat saran sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya harus lebih memperhatikan faktor apa saja yang mempengaruhi karakteristik briket.
2. Variasi ukuran serbuk dan tekanan kompaksi harus diperbanyak dengan selisih angka yang digunakan tidak terpaut jauh.
3. Waktu dekomposisi sebaiknya diperpanjang hingga tidak terjadi perubahan massa dan menjadi stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, A. B., Subroto, dan S. Putro. 2018. Analisis Karakteristik Pembakaran Langsung (Co-Combustion) Arang Kayu dan Daun Cengkeh Sisa Destilasi Minyak Atsiri Dengan Variasi Komposisi. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 19(2): 55-65.
- Aklis, N. 2008. Karakteristik Pembakaran Limbah Daun Cengkeh Sisa Proses Penyulingan Minyak Cengkeh melalui Sistem Co-Combustion dan Briketing. *Simposium Nasional RAPI VII*. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta. 8-15
- _____. 2008. Pengaruh Komposisi Batubara terhadap Karakteristik Pembakaran Daun Cengkeh Sisa Destilasi Minyak Atsiri. *Media Mesin* 19(2): 63-68.
- Alfajriandi, F. Hamzah, dan F. H. Hamzah. 2017. Perbedaan Ukuran Partikel terhadap Kualitas Briket Briket Arang Daun Pisang Kering. *JOM Faperta UR* 4(1): 1-13.
- Allo, J. S. T., A. Setiawan, dan A. S. Sanjaya. 2018. Pemanfaatan Sekam Padi untuk Pembuatan Biobriket menggunakan Metode Pirolisa. *Jurnal Chemurgy* 2(1): 17-23.
- Amin, A. Z., Pramono dan Sunyoto. 2017. Pengaruh Variasi Jumlah Perekat Tepung Tapioka terhadap Karakteristik Briket Arang Tempurung Kelapa. *Saintekno* 2(15): 111-118.
- Arifin, Z., Hantarum, dan W. Nuriana. 2018. Nilai Kalor Briket Limbah Kayu Sengon dengan Perekat Maizena Lebih Tinggi dibandingkan Tapioka,. *Jurnal Pilar Teknologi* 3(2): 37-41.
- Aristiyanto., E. Y. dan A. E. Palupi. 2014. Pembuatan Biobriket dari Campuran Limbah Kulit Pisang dan Serbuk Gergaji menggunakan Perekat Tetes Tebu. *JTM* 3(1): 89-95.
- Bestari, W. G., M. Mendopa, dan R. Hasibuan. 2016. Karakteristik Briket dari Sekam Padi dan Ketaman Kayu Berperekat Daun Jambu Mete. *Jurnal Teknik Kimia USU* 5(2): 15-20.
- Elfiano, E., Subekti, P, dan A. Sadil. 2014. Alat Proksimat dan Nilai Kalor pada Briket Bioarang Limbah Ampas Tebu dan Bioarang Kayu. *Jurnal APTEK* 6(1): 58-64.
- Gunawan, P., A. Ali, dan F. H. Hamzah. 2018. Variasi Komposisi Jerami dan Sekam Padi terhadap Mutu Briket Bioarang. *JOM Faperta* 5(1): 1-13.
- Iskandar, T. 2012. Identifikasi Nilai Kalor Biochar dari Tongkol Jagung dan Sekam Padi pada Proses Pirolisis. *Jurusan Teknik Kimia* 7(1): 32-35.
- Kasrun, A. W., W. Anggono, dan T. Sutrisno. 2016. Karakteristik Pembakaran Briket dari Limbah Daun Pohon Bintaro. *Jurnal Teknik Mesin* 16(2): 64-70.
- Kulsum, U. 2016. Pembuatan Briket Arang dari Campuran Limbah Tongkol Jagung, Kulit Durian dan Serbuk Gergaji menggunakan Perekat Tapioka. *Distilasi* 1(1): 42-50.
- Lestari, L., E. S. Hasan, dan Risna. 2017. Pengaruh Tekanan dan Ukuran Partikel terhadap Kualitas Briket Arang Cangkang Cokelat. *Jurnal Aplikasi Fisika* 13(2): 1-8.
