

**PEMANFAATAN LIMBAH BATANG SINGKONG
DENGAN PENAMBAHAN BATUBARA SEBAGAI BRIKET
MENGUNAKAN PEREKAT TAPIOKA**

(Skripsi)

Oleh

AGUNG CRISDHIANTHORO RHAHARJO



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

PEMANFAATAN LIMBAH BATANG SINGKONG DENGAN PENAMBAHAN BATUBARA SEBAGAI BRIKET MENGUNAKAN PEREKAT TAPIOKA

Oleh

AGUNG CRISDHIANTHORO RHAHARJO

Pengembangan produk turunan limbah batang singkong sangat diutamakan di dalam upaya peningkatan nilai ekonomis limbah batang singkong. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah batang singkong dengan penambahan batubara sebagai briket menggunakan perekat tapioka, mengetahui pengaruh komposisi bahan baku utama dan konsentrasi perekat tapioka terhadap karakteristik briket, dan mengetahui karakteristik briket berbahan baku limbah batang singkong dengan penambahan batubara menggunakan perekat tapioka.

Penelitian ini disusun secara faktorial dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor dan tiga ulangan. Faktor pertama adalah komposisi bahan baku utama antara limbah batang singkong dan batubara (P) yang terdiri dari empat taraf perlakuan yaitu 50%:50% (P₁), 60%:40% (P₂), 70%:30% (P₃), dan 80%:20% (P₄). Faktor kedua adalah konsentrasi perekat tapioka (K) yang terdiri dari tiga taraf perlakuan yaitu 15% (K₁), 17,5% (K₂), dan 20% (K₃). Parameter yang diamati terdiri dari densitas, kadar air, kekuatan tekan, *shatter resistance index*,

nilai kalor, laju pembakaran, dan suhu dasar plat pemasakan (panci) saat pembakaran briket. Data yang telah diperoleh dianalisa atau diolah dengan menggunakan analisis sidik ragam untuk mengetahui pengaruh dari setiap faktor percobaan. Jika dalam hasil analisis sidik ragam terdapat pengaruh nyata dari faktor percobaan, maka analisa dilanjutkan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) untuk melihat perbedaan pengaruh antar taraf perlakuan pada selang kepercayaan sebesar 95%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah batang singkong dengan penambahan batubara dapat dimanfaatkan sebagai briket menggunakan perekat tapioka. Selain itu, komposisi bahan baku utama berpengaruh nyata terhadap kekuatan tekan dan laju pembakaran briket. Semakin tinggi persentase batubara dalam komposisi bahan baku utama cenderung meningkatkan kekuatan tekan dan menurunkan laju pembakaran briket. Sementara itu, konsentrasi perekat tapioka berpengaruh nyata terhadap densitas, kekuatan tekan, *shatter resistance index*, dan laju pembakaran briket. Semakin rendah konsentrasi perekat tapioka yang digunakan cenderung meningkatkan densitas, kekuatan tekan, dan *shatter resistance index* serta menurunkan laju pembakaran briket. Briket yang dihasilkan memiliki karakteristik sebagai berikut: densitas berkisar 0,3653-0,5080 g/cm³, kadar air berkisar 4,8174-7,6562%, kekuatan tekan berkisar 45,0933-48,5129 N/cm², *shatter resistance index* berkisar 99,8841-99,9297%, nilai kalor aktual berkisar 4.296,01-5.014,80 kal/g, nilai kalor teoritis berkisar 4.535,34-5.123,66 kal/g, laju pembakaran briket berkisar 0,3634-0,4239 g/menit, dan suhu dasar plat pemasakan (panci) saat pembakaran briket mampu mencapai suhu

minimal yang harus dicapai agar pembakaran briket dapat digunakan untuk memanaskan minyak (180 °C) dalam menggoreng bahan makanan.

Kata kunci: briket, limbah batang singkong, batubara, perekat tapioka.

ABSTRACT

UTILIZATION OF CASSAVA STEMS WASTE WITH ADDITION OF COAL AS BRIQUETTES USING TAPIOCA ADHESIVE

By

AGUNG CRISDHIANTHORO RHAHARJO

The development of derivative products of cassava stems waste is highly preferred in order to increase the economic value of cassava stems waste. The research aimed to utilize cassava stems waste with addition of coal as a briquettes using tapioca adhesive, determine the effect of the composition of the main raw material and the concentration of tapioca adhesive on the characteristics of briquettes, and determine the characteristics of briquettes made from cassava stems waste with the addition of coal using tapioca adhesive.

This research was arranged in factorial on Complete Randomized Design (CRD) with two factors and three replications. The first factor is the composition of the main raw material between cassava stems waste and coal (P) which consists of four levels of treatment are 50%:50% (P₁), 60%:40% (P₂), 70%:30% (P₃), and 80%:20% (P₄). The second factor is concentration of tapioca adhesive (K) which consists of three levels of treatment are 15% (K₁), 17,5% (K₂), and 20% (K₃). The parameters observed consisted of density, moisture content, compressive strength,

shatter resistance index, calorific value, combustion rate, and temperature of the cooking plate (pan) during briquetting combustion. Data that has been obtained is analyzed or processed using analysis of variance to determine the effect of each of treatment factor. If the results of the analysis of variance of the fingerprint have a significant effect on the experimental factors, then the analysis will continued with the LSD (Least Significant Difference) test to see the difference in the effect of each treatment at 95% interval.

The results showed that the cassava stems waste with addition of coal can be used as a briquettes using tapioca adhesive. In addition, the composition of the main raw material significantly affected to the compressive strength and the combustion rate of briquettes. As higher the percentage of coal in the composition of the main raw material as increase the compressive strength and reduce the combustion rate of briquettes. Meanwhile, the concentration of tapioca adhesive significantly affected the density, compressive strength, shatter resistance index, and also briquette combustion rate. As lower the concentration of tapioca adhesive as increase the density, compressive strength, and shatter resistance index and reduce the combustion rate of briquettes. The briquettes produced have some of characteristics are: density ranges from 0,3653-0,5080 g/cm³, moisture content ranges from 4,8174-7,6562%, compressive strength ranges from 45,0933-48,5129 N/cm², shatter resistance index ranges from 99,8841-99,9297%, the actual calorific value ranges from 4.296,01-5.014,80 kal/g, the theoretical calorific value ranges from 4.535,34-5.123,66 kal/g, the combustion rate of briquettes ranges from 0,3634-0,4239 g/minute, and the cooking plate (pan) when combustion briquettes can reach the minimum

temperature that must be achieved in order to burn of briquettes can be used to heat the oil (180 °C) in frying food ingredients.

Keywords: briquettes, cassava stem waste, coal, tapioca adhesive.

**PEMANFAATAN LIMBAH BATANG SINGKONG
DENGAN PENAMBAHAN BATUBARA SEBAGAI BRIKET
MENGUNAKAN PEREKAT TAPIOKA**

Oleh

AGUNG CRISDHIANTHORO RHAHARJO

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

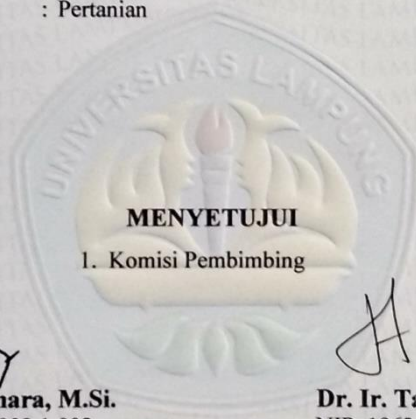
Judul Skripsi : **PEMANFAATAN LIMBAH BATANG SINGKONG
DENGAN PENAMBAHAN BATUBARA SEBAGAI
BRIKET MENGGUNAKAN PEREKAT TAPIOKA**

Nama Mahasiswa : **Agung Crisdhianthoro Riharjo**

No. Pokok Mahasiswa : 1514071029

Jurusan : Teknik Pertanian

Fakultas : Pertanian



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP 19621010 198902 1 002

Dr. Ir. Tamrin, M.S.
NIP 19621231 198703 1 030

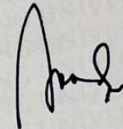
2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP 19650527 199303 1 002

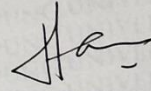
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

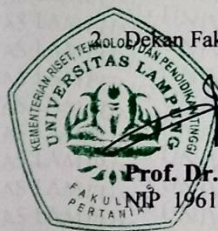
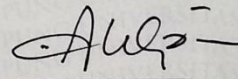
Ketua : **Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.**



Sekretaris : **Dr. Ir. Tamrin, M.S.**



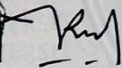
Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Siti Suharyatun, S.T.P., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Pertanian

Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.

NIP 19611020 198603 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 27 Juni 2019

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Agung Crisdhianthoro Rhaharjo** NPM **1514071029**.

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) **Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.** dan 2) **Dr. Ir. Tamrin, M.S.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 19 Juli 2019
Yang membuat pernyataan



Agung Crisdhianthoro Rhaharjo
NPM. 1514071029

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Branti Raya, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan pada tanggal 17 Agustus 1997, sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Sri Suharjo dan Ibu Suparti. Penulis menyelesaikan pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Ekadyasa Radin Inten II Lampung pada tahun 2002-2003, Sekolah Dasar (SD) Negeri 2 Haduyang pada tahun 2003-2009, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Natar pada tahun 2009-2012, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Natar pada tahun 2012-2015. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa S1 Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2015 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan mendapatkan bantuan beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA) dari Kemenristekdikti pada tahun 2016-2018.

Pada bulan Januari hingga Maret 2018, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode 1 Tahun 2018 dengan tema “Membangun dan Meningkatkan Kemandirian Desa” di Desa Banding Agung, Kecamatan Talang Padang, Kabupaten Tanggamus. Sementara itu pada bulan Juli hingga Agustus 2018, penulis telah melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. Kebun Sayur Segar

(*Parung Farm*) Unit Produksi Kebun Cisarua dengan judul “Analisis Sistem Pengendalian Persediaan Bahan Baku Produksi Sayuran Segar Hidroponik di PT. Kebun Sayur Segar (*Parung Farm*) Unit Produksi Kebun Cisarua”.

Selama menjadi mahasiswa, penulis telah menjadi Asisten Dosen Pengampu pada mata kuliah Agroklimatologi (Klimatologi Pertanian) tahun ajaran 2017-2018.

Dalam bidang organisasi kemahasiswaan, penulis tercatat aktif dalam Organisasi/Lembaga Kemahasiswaan internal kampus sebagai Anggota Bidang Pengembangan Sumber Daya Manusia (PSDM) Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) (Periode 2016-2017 dan Periode 2017-2018) dan Kepala Dinas Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Pertanian Universitas Lampung (Periode 2017-2019).

SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan hanya kepada Allah SWT Dzat Yang Maha Agung, atas berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, suri tauladan sepanjang zaman.

Skripsi dengan judul “Pemanfaatan Limbah Batang Singkong dengan Penambahan Batubara Sebagai Briket Menggunakan Perekat Tapioka” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
2. Bapak Sri Suharjo dan Ibu Suparti, selaku orang tua yang telah mencurahkan segala doa, kasih dan sayangnya pada penulis selama ini;
3. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si., selaku Ketua Komisi Pembimbing (Pembimbing Utama) sekaligus selaku Pembimbing Akademik (PA) atas kesediaannya untuk memberikan nasihat, kritik, dan saran selama proses penyusunan skripsi;

4. Bapak Dr. Ir. Tamrin, M.S., selaku pembimbing kedua atas kesediaannya untuk memberikan nasihat, kritik, dan saran selama proses penyusunan skripsi;
5. Ibu Dr. Siti Suharyatun, S.TP., M.Si., selaku penguji atas kesediaannya untuk memberikan nasihat, kritik, dan saran selama proses penyusunan skripsi;
6. Bapak Ahmad Tusi, S.TP., M.Si., selaku Pembimbing Akademik (PA) pada tahun ajaran 2015-2017 atas kesediaannya untuk memberikan nasihat, kritik, dan saran selama perkuliahan;
7. Bapak Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
8. Seluruh dosen dan staff Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah memberikan beragam ilmu pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
9. PT. Bukit Asam Tbk Unit Pabrik Briket Natar, yang telah memperkenankan penulis untuk mendapatkan bahan penelitian berupa batubara BA64 secara percuma;
10. Nurul Oktaviani Eka Putri, selaku rekan visioner;
11. Ardian Fahri, Dominikus Yulian Pradana, Fajar Hadi Puswito, Linggar Rusna Krisnadi, Marisa Andriyani, M. Febriandika Z, M. Hammam A Z, M. Ulfan Wahyu H, Nazova Falahbian Wahdan, dan Retama Agung Pangestu;
12. Seluruh rekan atau keluarga Teknik Pertanian Angkatan 2015;
13. Seluruh rekan atau keluarga Bidang Pengembangan Sumber Daya Manusia (PSDM) Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) dan Dinas

Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) Badan Eksekutif
Mahasiswa (BEM) Fakultas Pertanian.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, namun demikian penulis berharap bahwa skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, Juli 2019
Penulis

Agung Crisdhianthoro Rhaharjo

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Hipotesis Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tanaman Singkong.....	7
2.1.1 Sejarah Penyebaran Tanaman Singkong	7
2.1.2 Taksonomi dan Morfologi Tanaman Singkong.....	8
2.1.3 Syarat Tumbuh Tanaman Singkong	10
2.1.4 Perkembangan Luas Panen, Produksi dan Produktivitas Tanaman Singkong	11
2.2 Limbah Batang Singkong	11
2.2.1 Karakteristik Fisik Limbah Batang Singkong	12
2.2.2 Karakteristik Kimia Limbah Batang Singkong	13
2.2.3 Potensi dan Prospek Pemanfaatan Limbah Batang Singkong ..	14
2.3 Batubara.....	16
2.4 Briket	18
2.4.1 Jenis-Jenis Briket	18
2.4.2 Prosedur Pembuatan Briket	21
2.4.3 Karakteristik Briket	23

2.4.4	Perekat Tapioka dalam Pembuatan Briket.....	25
III. METODOLOGI PENELITIAN		29
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	29
3.3	Metode Penelitian.....	30
3.4	Prosedur Penelitian.....	31
3.4.1	Persiapan Alat dan Bahan	31
3.4.2	Pengecilan Ukuran Bahan Baku Tahap Pertama	33
3.4.3	Pengeringan Bahan Baku.....	33
3.4.4	Pengecilan Ukuran Bahan Baku Tahap Kedua.....	33
3.4.5	Pengayakan Bahan Baku	34
3.4.6	Persiapan Perekat Tapioka.....	34
3.4.7	Pencampuran Bahan Baku dengan Perekat Tapioka	34
3.4.8	Pencetakan atau Pengempaan Briket	36
3.4.9	Pendinginan dan Pengeringan Briket.....	36
3.4.10	Pengujian Karakteristik Briket	37
3.4.10.1	Densitas.....	37
3.4.10.2	Kadar Air	38
3.4.10.3	Kekuatan Tekan	38
3.4.10.4	<i>Shatter Resistance Index (SRI)</i>	39
3.4.10.5	Nilai Kalor	39
3.4.10.6	Laju Pembakaran	40
3.4.10.7	Suhu Dasar Plat Pemasakan (Panci) Saat Pembakaran.....	41
3.4.11	Analisa atau Pengolahan Data	42
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Produksi Briket Berbahan Baku Limbah Batang Singkong dengan Penambahan Batubara Menggunakan Perekat Tapioka	43
4.1.1	Pengecilan Ukuran Bahan Baku Tahap Pertama	44
4.1.2	Pengeringan Bahan Baku.....	44
4.1.3	Pengecilan Ukuran Bahan Baku Tahap Kedua.....	45
4.1.4	Pengayakan Bahan Baku	46
4.1.5	Persiapan Perekat Tapioka.....	47
4.1.6	Pencampuran Bahan Baku dengan Perekat Tapioka	47
4.1.7	Pencetakan atau Pengempaan Briket	48
4.1.8	Pendinginan dan Pengeringan Briket.....	49
4.2	Karakteristik Briket Berbahan Baku Limbah Batang Singkong dengan Penambahan Batubara Menggunakan Perekat Tapioka	50
4.2.1	Densitas.....	51
4.2.2	Kadar Air	54
4.2.3	Kekuatan Tekan	58

4.2.4	<i>Shatter Resistance Index</i>	63
4.2.5	Nilai Kalor	67
4.2.6	Laju Pembakaran	71
4.2.7	Suhu Dasar Plat Pemasakan (Panci) Saat Pembakaran	75
V.	SIMPULAN DAN SARAN	82
5.1	Simpulan	82
5.2	Saran	83
	DAFTAR PUSTAKA	84

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik fisik limbah batang singkong.	12
2. Karakteristik kimia limbah batang singkong.	13
3. Standar karakteristik briket arang dan bio-batubara di Indonesia.	24
4. Bagan hasil perambangan (randomisasi) menurut RAL faktorial.	30
5. Formulasi bobot adonan briket berbahan baku limbah batang singkong dengan penambahan batubara menggunakan perekat tapioka.	35
6. Formulasi persentase adonan briket berbahan baku limbah batang singkong dengan penambahan batubara menggunakan perekat tapioka.	35
7. Karakteristik briket berbahan baku limbah batang singkong dengan penambahan batubara menggunakan perekat tapioka.	50
8. Nilai densitas briket akibat konsentrasi perekat tapioka yang bervariasi. ...	52
9. Nilai kekuatan tekan briket akibat komposisi bahan baku utama yang bervariasi.	59
10. Nilai kekuatan tekan briket akibat konsentrasi perekat tapioka yang bervariasi.	61
11. Nilai <i>shatter resistance index</i> akibat konsentrasi perekat tapioka yang bervariasi.	64
12. Nilai laju pembakaran briket akibat komposisi bahan baku utama yang bervariasi.	72
13. Nilai laju pembakaran briket akibat konsentrasi perekat tapioka yang bervariasi.	73

Lampiran

14.	Karakteristik batubara yang diperoleh dari PT. Bukit Asam Tbk Unit Pabrik Briket Natar.	93
15.	Data bobot (g) briket yang digunakan dalam pengujian densitas briket.	94
16.	Data diameter (cm) briket yang digunakan dalam pengujian densitas briket.	95
17.	Data panjang (cm) briket yang digunakan dalam pengujian densitas briket.	96
18.	Data densitas (g/cm^3) briket.	97
19.	Hasil analisis sidik ragam pengaruh komposisi bahan baku utama dan konsentrasi perekat tapioka terhadap densitas briket.	98
20.	Hasil uji BNT pengaruh konsentrasi perekat tapioka terhadap densitas briket.	98
21.	Data bobot awal (g) briket dalam pengujian kadar air briket.	99
22.	Data bobot akhir (g) briket dalam pengujian kadar air briket.	100
23.	Data kadar air (%bb) briket.	101
24.	Data bobot beban uji (kg) dalam pengujian kekuatan tekan briket.	102
25.	Data diameter (cm) briket dalam pengujian kekuatan tekan briket.	103
26.	Data kekuatan tekan (N/cm^2) briket.	104
27.	Hasil analisis sidik ragam pengaruh komposisi bahan baku utama dan konsentrasi perekat tapioka terhadap kekuatan tekan briket.	105
28.	Hasil uji BNT pengaruh komposisi bahan baku utama terhadap kekuatan tekan briket.	105
29.	Hasil uji BNT pengaruh konsentrasi perekat tapioka terhadap kekuatan tekan briket.	106
30.	Data bobot awal (g) briket dalam pengujian <i>shatter resistance index</i> briket.	107
31.	Data bobot akhir (g) briket dalam pengujian <i>shatter resistance index</i> briket.	108

32.	Data <i>shatter resistance index</i> (%) briket.....	109
33.	Hasil analisis sidik ragam pengaruh komposisi bahan baku utama dan konsentrasi perekat tapioka terhadap <i>shatter resistance index</i> briket...	110
34.	Hasil uji BNT pengaruh konsentrasi perekat tapioka terhadap <i>shatter resistance index</i> briket.	110
35.	Data nilai kalor (kal/g) teoritis briket.....	111
36.	Data nilai kalor (kal/g) aktual briket.....	112
37.	Data bobot (g) briket dalam pengujian laju pembakaran briket.	113
38.	Data lama pembakaran (menit) briket dalam pengujian laju pembakaran briket.	114
39.	Data laju pembakaran (g/menit) briket.	115
40.	Hasil analisis sidik ragam pengaruh komposisi bahan baku utama dan konsentrasi perekat tapioka terhadap laju pembakaran briket.	116
41.	Hasil uji BNT pengaruh komposisi bahan baku utama terhadap laju pembakaran briket.....	116
42.	Hasil uji BNT pengaruh konsentrasi perekat tapioka terhadap laju pembakaran briket.....	117
43.	Data suhu dasar plat pemasakan (panci) ($^{\circ}\text{C}$) saat pembakaran briket.	118

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Limbah batang singkong.....	15
2. Batubara.	16
3. Briket.....	20
4. Bagan alir produksi briket.....	21
5. Bagan alir prosedur atau pelaksanaan penelitian.	32
6. Alat pencetak atau pengempa briket mekanis tipe ulir.	36
7. Produk briket berbahan baku limbah batang singkong dengan penambahan batubara menggunakan perekat tapioka.....	43
8. Hubungan antara pengaruh komposisi bahan baku utama dan konsentrasi perekat tapioka terhadap densitas briket.	52
9. Hubungan antara pengaruh komposisi bahan baku utama dan konsentrasi perekat tapioka terhadap kadar air briket.	55
10. Hubungan antara pengaruh komposisi bahan baku utama dan konsentrasi perekat tapioka terhadap kekuatan tekan briket.	59
11. Hubungan antara pengaruh komposisi bahan baku utama dan konsentrasi perekat tapioka terhadap <i>shatter resistance index</i> briket.	64
12. Hubungan pengaruh komposisi bahan baku utama terhadap nilai kalor aktual briket.	68
13. Hubungan antara pengaruh komposisi bahan baku utama dan konsentrasi perekat tapioka terhadap nilai kalor teoritis briket.	69
14. Hubungan antara pengaruh komposisi bahan baku utama dan konsentrasi perekat tapioka terhadap laju pembakaran briket.	71

15.	Perubahan suhu dasar plat pemasakan (panci) pada saat pembakaran briket	77
-----	---	----

Lampiran

16.	Perajangan limbah batang singkong.	121
17.	Penumbukan batubara.	121
18.	Pengeringan serbuk/butiran kasar limbah batang singkong.....	121
19.	Penggilingan serbuk/butiran kasar limbah batang singkong.	122
20.	Penggilingan serbuk/butiran kasar batubara.	122
21.	Pengayakan bahan baku.	122
22.	Serbuk/butiran halus limbah batang singkong.	123
23.	Serbuk/butiran halus batubara.....	123
24.	Tepung tapioka.....	123
25.	Persiapan perekat tapioka.	124
26.	Pencampuran bahan baku utama dengan perekat tapioka.....	124
27.	Adonan/bahan umpan briket.	124
28.	Pencetakan atau pengempaan briket.	125
29.	Pendinginan dan pengeringan briket.....	125
30.	Briket berbahan baku limbah batang singkong dengan penambahan batubara menggunakan perekat tapioka.	125
31.	Pengukuran bobot briket.	126
32.	Pengukuran diameter briket.	126
33.	Pengukuran panjang briket.	126
34.	Pengujian <i>shatter resistance index</i> briket.	127
35.	Pengujian kadar air briket.	127
36.	Pengujian nilai kalor aktual briket.	127

37.	Pengujian laju pembakaran briket.....	128
38.	Pengujian suhu dasar plat pemasakan (panci) saat pembakaran briket.	128

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu jenis tanaman pangan yang sudah lama dikenal dan dibudidayakan oleh masyarakat di sebagian besar wilayah Indonesia ialah singkong atau ubi kayu.

Tanaman singkong merupakan tanaman umbi-umbian yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan, bahan pakan dan bahan baku industri. Selama periode 2012-2016, Propinsi Lampung menempati urutan pertama sebagai sentra produksi singkong di Indonesia dengan rata-rata luas panen singkong mencapai 295,55 ribu hektar dengan kontribusi luas panen mencapai 27,71% dan rata-rata produksi singkong mencapai 7,74 juta ton dengan kontribusi produksi mencapai 33,93% (Pusdatin, 2016).

Dalam proses produksi singkong, selain menghasilkan produk utama berupa umbi singkong juga menghasilkan limbah batang singkong, karena hanya 10% dari tinggi batang singkong yang dimanfaatkan untuk ditanam kembali (bibit), dan 90% sisanya merupakan limbah yang tidak dimanfaatkan (Sumada dkk., 2011). Keberadaan limbah batang singkong yang dihasilkan oleh kegiatan produksi singkong dapat menimbulkan dampak yang merugikan bagi lingkungan sekitar, seperti menjadi sarang tikus dan organisme pengganggu tanaman lainnya yang dikhawatirkan menyerang tanaman singkong dan tanaman budidaya lainnya.