- Malakuseya, J. J., Sudjito, dan M. N. Sasongko. 2013. Pengaruh Prosentase Campuran Briket Limbah Serbuk Kayu Gergajian dan Limbah Daun Kayuputih terhadap Nilai Kalor dan Kecepatan Pembakaran. *Jurnal Rekayasa Mesin* 4(3): 194-198.
- Martyanis, M., Sundari, E. & Sari, E., 2012. Pembuatan Biobriket Dari Limbah Cangkang Kakao. *Jurnal Litbang Industri* 2(1): 35-41.

- Maulana, A., F. Hamzah, dan F. H. Hamzah. 2018. Kombinasi Ampas Tebu dan Serbuk Gergaji Kayu Terhadap Kualitas Briket. *JOM UR* 5(2): 1-15.
- Mitchual, S. J., K. Frimpong-Mensah, dan N. A. Darkwa. 2013. Effect of Species, Particle Size and Compacting Pressure on Relaxed Density and Compressive Strength of Fuel Briquettes. *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 4(30): 1-6.
- Niedziółka, I., M. Sprawka, B. Zaklika, A. Kraszkievicz, dan A. Przywara. 2018. Effect of Biomaterials and Working Pressure of a Briquetting Machine on Physical Characteristics and Energy Consumption of Briquette Production. *BIO Web of Conferences 10*. Contemporary Research Trends in Agricultural Engineering. 1-4.
- Patabang, D. 2011. Studi Karakteristik Termal Briket Arang Kulit Buah Kakao. *Jurnal Mekanikal* 2(1): 23-31.
- Prabowo, W. H., M. V. Lutfiana, Rosid, dan M. B. Ubaidillah. 2017. Pengaruh Komposisi Briket Tepung pada Biobriket Baglog Jamur. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 18(2): 83-90.
- Purwanto, D. 2015. Pengaruh Ukuran Partikel Tempurung Sawit dan Tekanan Kempa Terhadap Kualitas Biobriket. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 33(4): 303-313.
- Putro, S., Musabbikhah, dan Suranto. 2015. Variasi Temperatur Waktu Karbonisasi untuk Meningkatkan Nilai Kalor dan Memperbaiki Sifat Proximate Biomassa sebagai Bahan Pembuat Briket yang Berkualitas. *Simposium Nasional RAPI XI*. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta. 282-288
- Saleh, A. 2013. Efisiensi Konsentrasi Perekat Tepung Tapioka Terhadap Nilai Kalor Pembakaran pada Biobriket Batang Jagung (*Zea mays*. L). *Jurnal Teknosains* 7(1): 78-89.
- Satmoko, M. E. A., D. D. Saputro dan A. Budiyo. 2013. Karakterisasi Briket dari Limbah Pengolahan Kayu Sengon dengan Metode Cetak Panas. *Journal of Mechanical Engineering Learning* 2(1): 14-21.
- Sjaifudin, A. dan D. Sugiyana. 2016. Sintesis dan Peningkatan Performa Bahan Bakar Briket dari Limbah Abu Dasar Batubara dan Limbah Sabut Kelapa di Industri Tekstil. *Arena Tekstil* 31(1): 43-50.
- Smith, H. dan S. Idrus. 2017. Pengaruh Penggunaan Perekat Sagu dan Tapioka terhadap Karakteristik Briket dari Biomassa Limbah Penyulingan Minyak Kayu Putih di Maluku. *Majalah Biam* 13(2): 21-32.
- Subekti, A., F. H. Hamzah, dan A. Ali. 2018. Variasi Konsentrasi Perekat Tapioka dan Arang Cangkang Biji Buah Picung (*Pangium edule Reinw*) Terhadap Kualitas Briket Arang. *Jurnal UR* 5(1): 1-10.
- Subroto, 2006. Karakteristik Pembakaran Biobriket Campuran Batubara, Ampas Tebu dan Jerami. *MEDIA MESIN*, Volume 7(2): 47-54.
- Subroto, T. Tjahjono, dan A. MKR. 2017. Pengaruh Variasi Komposisi Bioriket Campuran Arang Kayu dan Sekam Padi terhadap Laju Pembakaran, Temperatur Pembakaran dan Laju Pengurangan Massa. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 17(1): 34-43.