Selain itu, keberadaan limbah batang singkong juga berpotensi besar dalam menciptakan konflik sosial antar masyarakat, lingkungan yang kumuh dan pencemaran udara. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan umumnya petani singkong di Indonesia cenderung hanya menumpuk limbah batang singkong di atas lahan pertanian dan atau membakar limbah batang singkong tersebut.

Oleh karena itu, diperlukan upaya pengendalian dan pengelolaan limbah batang singkong, baik yang bersifat teknis maupun non-teknis. Salah satu upaya teknis dalam pengendalian dan pengelolaan limbah batang singkong ialah dengan melakukan proses pengecilan ukuran limbah batang singkong. Melalui upaya tersebut, limbah batang singkong diharapkan dapat dimanfaatkan menjadi berbagai produk turunan diantaranya: (a) sebagai bahan baku pupuk, (b) sebagai bahan baku pakan, dan (c) sebagai sumber energi baru dan terbarukan.

Pemanfaatan limbah batang singkong menjadi berbagai produk turunan di atas merupakan salah satu upaya utama untuk meningkatkan nilai ekonomis limbah batang singkong.

Salah satu upaya pemanfaatan limbah batang singkong menjadi produk turunan ialah memanfaatkan limbah tersebut sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar padat dalam bentuk briket. Limbah batang singkong merupakan biomassa yang memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku produksi bahan bakar karena kandungan lignoselulosa dan non-toksisitasnya (Sivamani dkk., 2018). Hal tersebut didukung dengan hasil penelitian Sumada dkk. (2011) yang menunjukkan bahwa limbah batang singkong memiliki kandungan lignoselulosa

yang cukup tinggi, yaitu terdiri dari 56,82% α -selulosa, 21,72% lignin, 21,45% *Acid Detergent Fiber* (ADF), dan 0,05-0,5 cm panjang serat.

Secara umum, limbah batang singkong mengandung nilai kalor, kadar air dan kadar bahan mudah menguap yang tinggi, namun mengandung kadar karbon terikat yang sangat rendah (Pattiya dkk., 2007). Untuk meningkatkan karakteristik briket berbahan baku limbah batang singkong maka dirasa perlu dilakukan penambahan bahan baku pencampur berupa batubara yang memiliki nilai kalor dan kadar karbon terikat yang sangat tinggi. Selain itu, batubara memiliki kadar abu yang relatif sedang dan kadar bahan mudah menguap yang rendah (Jamilatun, 2008). Sasaran yang ingin dicapai dengan pemanfaatan limbah batang singkong dengan penambahan batubara sebagai briket ialah mendapatkan briket dengan karakteristik yang optimal dari beberapa komposisi campuran limbah batang singkong dan batubara. Barus dkk. (2017) menyatakan bahwa perbedaan komposisi bahan baku utama produksi briket dari biomassa dengan penambahan batubara berpengaruh nyata terhadap karakteristik briket yang dihasilkan.

Pada umumnya briket diproduksi dengan cara menyertakan bahan perekat dengan tujuan untuk menyatukan partikel-partikel bahan baku agar terjadi ikatan yang kuat antar partikel penyusun briket (Purwanto, 2015). Untuk briket yang digunakan di rumah tangga sebaiknya memakai bahan perekat yang tidak menimbulkan asap saat pembakaran, seperti perekat tapioka (Abdullah dan Irwanto, 1991 dalam Sumangat dan Broto, 2009). Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik briket secara umum ialah konsentrasi perekat.

Saktiawan (2000) mengemukakan bahwa variasi konsentrasi perekat tapioka akan berpengaruh terhadap karakteristik fisis-mekanik dan karakteristik kimia briket sebagai bahan bakar. Achmad (1991) dalam Sumangat dan Broto (2009) juga melaporkan bahwa konsentrasi perekat tapioka dalam produksi briket tidak boleh terlalu tinggi karena dapat mengakibatkan penurunan karakteristik briket dan menimbulkan banyak asap pada saat pembakaran.

Berdasarkan uraian di atas, untuk mengetahui pengaruh komposisi bahan baku utama dan konsentrasi perekat tapioka terhadap karakteristik briket berbahan baku limbah batang singkong dengan penambahan batubara, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh komposisi bahan baku utama dan konsentrasi perekat tapioka dalam pemanfaatan limbah batang singkong dengan penambahan batubara sebagai briket menggunakan perekat tapioka.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diajukan dari uraian latar belakang di atas adalah:

1. Bagaimana memanfaatkan limbah batang singkong sebagai briket.
2. Bagaimana pengaruh komposisi bahan baku utama (limbah batang singkong dan batubara) terhadap karakteristik briket.
3. Bagaimana pengaruh konsentrasi perekat tapioka terhadap karakteristik briket.
4. Bagaimana karakteristik briket berbahan baku limbah batang singkong dengan penambahan batubara menggunakan perekat tapioka.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Memanfaatkan limbah batang singkong untuk dibuat briket.
2. Mengetahui pengaruh komposisi bahan baku utama (limbah batang singkong dan batubara) terhadap karakteristik briket.
3. Mengetahui pengaruh konsentrasi perekat tapioka terhadap karakteristik briket.
4. Mengetahui karakteristik briket berbahan baku limbah batang singkong dengan penambahan batubara menggunakan perekat tapioka.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Mewujudkan kesadaran masyarakat dan pemangku kebijakan untuk mengelola keberadaan limbah batang singkong sebagai sumber energi yang berkelanjutan.
2. Mewujudkan berkembangnya upaya-upaya pengembangan dan pemanfaatan limbah batang singkong sebagai sumber energi secara masif.
3. Mewujudkan kreatifitas dan inovasi masyarakat dalam pemanfaatan dan pengembangan limbah batang singkong sebagai sumber energi yang mengedepankan prinsip konservasi dan diversifikasi.

1.5 Hipotesis Penelitian

Hipotesis yang diajukan dari penelitian ini adalah:

1. Pengaruh komposisi bahan baku utama

$H_0: \alpha_1 = \dots = \alpha_i = 0$ (perlakuan komposisi bahan baku utama berpengaruh tidak nyata terhadap karakteristik briket).

H_1 : paling sedikit ada satu i dimana $\alpha_i \neq 0$.

2. Pengaruh konsentrasi perekat tapioka

$H_0: \beta_1 = \dots = \beta_j = 0$ (perlakuan konsentrasi perekat tapioka berpengaruh tidak nyata terhadap karakteristik briket).

H_1 : paling sedikit ada satu j dimana $\beta_j \neq 0$.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Singkong

Salah satu jenis tanaman pangan yang sudah lama dikenal dan dibudidayakan oleh masyarakat di sebagian besar wilayah Indonesia ialah singkong atau ubi kayu.

Tanaman singkong merupakan tanaman umbi-umbian yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan terutama sebagai sumber karbohidrat. Selain sebagai bahan pangan, tanaman singkong juga dapat digunakan sebagai bahan pakan ternak dan bahan baku industri (Widianta dan Dewi, 2008 dalam Pusdatin, 2016). Oleh karena itu, pengembangan tanaman singkong sangat diutamakan di dalam upaya penyediaan bahan pangan karbohidrat non-beras, diversifikasi konsumsi pangan lokal, industri pengolahan hasil atau agroindustri, dan sebagai sumber devisa melalui ekspor serta upaya menopang kemandirian dan ketahanan pangan suatu wilayah (Pusdatin, 2016).

2.1.1 Sejarah Penyebaran Tanaman Singkong

Tanaman singkong atau ubi kayu merupakan tanaman tropis yang berasal dari Brasil. Tanaman singkong mula-mula disebarkan ke Afrika, kemudian Madagaskar, India, Tiongkok, dan Indonesia. Tanaman singkong memasuki wilayah Indonesia pada abad ke-18, tepatnya pada tahun 1882. Penyebaran tanaman singkong ke seluruh wilayah di Indonesia dilakukan pada tahun

1914 hingga 1918. Saat itu Indonesia sedang dilanda krisis kekurangan pangan, dan singkong dijadikan sebagai bahan pangan alternatif pengganti beras. Pada tahun 1968, Indonesia menjadi negara penghasil tanaman singkong terbesar ke-5 di dunia (Suprapti, 2005).

2.1.2 Taksonomi dan Morfologi Tanaman Singkong

Dalam sistematika (taksonomi) tumbuhan, tanaman singkong diklasifikasikan sebagai berikut (Suprapti, 2005):

Kingdom	:	Plantae (Tumbuh-tumbuhan)
Divisio	:	Spermatophyta (Tumbuhan berbiji)
Subdivisio	:	Angiospermae
Kelas	:	Dicotyledonae (Biji berkeping dua)
Ordo	:	Euphorbiales
Famili	:	Euphorbiaceae
Genus	:	Manihot
Species	:	<i>Manihot esculenta</i> Crantz sin. <i>Manihot utilisima</i> Phohl.

Bagian tubuh tanaman singkong terdiri dari beberapa bagian sebagai berikut:

a. Umbi

Akar atau umbi merupakan organ tubuh utama pada tanaman singkong. Menurut Suprapti (2005), umbi yang terbentuk pada tanaman singkong merupakan akar yang menggelembung dan berfungsi sebagai tempat penampung makanan cadangan. Umbi tanaman singkong umumnya berbentuk bulat memanjang, yang terdiri atas kulit kering yang berwarna kecokelat-cokelatan, kulit basah yang

berwarna keputih-putihan, dan daging berwarna putih atau kuning (tergantung varietasnya) yang mengandung sianida dengan kadar yang bervariasi.

b. Batang

Batang tanaman singkong berkayu dan beruas-ruas dengan ketinggian mencapai lebih dari 3 m. Warna batang bervariasi, ketika masih muda umumnya berwarna hijau dan setelah tua menjadi keputih-putihan, kelabu atau hijau kelabu. Batang tanaman singkong berlubang pada bagian tengahnya, yang berisikan empulur berwarna putih dan bertekstur lunak dengan struktur seperti gabus (Suprapti, 2005).

c. Daun

Daun tanaman singkong dibentuk oleh lamina dan tangkai daun. Daun singkong memiliki susunan berurat menjari dengan cangap yang tidak merata, berkisar antara tiga hingga sembilan (kadang-kadang 11) (Rogers dan Fleming, 1973 dalam Hilloks dkk., 2001). Daun tanaman singkong, terutama yang masih muda mengandung racun sianida, akan tetapi tetap dapat dimanfaatkan sebagai sayuran dan bahan pakan ternak (Suprapti, 2005).

d. Bunga

Singkong adalah tanaman yang menghasilkan bunga jantan dan betina pada tanaman yang sama. Bunga umumnya terbentuk di titik penyisipan cabang-cabang reproduksi, kadang-kadang bunga dapat ditemukan di daun axils di bagian atas tanaman (Hilloks dkk., 2001). Bunga tanaman singkong berumah satu dengan penyerbukan silang (Suprapti, 2005).

2.1.3 Syarat Tumbuh Tanaman Singkong

Tanaman singkong dapat tumbuh dengan baik dan beradaptasi luas di daerah tropis. Daerah penyebaran tanaman singkong di dunia berada pada kisaran 30° Lintang Utara (LU) dan 30° Lintang Selatan (LS) di dataran rendah sampai dataran tinggi dengan ketinggian 2.500 meter di atas permukaan laut (dpl) yang bercurah hujan antara 500-2.500 mm/tahun. Di Indonesia, tanaman singkong dapat tumbuh dan berproduksi di dataran rendah sampai dataran tinggi, yakni antara 10-1.500 m dpl. Daerah yang paling ideal untuk mendapatkan produksi yang optimal adalah daerah dataran rendah yang berketinggian antara 10-700 m dpl. Lebih dari itu, umur panen tanaman singkong akan semakin lama (panjang) (Rukmana, 1997).

Tanaman singkong membutuhkan kondisi iklim yang panas dan lembab dengan suhu minimum 10 °C, kelembaban udara (RH) 60-65% dengan curah hujan 700-1.500 mm/tahun, tempatnya terbuka dan mendapat penyinaran matahari 10 jam/hari. Daerah yang beriklim kering atau bercurah hujan rendah, umumnya berpengaruh kurang baik terhadap produksi singkong, yakni umbinya berserat, berkayu dan produksinya rendah. Di samping itu, tanaman singkong di daerah beriklim kering mudah diserang hama tungau merah. Sebaliknya, di daerah beriklim basah atau bercurah hujan terlalu tinggi, pertumbuhan tanaman singkong cenderung ke arah vegetatif selalu dan mudah diserang penyakit yang disebabkan cendawan (Rukmana, 1997).

Kondisi atau struktur tanah di lahan budidaya tanaman singkong sangat berpengaruh terhadap kualitas dan kuantitas hasil produksi. Jenis tanah yang

paling ideal untuk pertumbuhan dan produksi tanaman singkong adalah aluvial, latosol, podsolik merah kuning, mediteran, grumosol dan danosol (Suprapti, 2005). Sedangkan keadaan tanah yang paling baik untuk tanaman singkong ialah tanah berstruktur remah, gembur, banyak mengandung bahan organik, memiliki aerasi dan drainase yang baik, serta mempunyai pH tanah minimum 5. Tanaman singkong mampu tumbuh pada pH 4,5 hingga 8,0, tetapi yang paling baik ialah pada pH 5,8 (Rukmana, 1997).

2.1.4 Perkembangan Luas Panen, Produksi dan Produktivitas Tanaman Singkong

Perkembangan rata-rata luas panen dan produksi singkong antara tahun 2012-2016, menempatkan Propinsi Lampung berada di urutan pertama sebagai sentra luas panen dan produksi singkong di Indonesia dengan rata-rata luas panen singkong mencapai 295,55 ribu hektar dan rata-rata produksi singkong mencapai 7,74 juta ton. Sedangkan perkembangan rata-rata produktivitas singkong antara tahun 2012-2016, menempatkan Propinsi Lampung berada di urutan ketiga di Indonesia sebagai sentra produktivitas singkong dengan rata-rata produksi singkong sebesar 262,04 kuintal per hektar (Pusdatin, 2016).

2.2 Limbah Batang Singkong

Limbah batang singkong merupakan bahan buangan berbentuk materi padatan (*bulky waste*) yang dihasilkan dari kegiatan budidaya tanaman singkong di lahan pertanian (Hilloks dkk., 2001). Bobot limbah batang singkong mampu mencapai 50% dari bobot umbi singkong setiap pemanenan. Namun hingga saat ini, pemanfaatan limbah batang singkong belum dilakukan secara optimal, bahkan

untuk pakan ternak sekalipun, karena sifatnya yang berkayu. Di beberapa negara berkembang, limbah batang singkong telah digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak, meskipun proses penyalanyaannya lebih sulit daripada biomassa lainnya (Howeler, 2012). Zhu dkk. (2015) mengemukakan bahwa limbah batang singkong harus dibersihkan dari lahan pertanian dalam rangka persiapan untuk budidaya tanaman singkong pada musim berikutnya.

2.2.1 Karakteristik Fisik Limbah Batang Singkong

Batang tanaman singkong berkayu dan beruas-ruas dengan ketinggian berkisar lebih dari 3 m. Warna batang bervariasi, ketika masih muda umumnya berwarna hijau dan setelah tua menjadi keputih-putihan, kelabu atau hijau kelabu. Batang singkong berlubang pada bagian tengahnya, yang berisikan empulur berwarna putih dan bertekstur lunak dengan struktur seperti gabus (Suprapti, 2005).

Karakteristik fisik limbah batang tanaman singkong disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik fisik limbah batang singkong.

Komponen	Kandungan (%)
Kulit kayu	29,75
Empulur	4,46
Kayu	65,79

Sumber: Widodo (2013).

Seperti yang telah disajikan pada Tabel 1, setelah dilakukan karakterisasi fisik batang singkong, Widodo (2013) menunjukkan bahwa limbah batang singkong memiliki kandungan kayu sebesar 65,79%. Sementara itu, hasil penelitian Sumada dkk. (2011) menunjukkan bahwa kandungan kayu pada limbah batang singkong yaitu sebesar 65,38%. Kedua hasil penelitian tersebut mengindikasikan

bahwa kandungan kayu dari limbah batang singkong mempunyai kisaran yang sama pada berbagai varietas tanaman singkong (Widodo, 2013).

2.2.2 Karakteristik Kimia Limbah Batang Singkong

Sebagai biomassa, kandungan utama limbah batang singkong adalah lignin dan selulosa. Menurut Sumada dkk. (2011), limbah batang singkong memiliki kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi, yaitu terdiri dari 56,82% α -selulosa, 21,72% lignin, 21,45% *Acid Detergent Fiber* (ADF), dan 0,05–0,5 cm panjang serat. Secara umum, limbah batang singkong mengandung nilai kalor, kadar air dan kadar bahan mudah menguap yang relatif tinggi, kadar karbon terikat relatif rendah, serta kadar abu yang sangat rendah. Selain itu, limbah batang tanaman singkong mempunyai kandungan nitrogen dan belerang yang rendah (Pattiya dkk., 2007). Selanjutnya disajikan karakteristik kimia limbah batang singkong menurut Pattiya dkk. (2007) seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik kimia limbah batang singkong.

Komponen	Kandungan
<i>Gross calorific value</i> (MJ/kg)	17,58
<i>Net calorific value</i> (MJ/kg)	17,99
Kadar air (%)	15,54
Kadar abu (%)	6,01
Kadar bahan mudah menguap (%)	79,90
Kadar karbon terikat (%)	14,09
Karbon (C) (%)	51,12
Hidrogen (H) (%)	6,87
Nitrogen (N) (%)	0,67
Sulfur (S) (%)	< 0,1
Oksigen (O) (%)	41,34

Sumber: Pattiya dkk. (2007).

2.2.3 Potensi dan Prospek Pemanfaatan Limbah Batang Singkong

Indonesia sebagai negara agraris memiliki sumber daya biomassa yang sangat melimpah dengan jenis yang beragam. Sektor pertanian Indonesia, memberikan potensi dan prospek besar sebagai produsen singkong atau ubi kayu terbesar ketiga di dunia (Pusdatin, 2016). Budidaya tanaman singkong umumnya bertujuan untuk memproduksi umbi singkong, dimana pada proses panen dihasilkan produk samping atau limbah berupa batang singkong dalam jumlah yang cukup besar. Selama ini hanya 10% dari tinggi batang singkong yang dimanfaatkan untuk ditanam kembali (bibit), dan 90% sisanya merupakan limbah yang tidak dimanfaatkan (Sumada dkk., 2011).

Sistem budidaya tanaman singkong secara monokultur dengan jarak tanam sebesar 1 m x 1 m mampu menghasilkan batang singkong sebanyak 10.000 batang per hektar. Apabila tiap batang singkong yang tidak dimanfaatkan untuk ditanam kembali (bibit) memiliki bobot berkisar 0,3 kg, maka tiap hektar luas panen singkong diperkirakan mampu menghasilkan 3 ton limbah batang singkong per musim tanam (Gustam, 2018). Sementara itu, umumnya petani singkong di Indonesia hanya menumpuk limbah tersebut di atas tanah dan atau membakarnya. Upaya pengelolaan dan pengolahan limbah batang singkong seperti hal diatas justru menimbulkan kerugian bagi manusia dan lingkungan sekitar. Selain menjadi sarang tikus dan organisme pengganggu tanaman, gas buang hasil pembakaran yang mengandung CO dan CO₂ juga dapat memicu peningkatan efek gas rumah kaca. Limbah batang singkong yang berada pada lahan pertanian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Limbah batang singkong.
Sumber : Ika (2016).

Limbah batang singkong memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku dalam produksi bahan bakar karena kandungan lignoselulosa dan non-toksitasnya (Sivamani dkk., 2018). Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan untuk memanfaatkan limbah batang singkong sebagai bahan baku produksi bahan bakar. Ikelle dkk. (2017) telah mencoba memanfaatkan campuran limbah batang singkong dan batubara yang dikarbonisasi pada suhu 160 °C sebagai bahan baku pembuatan briket bio-batubara. Noor dkk. (2012) telah mencoba memanfaatkan limbah batang dan pangkal batang singkong sebagai bahan baku pembuatan briket arang melalui proses karbonisasi pada temperatur dan lama karbonisasi yang bervariasi. Selain sebagai briket, pati limbah batang singkong dalam bentuk serbuk telah dimanfaatkan sebagai bahan perekat dalam produksi bio-pelet dari campuran ranting pohon cemara dan pinus. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa pati limbah batang singkong yang digunakan sebagai bahan perekat menghasilkan bio-pelet dengan emisi abu dan CO yang rendah (Larsson dkk., 2015). Selain dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat, limbah batang singkong juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bio-etanol dan *bio-oil* (Sivamani dkk., 2018).

2.3 Batubara

Menurut Elliot (1981) dalam Arif (2014), batubara merupakan batuan sedimen yang secara kimia dan fisika adalah heterogen yang mengandung unsur-unsur karbon, hidrogen serta oksigen sebagai komponen unsur utama dan belerang serta nitrogen sebagai unsur tambahan. Zat lain, yaitu senyawa anorganik pembentuk *ash* (debu), tersebar sebagai partikel zat mineral yang terpisah di seluruh senyawa batubara. Sukandarrumidi (1995) dalam Arif (2014) juga mengemukakan bahwa batubara ialah batuan sedimen (padatan) yang dapat terbakar, berasal dari tumbuhan, serta berwarna cokelat hingga hitam, yang sejak pengendapannya terkena proses fisika dan kimia yang menjadikannya kaya akan kandungan karbon. Penampakan atau wujud dari batubara dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Batubara.

Batubara merupakan endapan organik yang mutunya sangat ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain posisi geotektonik, topografi (morfologi), iklim, penurunan cekungan batubara, umur geologi, jenis tumbuhan, dekomposisi tumbuhan, sejarah sesudah pengendapan, struktur cekungan batubara, metamorfosa organik dan banyaknya pengotor/kontaminasi (Sukandarrumidi,

2018). Dalam usaha mempermudah pengenalan jenis batubara, berikut ditunjukkan sifat-sifat batubara untuk masing-masing jenis sebagai berikut:

a. Batubara jenis *anthracite*

Batubara jenis *anthracite* menunjukkan ciri-ciri yaitu memperlihatkan struktur kompak, memiliki berat jenis tinggi, berwarna hitam metalik, kandungan bahan mudah menguap rendah, kandungan abu dan kandungan air rendah, dan mudah dipecah. Apabila dibakar, maka hampir keseluruhan bagian habis terbakar, tanpa timbul nyala api, dan nilai kalor berkisar 8.300 kkal/kg (Sukandarrumidi, 2018).

b. Batubara jenis *bituminous/subbituminous*

Batubara jenis *bituminous/subbituminous* menunjukkan ciri-ciri yaitu berwarna hitam agak kompak, kandungan karbon relatif tinggi, kandungan sulfur relatif rendah, kandungan abu dan kandungan air relatif rendah (5-10%), dan nilai kalor berkisar antara 7.000-8.000 kkal/kg (Sukandarrumidi, 2018).

c. Batubara jenis *lignite*

Batubara jenis *lignite* menunjukkan ciri-ciri yaitu berwarna hitam, sangat rapuh, kandungan karbon relatif rendah, kandungan sulfur tinggi, kandungan abu relatif tinggi, dan nilai kalor rendah. Batubara jenis *lignite* apabila dibakar hanya menghasilkan nilai kalor berkisar 1.500-4.500 kkal/kg. Oleh sebab itu, apabila batubara dipergunakan sebagai bahan bakar industri, disarankan untuk menggunakan batubara jenis *anthracite* atau *bituminous*, dan menghindari penggunaan batubara jenis *lignite* (Sukandarrumidi, 2018).

2.4 Briket

Menurut Kurniawan dan Marsono (2008), briket merupakan bahan bakar karbon yang dibentuk melalui proses densifikasi yang diproduksi dari limbah bahan organik (biomassa) dan atau batubara yang masih mengandung sejumlah energi panas. Agustina dan Syafrian (2005) mengemukakan bahwa briket merupakan bahan bakar padat dengan dimensi tertentu yang seragam, diperoleh dari hasil densifikasi (pengempaan) bahan berbentuk curah atau serbuk, berukuran relatif kecil atau tidak beraturan sehingga sulit digunakan sebagai bahan bakar dalam bentuk aslinya.

Briket memiliki susunan kimia yang terdiri dari unsur karbon, hidrogen, oksigen dan komponen mineral non-organik (Lubis, 2008 dalam Nasruddin dan Affandy, 2011). Menurut Octavina dan Pratiwi (2010) dalam Nasruddin dan Affandy (2011), penggunaan briket sebagai bahan bakar lebih efisien 65% dari sumber energi penghasil panas seperti minyak tanah, gas, dan kayu. Ndraha (2009) mengemukakan bahwa hal tersebut sangat relevan, dikarenakan bahan baku yang digunakan dalam produksi briket ketersediaannya melimpah dan teknologi yang digunakan dalam produksinya tergolong sederhana.