- Sudiana, N., L. Lestari, M. Zamrun, Y. A. Koedoes, G. E. Sandra, Y. Biringgalo, L. Arfad, P. A. Setyo, dan E. Safitri. 2017. Pembuatan Briket Energi Tinggi dari Cangkang Kakao yang diaktivasi dengan Mikrowave. *Jurnal Aplikasi Fisika* 13(1): 27-32.

- Sudiro dan Suroto. 2014. Pengaruh Komposisi dan Ukuran Serbuk Briket yang Terbuat dari Batubara dan Jerami Padi terhadap Karakteristik Pembakaran. *Jurnal Saintesch Politeknik Indonusa Surakarta* 1(2): 1-18.
- Sulistiyanto, A., 2006. Karakteristik Pembakaran Biobriket Campuran Batubara dan Sabut Kelapa. *MEDIA MESIN*, Volume 7(2): 77-84.
- Sumangat, D. dan W. Broto. 2009. Kajian Teknik dan Ekonomis Pengolahan Briket Bungkil Biji Jarak Pagar sebagai Bahan Bakar Tungku. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian* 5: 18-26.
- Surono, U. B. 2010. Peningkatan Kualitas Pembakaran Biomassa Limbah Tongkol Jagung sebagai Bahan Bakar Alternatif dengan Proses Karbonisasi dan Pembriketan. *Jurnal Rekayasa Proses* 4(1): 13-18.
- Syamsiro, M. dan H. Saptoadi. 2007. *Pembakaran Briket Biomassa Cangkang Kakao*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Teknologi. Yogyakarta 24 November.
- Thabuot, M., T. Pagketanang, K. Panyacharoen, P. Mongkut, dan P. Wongwicha. 2015. Effect of Applied Pressure and Binder Proportion on the Fuel Properties of Holey Bio-Briquettes. *2015 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies*. KhonKaen University. Thailand. 890-895.
- Thunman, H. dan B. Leckner. 2007. *Thermo Chemical Conversion of Biomass and Wastes*. Göteborg: Nordic graduate school BiofuelGS-2 Chalmers.
- Utomo, A. F. dan N. Primastuti. 2013. Pemanfaatan Limbah Furniture Enceng Gondog (*Eichornia crassipes*) di Koen Gallery sebagai Bahan Dasar Pembuatan Briket Bioarang. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri* 2(2): 220-225.
- Wakchaure, G. dan I. Mani. 2009. Effect of Binders and Pressures on Physical Quality of Some Biomass Briquettes. *Journal of Agricultural Engineering* 46(2): 24-30.
- Wandi, A., S. Harri, dan Askin. 2015. Pemanfaatan Limbah Daun Kering Menjadi Briket untuk Bahan Bakar Tungku. *Berkala Ilmiah PERTANIAN* 1(1): 1-6.
- Wang, Y., K. Wu, dan Y. Sun. 2016. Effects of Raw Material Particle Size on the Briquetting Process of Rice Straw. *Journal of the Energy Institute* 91: 153-162.
- Waweru, Josephat, dan C. David. 2017. Effect of the Briquette Sizes and Moisture Contents on Combustion Characteristics of Composite Briquettes. *International Journal of Innovative Science* 4(7): 102-111.
- Widarti, B. N., P. Sihotang, dan E. Sarwono. 2016. Penggunaan Tongkol Jagung akan Meningkatkan Nilai Kalor pada Briket. *Jurnal Integrasi Proses* 6(1): 16-21.
- Widayat, W. dan D. D. Saputro. 2011. Pengolahan Limbah Daun Hutan Mini Unnes Menjadi Bahan Bakar Padat. *Sains Teknologi* 9(2): 149-158.
- Wiranata, L. C., F. Hamzah, dan F. Restuhadi. 2017. Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit dalam Pembuatan Briket dengan Penambahan Pelepah Kelapa Sawit. *Jom Faperta Ur* 4(1): 1-8.
- Zhang, G., Suna, Y. dan Y. Xua. 2018. Review of Briquette Binders and Briquetting Mechanism. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82: 477-487