2.4.1 Jenis-Jenis Briket

Berdasarkan bentuknya, pada saat ini dikenal 2 jenis briket, yaitu:

- a. Briket tipe yontan (diambil dari nama tempat di Korea), berbentuk silinder dengan garis tengah 150 mm, tinggi 142 mm, berat 3,5 kg, dan mempunyai lubang berbentuk tabung searah memanjang sebanyak 22 lubang. Keberadaan lubang tersebut bertujuan agar briket mudah terbakar sehingga

mampu menghasilkan panas yang maksimum. Jenis briket ini umumnya digunakan untuk keperluan rumah tangga (Sukandarrumidi, 2018).

- b. Briket tipe telur (*egg*), berbentuk oval, berukuran panjang 46-48 mm, lebar 32-39 mm, tebal bagian tengah 20-24 mm. Pada bagian tepi pinggir dibuat pipih tumpul (tidak meruncing), sehingga mudah dipindahkan dan mudah dibakar mulai dari bagian pinggir ke bagian tengah (Sukandarrumidi, 2018).

Berdasarkan proses produksinya, briket dibedakan menjadi 2 jenis briket, yaitu:

- a. Briket arang, merupakan jenis produk pembriketan yang menggunakan bahan baku yang telah mengalami proses karbonisasi (Permen ESDM, 2006). Dengan proses karbonisasi, bahan mudah menguap yang terkandung dalam briket diturunkan serendah mungkin. Briket arang umumnya tidak berbau dan tidak menimbulkan asap saat pembakaran. Briket arang sangat cocok digunakan untuk keperluan rumah tangga serta lebih aman dalam penggunaannya (Aksara, 2007).
- b. Briket non-karbonisasi, merupakan jenis produk pembriketan yang menggunakan bahan baku yang tidak mengalami proses karbonisasi (Permen ESDM, 2006). Kandungan bahan mudah menguap pada briket ini cukup tinggi, sehingga akan menimbulkan asap dan bau yang menyengat apabila dibakar. Pada penggunaannya lebih baik menggunakan tungku sehingga menghasilkan pembakaran yang sempurna (Aksara, 2007). Selanjutnya akan disajikan wujud atau penampakan briket yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Briket.

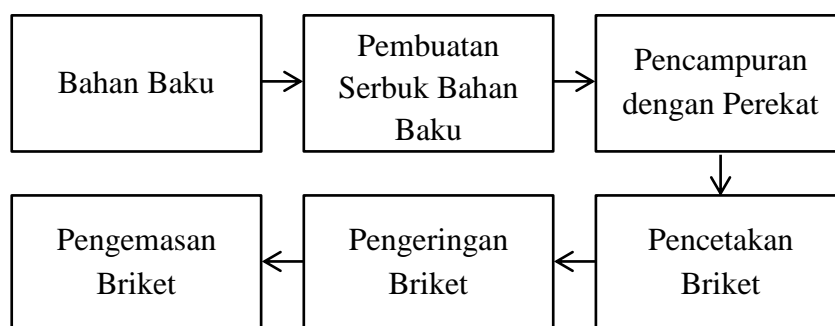
Briket merupakan bahan bakar padat yang dapat dibuat dari biomassa dan atau batubara yang mengandung karbon dengan nilai kalor cukup tinggi dan dapat menyala dalam waktu yang lama (Nasruddin dan Affandy, 2011). Berdasarkan pada bahan baku produksinya, briket dapat dibedakan menjadi 3 jenis briket, yaitu:

- a. Bio-briket, merupakan bahan bakar berwujud padat yang berasal dari sisa-sisa bahan organik (biomassa) yang telah mengalami proses pemampatan dengan daya tekan tertentu (Hambali dkk., 2008). Menurut Vachlepi dan Suwardin (2013), keuntungan penggunaan bio-briket ialah kandungan gas buang hasil proses pembakaran relatif lebih aman apabila dibandingkan dengan briket batubara. Selain itu, gas buang hasil proses pembakaran bio-briket tidak mengandung senyawa sulfur yang mampu membahayakan lingkungan.
- b. Briket batubara, merupakan jenis produk pembriketan yang menggunakan bahan baku partikel batubara, baik dengan atau tanpa bahan perekat (*binder*) maupun bahan imbuhan lainnya (Permen ESDM, 2006). Menurut Vachlepi dan Suwardin (2013), gas buang hasil proses pembakaran briket batubara mengandung senyawa sulfur yang mampu membahayakan lingkungan.

- c. Briket bio-batubara, merupakan jenis produk pembriketan yang menggunakan bahan baku partikel batubara dan biomassa, baik dengan atau tanpa bahan perekat (*binder*) maupun bahan imbuhan lainnya (Permen ESDM, 2006). Barus dkk. (2017) dan Faizal dkk. (2015) menyatakan bahwa perbedaan komposisi bahan pembuat briket bio-batubara dari biomassa dengan kombinasi batubara berpengaruh terhadap karakteristik briket yang dihasilkan.

2.4.2 Prosedur Pembuatan Briket

Beberapa tahap penting yang perlu dilalui dalam proses produksi briket yaitu pembuatan serbuk bahan baku dan penyaringannya, pencampuran serbuk bahan baku dengan perekat, pencetakan atau pengempaan briket, dan pengeringan briket (Januardi, 1989). Bagan alir produksi briket dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagan alir produksi briket.

Pengecilan ukuran bahan baku perlu dilakukan untuk menghasilkan serbuk bahan baku sehingga menghasilkan briket yang berkualitas baik. Menurut Asamoah dkk. (2016), ukuran partikel bahan baku akan sangat berpengaruh terhadap briket yang dihasilkan, ukuran partikel bahan baku yang lebih kecil akan meningkatkan kemampuan pengikatan bahan baku dengan perekat sehingga meningkatkan kerapatan dan kekuatan atau keteguhan tekan briket tersebut. Menurut Mikrova

(1985) dalam Sumangat dan Broto (2009), sebaiknya partikel bahan baku produksi briket mempunyai ukuran 40-60 *mesh*. Grover dan Mishra (1996) menambahkan bahwa produksi briket dari berbagai ukuran partikel bahan baku menghasilkan briket dengan karakteristik yang optimal.

Setelah partikel bahan baku produksi briket menjadi serbuk halus maka selanjutnya dilakukan pencampuran serbuk bahan baku dengan perekat. Tujuan pencampuran serbuk bahan baku dengan perekat adalah untuk menyatukan partikel-partikel bahan baku agar terjadi ikatan yang kuat antar partikel penyusun briket (Purwanto, 2015). Dengan pemakaian bahan perekat maka tekanan yang dibutuhkan untuk produksi briket akan jauh lebih kecil dibandingkan dengan briket tanpa memakai bahan perekat (Boedjang, 1973 dalam Sumangat dan Broto, 2009). Namun, jika tekanan pencetakan briket dianggap memadai, maka penggunaan bahan perekat tidak diperlukan dalam proses produksi briket (Kiatgrajai dkk., 1991).

Pencetakan atau pengempaan dilakukan untuk menciptakan kontak antara permukaan bahan yang direkat dengan bahan perekat. Setelah perekat dicampurkan dan tekanan mulai diberikan, maka perekat yang masih dalam keadaan cair akan mulai mengalir ke segala arah permukaan bahan. Pada saat yang bersamaan dengan terjadinya aliran maka perekat juga mengalami perpindahan dari permukaan yang diberi perekat ke permukaan yang belum terkena perekat (Kirana, 1985 dalam Januardi, 1989). Boedjang (1973) dalam Januardi (1989) mengemukakan bahwa pada umumnya semakin tinggi tekanan

densifikasi yang diberikan akan dihasilkan briket dengan kerapatan dan kekuatan atau keteguhan tekan yang semakin tinggi pula.

Tahapan terakhir dalam produksi briket adalah pengeringan briket. Pengeringan briket dilakukan untuk mengurangi kandungan air dalam briket sehingga memudahkan pembakaran briket dan sesuai dengan ketentuan kadar air briket yang berlaku, menghambat aktivitas biologis selama penyimpanan briket, dan meningkatkan karakteristik fisis briket (Liu dkk., 2013). Pengeringan briket dapat dilakukan dengan alat pengering seperti *oven* atau dengan penjemuran di bawah sinar matahari. Suhu pengeringan dengan *oven* umumnya 60 °C dengan lama pengeringan 24 jam. Apabila dilakukan penjemuran di bawah sinar matahari, lama pengeringan briket cukup tiga hingga lima hari dalam kondisi cuaca yang cerah (Achmad, 1991 dalam Sumangat dan Broto, 2009). Setelah proses pengeringan selesai, briket dapat disimpan pada suhu kamar (umumnya 20-30 °C) selama 24 jam sebelum digunakan (Andrejko dan Grochowicz, 2007).

Penyimpanan briket pada suhu yang lebih tinggi dapat membuat briket terlalu kering dan mengakibatkan kesulitan nyala pada briket, sementara penyimpanan briket pada suhu rendah akan membuat briket tidak tahan lama saat terbakar (Asamoah dkk., 2016).

2.4.3 Karakteristik Briket

Pada pemanfaatan briket sebagai bahan bakar perlu diketahui karakteristik yang akan ditunjukkan oleh briket tersebut, baik yang bersifat fisis-mekanik, kimia, dan keragaan pembakaran. Karakteristik ini akan dilihat atau disimpulkan dari data hasil analisis dan pengujiannya. Beberapa parameter karakteristik yang

berpengaruh dalam pemanfaatan briket, terutama sebagai bahan bakar adalah densitas (kerapatan), kekuatan atau keteguhan tekan, kadar air, kadar abu, kadar bahan mudah menguap, kadar karbon terikat, dan nilai kalor (Hendra, 1999).

Di setiap negara-negara yang memproduksi briket biasanya memiliki standarisasi dalam menentukan karakteristik dari briket yang telah diproduksi. Sebagai bahan rujukan karakteristik briket, biasanya digunakan standar karakteristik briket arang (karbonisasi) dan bio-batubara (*bio-coal*). Pada Tabel 3 disajikan standar karakteristik briket arang (karbonisasi) dan bio-batubara (*bio-coal*) di Indonesia.

Tabel 3. Standar karakteristik briket arang dan bio-batubara di Indonesia.

Karakteristik Briket	¹ Briket Arang	² Briket Bio-batubara
Kadar air (%)	≤ 8	≤ 8
Kadar <i>volatile matter</i> (%)	≤ 15	-
Kadar abu (%)	≤ 8	-
Kadar karbon terikat (%)	≥ 77	-
Nilai kalor (kkal/kg)	≥ 5.000	≥ 4.400

Sumber: ¹SNI 01-6235-2000 (2000) dan ²Permen ESDM (2006).

Selain beberapa parameter karakteristik diatas, dapat digunakan pula beberapa parameter karakteristik lainnya yang berpengaruh terhadap efektifitas penggunaan briket sebagai bahan bakar. Beberapa parameter karakteristik yang terdiri dari waktu rata-rata briket untuk menyala dan jumlah asap yang dihasilkan oleh briket dapat dipertimbangkan (Onchieku dkk., 2012). Juga, waktu yang digunakan untuk mendidihkan air dengan briket dan laju pembakaran briket (Asamoah dkk., 2016). Suhu dasar plat pemasakan (panci) saat pembakaran juga dapat dipertimbangkan, karena perubahan suhu dasar plat pemasakan (panci) saat

pembakaran dipengaruhi oleh banyaknya energi yang dikeluarkan oleh briket (Tamrin, 2011).

Sebuah briket dapat dikatakan memiliki karakteristik yang baik apabila memiliki permukaan yang halus dan rata, briket tersebut tidak meninggalkan bekas hitam di tangan bila digenggam, mudah dinyalakan, tidak menimbulkan asap apabila dibakar, emisi gas hasil pembakaran yang dihasilkan tidak mengandung racun, memiliki sifat kedap air, tidak berjamur bila disimpan pada waktu yang lama, dan tidak mengeluarkan bau (Himawanto, 2003). Juga dikatakan memiliki karakteristik yang baik apabila briket mengandung nilai kalor yang tinggi, kadar air, kadar abu, dan kadar bahan mudah menguap yang rendah, laju pembakarannya rendah, mampu menyala dengan baik, dan memberikan panas secara merata selama pembakaran (Wulanawati dkk., 2012).

2.4.4 Perekat Tapioka dalam Pembuatan Briket

Terdapat dua macam bahan perekat yang biasa digunakan dalam produksi briket, yaitu bahan perekat organik dan perekat anorganik. Bahan perekat organik ialah bahan pencampur pada pembuatan briket yang dapat merembes ke dalam permukaan dengan cara terabsorpsi sebagian ke dalam pori-pori atau celah yang ada, antara lain seperti pati (sagu dan tapioka), dekstrin, tepung beras, tar, dan molases. Sedangkan bahan perekat anorganik ialah bahan pencampur pada pembuatan briket yang berfungsi sebagai perekat antar permukaan partikel-partikel penyusun briket yang tidak reaktif (*inert*) dan berfungsi sebagai *stabilizer* selama pembakaran, antara lain seperti tanah liat (Permen ESDM, 2006).

Untuk briket yang digunakan di rumah tangga sebaiknya memakai bahan perekat yang tidak menimbulkan asap saat pembakaran, seperti bahan perekat tepung tapioka (Abdullah dan Irwanto, 1991 dalam Sumangat dan Broto, 2009). Tepung tapioka merupakan hasil ekstraksi pati umbi singkong yang telah mengalami proses pencucian secara sempurna serta dilanjutkan dengan pengeringan. Sebagian besar tepung tapioka terdiri dari pati umbi singkong yang terdiri dari molekul amilosa dan amilopektin yang jumlahnya bervariasi tergantung jenis patinya (Ma'rif dkk., 1984 dalam Wulanawati dkk., 2012).

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan dengan membandingkan penggunaan bahan perekat tapioka dengan bahan perekat lainnya. Penelitian yang dilakukan Sudrajat (1984) menunjukkan bahwa bahan perekat tapioka menghasilkan briket dengan densitas lebih tinggi daripada perekat molases. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Lestari dkk. (2010) menunjukkan bahwa bahan perekat tapioka menghasilkan briket dengan nilai kalor lebih tinggi daripada bahan perekat sagu. Utomo dan Primastuti (2013) juga melakukan penelitian serupa dengan mencoba membandingkan bahan perekat tapioka dengan bahan perekat terigu. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa bahan perekat tapioka menghasilkan briket dengan nilai kalor tinggi, *shatter index*, dan *stability* yang optimal.

Menurut Boedjang (1973) dalam Januardi (1989), penggunaan bahan perekat tapioka memiliki keuntungan dimana jumlah perekat yang dibutuhkan untuk jenis ini jauh lebih sedikit bila dibandingkan dengan bahan perekat hidrokarbon.

Menurut Pari dkk. (1990), bahan perekat tapioka menghasilkan briket arang yang

tidak berasap pada saat pembakaran dan bersifat tahan lama. Hambali dkk. (2008) juga menyatakan bahwa keuntungan penggunaan bahan perekat tapioka ialah bahan yang mudah diperoleh, murah, mudah aplikasinya dalam depresi air, mutunya stabil, adesi ke selulosa dan substrat lainnya sangat baik, tidak larut dalam minyak dan lemak, tidak beracun, tahan terhadap panas, dan bersifat *biodegradable*.

Kelemahan penggunaan bahan perekat tapioka adalah briket yang dihasilkan kurang tahan terhadap kelembaban. Hal ini disebabkan bahan perekat tapioka memiliki sifat dapat menyerap air dari udara. Bahan perekat tapioka mempunyai sifat higroskopis, karena adanya gugus yang hidrofil pada susunan molekulnya, sehingga kemampuan untuk menyerap air dari sekelilingnya relatif besar (Boedjang, 1973 dalam Januardi, 1989). Selain itu, penggunaan bahan perekat tapioka menghasilkan kekuatan atau keteguhan tekan lebih rendah dibandingkan penggunaan bahan perekat molases (Sudrajat, 1984).

Salah satu faktor yang memengaruhi pembuatan briket secara umum ialah konsentrasi bahan perekat (Purwanto, 2015). Konsentrasi bahan perekat yang optimal diperlukan dalam pembuatan briket untuk meningkatkan kemampuan pengikatan partikel penyusun briket yang baik. Menurut Achmad (1991) dalam Sumangat dan Broto (2009), konsentrasi bahan perekat dalam briket tidak boleh terlalu tinggi karena dapat mengakibatkan penurunan kualitas briket dan menimbulkan banyak asap pada saat pembakaran.

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan untuk mengetahui konsentrasi bahan perekat tapioka yang optimal dalam produksi briket. Rakhmat (2013)

menyatakan konsentrasi bahan perekat tapioka paling optimal di dalam produksi briket arang dari tongkol jagung adalah bahan perekat tapioka dengan konsentrasi 6%. Lebih lanjut Patabang (2012) mencoba mengkaji pengaruh variasi bahan perekat tapioka terhadap karakteristik termal briket sekam padi. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa konsentrasi bahan perekat sebesar 7% menghasilkan briket dengan nilai kalor terbaik. Sedangkan Abdullah dkk. (2016) mencoba menggunakan bahan perekat tapioka untuk memproduksi briket dari limbah kulit singkong bagian luar dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa komposisi limbah kulit singkong dan TKKS sebesar 3:1 dan konsentrasi bahan perekat tapioka sebesar 5% menghasilkan briket dengan nilai kalor terbaik. Berdasarkan beberapa hasil penelitian terdahulu, dapat ditetapkan bahwa konsentrasi perekat sebesar 6%-25% dari bobot bahan baku merupakan konsentrasi perekat yang optimal dalam proses produksi briket (Phonphuak dan Thiansem, 2012 dalam Asamoah dkk., 2016).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Desember 2018 hingga April 2019 yang bertempat di Laboratorium Daya, Alat dan Mesin Pertanian (DAMP), dan Laboratorium Rekayasa Sumberdaya Air dan Lahan (RSDAL), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas perajang batang singkong tipe TEP-1, alat pencetak briket mekanis tipe ulir, *hammer mill*, *disc mill*, *oven*, *bomb calorimeter*, timbangan analitik, timbangan digital, ayakan *tyler meinzer II* ukuran lolos 20 *mesh*, *stopwatch*, termometer, termokopel, jangka sorong digital, mistar, cawan aluminium, penjepit, desikator, gelas ukur, alu, lumpang, ember, terpal, kompor, anglo, panci, baskom, sendok, nampan, korek api, kertas label, kantong plastik, kamera digital, dan alat tulis.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas limbah batang singkong varietas UJ-5 (kasetart) yang diperoleh dari petani singkong di Lampung Selatan, batubara BA64 yang diperoleh dari PT. Bukit Asam Tbk (PTBA) Unit Pabrik Briket Natar, tepung tapioka, air, solar, dan tatalan kayu.

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan ialah metode eksperimental dengan menggunakan rancangan percobaan berupa Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial. Faktor percobaan pada penelitian ini terdiri dari dua faktor, faktor pertama ialah komposisi bahan baku utama (P) antara limbah batang singkong dan batubara yang terdiri dari empat taraf perlakuan, yaitu 50%:50% (P₁), 60%:40% (P₂), 70%:30% (P₃), dan 80%:20% (P₄). Sedangkan faktor kedua ialah konsentrasi perekat tapioka (K) yang terdiri dari tiga taraf perlakuan, yaitu 15% (K₁), 17,5% (K₂), dan 20% (K₃). Masing-masing kombinasi perlakuan diulang (U) sebanyak tiga kali sehingga terdapat 36 satuan percobaan. Bagan hasil perambangan (randomisasi) menurut RAL faktorial disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Bagan hasil perambangan (randomisasi) menurut RAL faktorial.

P ₁ K ₃ U ₃	P ₁ K ₂ U ₃	P ₁ K ₁ U ₁
P ₁ K ₃ U ₁	P ₁ K ₁ U ₃	P ₁ K ₂ U ₁
P ₁ K ₁ U ₂	P ₁ K ₂ U ₂	P ₁ K ₃ U ₂
P ₂ K ₂ U ₂	P ₂ K ₁ U ₁	P ₂ K ₂ U ₁
P ₂ K ₁ U ₂	P ₂ K ₂ U ₃	P ₂ K ₃ U ₃
P ₂ K ₃ U ₁	P ₂ K ₁ U ₃	P ₂ K ₃ U ₂
P ₃ K ₃ U ₁	P ₃ K ₂ U ₃	P ₃ K ₂ U ₂
P ₃ K ₁ U ₂	P ₃ K ₃ U ₂	P ₃ K ₁ U ₃
P ₃ K ₃ U ₃	P ₃ K ₂ U ₁	P ₃ K ₁ U ₁
P ₄ K ₁ U ₁	P ₄ K ₂ U ₂	P ₄ K ₂ U ₁
P ₄ K ₃ U ₂	P ₄ K ₃ U ₃	P ₄ K ₃ U ₁
P ₄ K ₁ U ₃	P ₄ K ₂ U ₃	P ₄ K ₁ U ₂

Keterangan: alur perambangan (randomisasi) bersifat horizontal (mengarah ke samping).

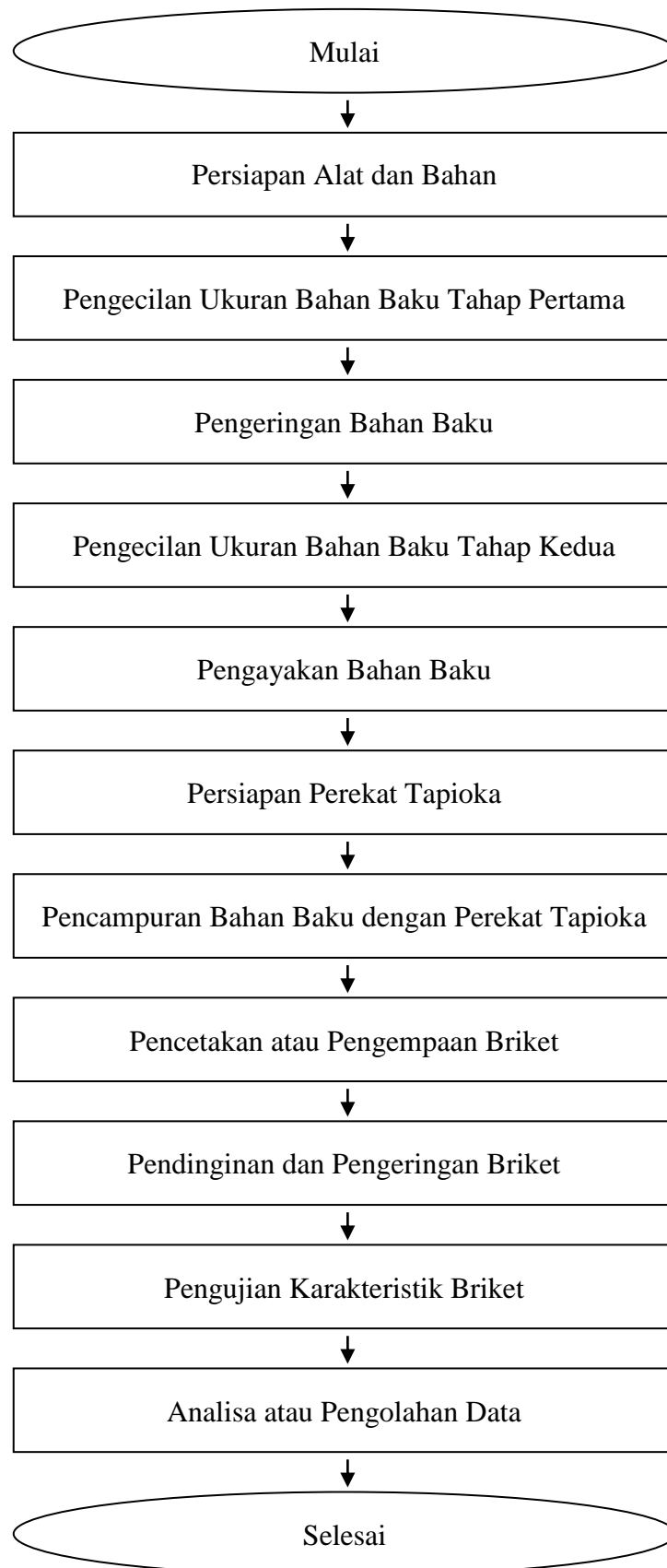
3.4 Prosedur Penelitian

Pelaksanaan penelitian terdiri dari beberapa tahap yang meliputi: (1) persiapan alat dan bahan, (2) pengecilan ukuran bahan baku tahap pertama, (3) pengeringan bahan baku, (4) pengecilan ukuran bahan baku tahap kedua, (5) pengayakan bahan baku, (6) persiapan perekat tapioka, (7) pencampuran bahan baku dengan perekat tapioka, (8) pencetakan atau pengempaan briket, (9) pendinginan dan pengeringan briket, (10) pengujian karakteristik briket, dan (11) analisa atau pengolahan data. Bagan alir prosedur atau pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada Gambar 5.

3.4.1 Persiapan Alat dan Bahan

Tahapan pertama dalam pelaksanaan penelitian ini ialah persiapan alat dan bahan yang akan digunakan dalam pelaksanaan penelitian. Sebagian besar peralatan yang dibutuhkan dalam pelaksanaan penelitian sudah tersedia di Laboratorium Daya, Alat dan Mesin Pertanian (DAMP), dan Laboratorium Rekayasa Sumberdaya Air dan Lahan (RSDAL), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Bahan baku yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian terdiri atas limbah batang singkong varietas UJ-5 (kasetart) yang diperoleh dari petani singkong di Lampung Selatan dan batubara jenis BA64 yang diperoleh dari PT. Bukit Asam Tbk (PTBA) Unit Pabrik Briket Natar. Tepung tapioka sebagai bahan perekat, dan solar sebagai bahan penyulut diperoleh secara dibeli di pasar areal Bandar Lampung. Sedangkan air sebagai campuran bahan perekat dan tatalan kayu diperoleh dari lingkungan Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.



Gambar 5. Bagan alir prosedur atau pelaksanaan penelitian.

3.4.2 Pengecilan Ukuran Bahan Baku Tahap Pertama

Bahan baku utama berupa limbah batang singkong dan batubara dibersihkan dari kotoran berupa tanah, bebatuan, logam atau material lainnya yang mampu mengganggu jalannya pelaksanaan penelitian. Selanjutnya, limbah batang singkong diperkecil ukurannya dengan dirajang menjadi serbuk/butiran kasar berukuran 0,5 hingga 0,1 cm menggunakan alat perajang batang singkong tipe TEP-1. Sedangkan batubara diperkecil ukurannya dengan ditumbuk menjadi serbuk/butiran kasar berukuran 0,5 hingga 1 cm menggunakan alu dan lumpang.

3.4.3 Pengeringan Bahan Baku

Pengeringan bahan baku berupa serbuk/butiran kasar limbah batang singkong dapat dilakukan dengan cara penjemuran di bawah sinar matahari hingga mencapai kadar air berkisar antara 8-10% atau selama 5 hingga 6 hari dalam kondisi cuaca yang cerah.. Untuk menghindari penyerapan air kembali dari udara oleh serbuk/butiran kasar limbah batang singkong, maka serbuk/butiran kasar limbah batang singkong dikemas dalam kantong plastik.

3.4.4 Pengecilan Ukuran Bahan Baku Tahap Kedua

Bahan baku berupa serbuk/butiran kasar limbah batang singkong yang telah dikeringkan kemudian digiling menggunakan *hammer mill* dengan konfigurasi 2G (dua kali giling), sedangkan bahan baku berupa serbuk/butiran kasar batubara digiling menggunakan *disc mill* dengan konfigurasi (1G) hingga partikel bahan baku menjadi serbuk/butiran halus atau tepung.

3.4.5 Pengayakan Bahan Baku

Pengayakan bahan baku dilakukan secara manual menggunakan ayakan *tyler meinzer* II pada ukuran lolos 20 *mesh*. Hasil akhir dari pengayakan digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan briket.

3.4.6 Persiapan Perekat Tapioka

Perekat tapioka dibuat dari campuran tepung tapioka dan air dengan rasio perbandingan sebesar 1:10 yang dididihkan atau dipanaskan di atas kompor atau *heater*. Selama pemanasan, campuran tepung tapioka dan air diaduk dengan sendok pengaduk hingga perekat tapioka merata secara sempurna, terasa lengket dan kental (*semi-solid*) apabila disentuh, dan berwarna putih transparan.

3.4.7 Pencampuran Bahan Baku dengan Perekat Tapioka

Bahan baku berupa serbuk/butiran halus limbah batang singkong dan batubara hasil penggilingan yang relatif homogen pada ukuran lolos 20 *mesh* seluruhnya akan digunakan sebagai bahan baku untuk produksi briket. Serbuk/butiran halus limbah batang singkong dan batubara dicampur dengan beberapa variasi komposisi bahan baku utama dalam produksi briket. Adapun variasi komposisi bahan baku utama antara serbuk/butiran halus limbah batang singkong dan batubara ialah 50%:50% (P_1), 60%:40% (P_2), 70%:30% (P_3), dan 80%:20% (P_4).

Selanjutnya, campuran serbuk/butiran halus limbah batang singkong dan batubara dicampurkan dengan perekat tapioka yang telah disiapkan dengan variasi konsentrasi perekat tapioka sebesar 15% (K_1), 17,5% (K_2), dan 20% (K_3) dari berat campuran serbuk/butiran halus limbah batang singkong dan batubara.

Pencampuran serbuk/butiran halus limbah batang singkong dan batubara dengan

perekat tapioka dilakukan secara manual dengan kedua tangan yang disertai alat pengaduk di dalam wadah pengadukan hingga membentuk adonan briket yang homogen. Formulasi bobot dan persentase adonan briket berbahan baku limbah batang singkong dengan penambahan batubara menggunakan perekat tapioka disajikan secara berturut-turut pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Formulasi bobot adonan briket berbahan baku limbah batang singkong dengan penambahan batubara menggunakan perekat tapioka.

Perlakuan	Formulasi Bobot Adonan/Bahan Umpan Briket (g)			
	Limbah Batang Singkong	Batubara	Perekat Tapioka	Total
P ₁ K ₁	300	300	90	690
P ₁ K ₂	300	300	105	705
P ₁ K ₃	300	300	120	720
P ₂ K ₁	360	240	90	690
P ₂ K ₂	360	240	105	705
P ₂ K ₃	360	240	120	720
P ₃ K ₁	420	180	90	690
P ₃ K ₂	420	180	105	705
P ₃ K ₃	420	180	120	720
P ₄ K ₁	480	120	90	690
P ₄ K ₂	480	120	105	705
P ₄ K ₃	480	120	120	720

Tabel 6. Formulasi persentase adonan briket berbahan baku limbah batang singkong dengan penambahan batubara menggunakan perekat tapioka.

Perlakuan	Persentase Adonan/Bahan Umpan Briket (%)			
	Limbah Batang Singkong	Batubara	Perekat Tapioka	Total
P ₁ K ₁	43,48	43,48	13,04	100
P ₁ K ₂	42,55	42,55	14,89	100
P ₁ K ₃	41,67	41,67	16,67	100
P ₂ K ₁	52,17	34,78	13,04	100

Tabel 6. Lanjutan.

P ₂ K ₂	51,06	34,04	14,89	100
P ₂ K ₃	50,00	33,33	16,67	100
P ₃ K ₁	60,87	26,09	13,04	100
P ₃ K ₂	59,57	25,53	14,89	100
P ₃ K ₃	58,33	25,00	16,67	100
P ₄ K ₁	69,57	17,39	13,04	100
P ₄ K ₂	68,09	17,02	14,89	100
P ₄ K ₃	66,67	16,67	16,67	100

3.4.8 Pencetakan atau Pengempaan Briket

Bahan-bahan yang telah dicampur dan membentuk adonan briket yang homogen kemudian dicetak menggunakan alat pencetak atau pengempa briket mekanis tipe ulir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil pencetakan atau pengempaan briket secara mekanis menggunakan alat pencetak atau pengempa briket mekanis tipe ulir berbentuk silinder pejal.



Gambar 6. Alat pencetak atau pengempa briket mekanis tipe ulir.

3.4.9 Pendinginan dan Pengeringan Briket

Briket yang telah dihasilkan dari alat pencetak atau pengempa briket mekanis tipe ulir umumnya cenderung panas dengan suhu permukaan berkisar 40-60 °C.

Briket yang telah dihasilkan dari pencetakan harus segera dikondisikan sampai dingin dengan cara meletakkannya atau menyimpannya di udara terbuka dengan suhu berkisar 25 hingga 28 °C (suhu kamar). Waktu pendinginan dapat berkisar 5 hingga 15 menit. Untuk mempercepat proses pendinginan briket yang dihasilkan, diterapkan suatu mekanisme tambahan dengan cara dikipas selama 10-15 menit.

Briket yang telah didinginkan kemudian dikeringkan dengan dijemur di bawah sinar matahari selama 5-6 hari dalam kondisi cuaca yang cerah. Setelah proses pengeringan selesai, briket dapat dikemas dalam kemasan plastik berbahan PE dan disimpan pada suhu kamar (umumnya 25-28 °C) selama 24 jam sebelum digunakan.

3.4.10 Pengujian Karakteristik Briket

Pengujian karakteristik briket dilakukan terhadap karakteristik fisis-mekanik, karakteristik kimia, dan karakteristik pembakaran briket sebagai bahan bakar yang terdiri dari densitas atau kerapatan, kadar air, kekuatan atau keteguhan tekan, *shatter resistance index*, nilai kalor, laju pembakaran, dan suhu dasar plat pemasakan (panci) saat pembakaran briket.

3.4.10.1 Densitas

Densitas atau kerapatan briket dinyatakan dalam perbandingan antara bobot briket dengan volume briket (g/cm^3). Densitas briket dapat diketahui dengan pembobotan briket dan menghitung volumenya berdasarkan panjang dan diameter sesuai persamaan berikut (Liu dkk., 2013):

$$V_u = \frac{\pi}{4} d^2 l \dots\dots\dots (1)$$

$$\rho_u = \frac{M_u}{V_u} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:	ρ_u	:	Densitas briket (g/cm^3)
	V_u	:	Volume briket (cm^3)
	M_u	:	Bobot briket (g)
	d	:	Diameter briket (cm)
	l	:	Panjang briket (cm).

3.4.10.2 Kadar Air

Sebanyak 2 gram sampel briket yang telah dihaluskan, ditimbang dengan teliti dan ditempatkan dalam cawan aluminium yang telah diketahui bobotnya, kemudian dikeringkan di dalam *oven* pada suhu 105°C hingga bobot konstan, selanjutnya sampel briket didinginkan dalam desikator selama 15 menit sebelum ditimbang bobotnya. Kadar air briket dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut (ASTM, 1998):

$$M (\%bb) = \frac{W_a - W_b}{W_a} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:	$M (\%bb)$:	Kadar air briket (%bb)
	W_a	:	Bobot awal briket (g)
	W_b	:	Bobot akhir briket (g).

3.4.10.3 Kekuatan Tekan

Kekuatan atau keteguhan tekan merupakan salah satu karakteristik fisis-mekanik yang penting untuk mengidentifikasi daya perlawanan briket untuk pecah atau retak dari suatu sistem yang disebabkan oleh adanya gaya tekan eksternal.

Kekuatan atau keteguhan tekan briket dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut (Hendra, 2007):

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan: P : Kekuatan tekan briket (N/cm²)
 F : Gaya maksimum (N)
 A : Luas permukaan briket (cm²).

3.4.10.4 *Shatter Resistance Index (SRI)*

Pengujian *shatter resistance index* dapat menggambarkan kekuatan briket selama penjatuhan briket dari angkutan transportasi (truk) ke permukaan tanah.

Pengujian *shatter resistance index* dilakukan dengan menjatuhkan briket yang telah diketahui bobotnya ke permukaan yang keras dari ketinggian 2 meter.

Shatter resistance index briket dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$SRI = 100\% - \left(\left(\frac{M_a - M_b}{M_a} \right) \times 100\% \right) \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan: SRI : *Shatter resistance index* briket (%)
 M_a : Bobot awal briket (g)
 M_b : Bobot akhir briket (g).

3.4.10.5 **Nilai Kalor**

Pengukuran nilai kalor briket didasarkan pada nilai kalor aktual (*experimental*) dan teoritis (dugaan). Pengukuran nilai kalor aktual briket dilakukan menggunakan *bomb calorimeter*. Sebanyak 0,50 gram sampel briket yang telah dihaluskan, ditimbang dengan teliti dalam cawan platina yang disediakan.

Selanjutnya, pasang benang penyulut pada *vessel bomb calorimeter*. Kaitkan cawan platina yang telah berisi sampel ke kawat dan masukkan ke dalam *vessel bomb calorimeter*. Isilah *vessel bomb calorimeter* dengan oksigen hingga tekanan mencapai 3000 kPa. Masukkan *vessel bomb calorimeter* ke dalam *bomb*

calorimeter dan tutup dengan rapat dan kencang. Kemudian, nyalakan *bomb calorimeter* dan masukkan data bobot sampel dari hasil penimbangan sebelumnya. Setelah itu, *bomb calorimeter* akan bekerja, tunggulah beberapa saat hingga nilai kalor sampel briket ditampilkan di layar *bomb calorimeter*. Ambil *vessel bomb calorimeter* dan buang tekanan yang ada hingga *bomb calorimeter* tidak bertekanan sama sekali (DDS Calorimeters, 2016).

Sementara itu, pengukuran nilai kalor teoritis (dugaan) briket secara keseluruhan dilakukan dengan perhitungan komposisi fisik briket yang dikalikan dengan data nilai kalor bahan baku penyusun briket seperti yang dijabarkan pada persamaan sebagai berikut (Novita dan Damanhuri, 2010):

$$CV_t = P \times CV_b \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan: CV_t : Nilai kalor teoritis (dugaan) briket (kal/g)
 P : Persentase komponen bahan baku (%)
 CV_b : Nilai kalor bahan baku (kal/g).

3.4.10.6 Laju Pembakaran

Uji laju pembakaran briket dilakukan untuk mengetahui kecepatan briket habis terbakar hingga menjadi abu dengan bobot tertentu. Dengan kata lain, laju pembakaran briket ialah perbandingan bobot briket yang terbakar terhadap lama pembakaran briket hingga menjadi abu. Bobot briket yang digunakan selama pelaksanaan pengujian laju pembakaran briket yaitu berkisar antara 20-34 gram. Proses penyalaan briket dimulai dengan menyusun briket di atas kawat kasa, kemudian briket disulut dengan api hingga menyala. Untuk mempercepat penyebaran bara briket yang dihasilkan, disarankan menerapkan suatu tambahan

mekanisme dengan cara dikipas untuk mengalirkan udara selama 10-15 menit setelah penyalaan awal briket (Tamrin, 2010). Lama nyala pembakaran briket diukur dengan menggunakan *stopwatch* hingga bara briket padam. Laju pembakaran briket dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut (Onuegbu dkk., 2011):

$$L_p = \frac{M}{t} \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan: L_p : Laju pembakaran briket (g/menit)
 M : Bobot briket (g)
 t : Waktu pembakaran briket (menit).

3.4.10.7 Suhu Dasar Plat Pemasakan (Panci) Saat Pembakaran

Jumlah bobot briket yang digunakan selama pelaksanaan pengujian suhu dasar plat pemasakan (panci) saat pembakaran briket yaitu sebesar 300 gram. Proses penyalaan briket dimulai dengan menyusun satu lapisan briket di atas anglo yang terbuat dari tanah liat sebagai dasar landasan ruang pembakaran, kemudian briket disulut dengan api hingga menyala. Untuk mempercepat penyebaran bara briket yang dihasilkan, diterapkan mekanisme tambahan dengan cara dikipas untuk mengalirkan udara selama 10-15 menit setelah penyalaan awal briket (Tamrin, 2010).

Setelah briket pada anglo menyala, plat pemasakan (panci) dengan diameter sebesar ± 22 cm diletakkan pada bagian atas permukaan tumpukan briket dengan jarak antara permukaan tumpukan briket dengan plat pemasakan (panci) sebesar 2-3 cm. Suhu dasar plat pemasakan (panci) tanpa beban saat pembakaran briket

diukur secara berkala setiap 2 menit dengan menggunakan termokopel hingga bara briket padam.

3.4.11 Analisa atau Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh dianalisa atau diolah dengan menggunakan analisis sidik ragam (*analysis of variance*) berdasarkan rancangan percobaan yang telah dikemukakan di depan. Analisa atau pengolahan dilakukan dengan menggunakan *software* SAS versi 9.13. Jika dalam hasil analisis sidik ragam terdapat pengaruh nyata dari faktor percobaan, maka analisa dilanjutkan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) untuk melihat perbedaan pengaruh antar taraf perlakuan pada selang kepercayaan sebesar 95%. Hasil analisa atau pengolahan data akan disajikan dalam bentuk tabel dan atau grafik serta diuraikan secara deskriptif.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Simpulan penelitian ini adalah:

1. Limbah batang singkong dengan dicampur batubara dapat dimanfaatkan sebagai briket menggunakan perekat tapioka.
2. Komposisi bahan baku utama (limbah batang singkong dan batubara) berpengaruh nyata terhadap kekuatan tekan briket dan laju pembakaran briket yang dihasilkan. Semakin tinggi persentase batubara dalam komposisi bahan baku utama cenderung meningkatkan kekuatan tekan dan menurunkan laju pembakaran briket.
3. Konsentrasi perekat tapioka berpengaruh nyata terhadap densitas, kekuatan tekan, *shatter resistance index*, dan laju pembakaran briket yang dihasilkan. Semakin rendah konsentrasi perekat tapioka yang digunakan cenderung meningkatkan densitas, kekuatan tekan, dan *shatter resistance index* serta menurunkan laju pembakaran briket.
4. Briket berbahan baku limbah batang singkong dengan penambahan batubara menggunakan perekat tapioka yang dihasilkan memiliki karakteristik sebagai berikut: densitas berkisar 0,3653-0,5080 g/cm³, kadar air berkisar 4,8174-7,6562%, kekuatan tekan berkisar 45,0933-48,5129 N/cm², *shatter resistance*

index berkisar 99,8841-99,9297%, nilai kalor aktual berkisar 4.296,01-5.014,80 kal/g, nilai kalor teoritis berkisar 4.535,34-5.123,66 kal/g, laju pembakaran briket berkisar 0,3634-0,4239 g/menit dengan massa briket yang dibakar sebesar 20-34 g, dan suhu dasar plat pemasakan (panci) saat pembakaran briket mampu mencapai suhu minimal yang harus dicapai agar pembakaran briket dapat digunakan untuk mendidihkan minyak (180 °C) dalam menggoreng bahan makanan.

5.2 Saran

Saran yang diajukan dari penelitian ini adalah:

1. Apabila briket dipergunakan sebagai bahan bakar rumah tangga dan industri, disarankan untuk menggunakan briket dengan komposisi bahan baku utama (limbah batang singkong dan batubara) sebesar 70%:30% dan konsentrasi perekat tapioka sebesar 15%.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui parameter karakteristik briket lainnya yang berpengaruh terhadap efektifitas penggunaan briket sebagai bahan bakar, seperti kadar abu, kadar bahan mudah menguap, kadar karbon terikat briket, *water boiling test*, *water resistance index*, dan *durability* briket.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., Zulfa, dan Jyoti, D.M. 2016. Pengaruh Penambahan Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Kualitas Briket Berbahan Utama Limbah Kulit Singkong. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 27 (1) : 49-58.
- Agustina, S.E., dan Syafrian, A. 2005. Mesin Pengempa Briket Limbah Biomassa : Salah Satu Solusi Penyediaan Bahan Bakar Pengganti BBM Untuk Rumah Tangga dan Industri Kecil. *Paper Seminar Nasional dan Kongres PERTETA*. Bandung.
- Aksara, D. K. 2007. *Energi Alternatif*. Yudhistira. Bogor.
- Alpian. 2003. Pengaruh Komposisi Serbuk Arang Kayu Limbah Industri Kayu Lapis Dan Kayu Limbah HTI Terhadap Kualitas Briket Arang Dengan Perekat Tepung Tapioka. *Thesis*. Magister Ilmu Kehutanan. Samarinda.
- Altun, E.N., Hicyilmaz, C., and Bagci, S.A. 2003. Combustion Characteristics of Coal Briquettes. 2. Reaction Kinetics. *Energy Fuels*. 17 (5) : 1277–1282.
- Andrejko, D., and Grochowicz, J. 2007. Effect of The Moisture Content on Compression Energy and Strength Characteristic of Lupine Briquettes. *Journal of Food Engineering*. 83 (1) : 116-120.
- Arif, I. 2014. *Batubara Indonesia*. Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Asamoah, B., Nikiema, J., Gebrezgabher, S., Odonkor, E., and Njenga, M. 2016. *A Review on Production, Marketing and Use of Fuel Briquettes*. International Water Management Institute (IWMI). Colombo.
- ASTM. 1998. Standard Method For Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels. *Annual Book of ASTM Standards*. West Conshohocken.
- Barus, E.K., Munir, P.A., dan Panggabean, S. 2017. Pembuatan Briket dari Sekam Padi dengan Kombinasi Batubara. *Jurnal Rekayasa Pangan dan Pertanian*. 5 (2) : 397-401.
- Bazargan, A., Rough, S.L., dan McKay, G. 2014. Compaction of Palm Kernel Shell Biochars for Application as Solid Fuel. *Biomass and Bioenergy*. 70 : 489-497.

- Bhattacharya, S.C., Leon, M.A., and Rahman, M.M. 2002. A Study on Improved Biomass Briquetting. *Energy for Sustainable Development*. 6 (2): 67-71.
- Budi, E. 2011. Tinjauan Proses Pembentukan dan Penggunaan Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Bakar. *Jurnal Penelitian Sains*. 14 (4) : 25-29.
- Cavalcanti, W.B. 2004. The Effect of Ingredient Composition on The Physical Quality of Pelleted Feeds: A Mixture Experimental Approach. *Dissertation*. Kansas State University. Manhattan.
- Cory, D.Y. 2001. Pengaruh Kadar Perekat Dan Tekanan Kempa Terhadap Sifat Fisis Dan Kimia Briket Arang dari Serasah Daun *Acacia mangium* Willd. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- DDS Calorimeters. 2016. *Cal2K Operating Manual V4.8*. DDS Calorimeters. Gauteng.
- Faborode, O.M. 1989. Moisture Effect in The Compaction of Fibrous Agricultural Residues. *Biology Wastes*. 28 (1) : 61-71.
- Faizal, M., Saputra, M., dan Zainal, A.F. 2015. Pembuatan Briket Bioarang dari Campuran Batubara dan Biomassa Sekam Padi dan Eceng Gondok. *Jurnal Teknik Kimia Universitas Sriwijaya*. 21 (4).
- Grover, P.D., and Mishra, S.K. 1996. Biomass Briquetting: Technology and Practices. *Regional Wood Energy Development Program in Asia, Field Document No. 46*. FAO. Bangkok.
- Gustam, A.A.R. 2018. Rancang Bangun Dan Uji Kinerja Alat Perajang Batang Singkong Tipe TEP-1. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Hambali, E., Mujdalipah, S., dan Haloman, A. 2008. *Teknologi Bioenergi*. Penerbit Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Hartoyo, 1983. Pembuatan Arang dan Briket Arang Secara Sederhana dari Serbuk Gergaji dan Limbah Industri Perkayuan. *Seminar Pemanfaatan Limbah Pertanian/Kehutanan Sebagai Sumber Energi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Bogor.
- Hendra, D. 1992. Pembuatan Briket Daun dari Limbah Pengolahan Minyak Kayu Putih. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 10 (1) : 20-23.
- _____. 1999. *Bahan Baku Pembuatan Arang dan Briket Arang*. Badan Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Bogor.
- _____. 2007. Pembuatan Briket Arang dari Campuran Kayu, Bambu, Sabut Kelapa dan Tempurung Kelapa Sebagai Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 25 (3) : 242-255.

- Hendra, D., dan Darmawan, S. 2000. Pembuatan Briket Arang dari Serbuk Gergajian Kayu dengan Penambahan Tempurung Kelapa. *Buletin Penelitian Hasil Hutan*. 18 (1) : 1-9.
- Hendra, D., dan Winarni, I. 2003. Sifat Fisis dan Kimia Briket Arang Campuran Limbah Kayu Gergajian dan Sabetan Kayu. *Buletin Penelitian Hasil Hutan*. 21 (3) : 211-216.
- Hilloks, J.R., Thresh, M.J., and Bellotti, C.A. 2001. *Cassava Biology: Production and Utilization*. CABI Publishing. Oxon.
- Himawanto, D.A. 2003. Pengolahan Limbah Pertanian Menjadi Biobriket Sebagai Salah Satu Bahan Bakar Alternatif. *Laporan Penelitian UNS*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Howeler, R.H. 2012. Dry Matter Accumulation and Nutrient Absorption and Distribution During The Growth Cycle of Cassava. *The Cassava Handbook*. CIAT. Cali.
- Hu, Q., Shao, J., Yang, H., Yao, D., Wang, X., and Chen, H. 2015. Effects of Binders on The Properties of Bio-Char Pellets. *Applied Energy*.
- Ika. 2016. Mahasiswa UGM Kembangkan Papan Partikel Berbahan Batang Singkong. 28 Januari 2016. Universitas Gadjah Mada. Diakses pada 26 September 2018. <https://ugm.ac.id/id/berita/11113-mahasiswa-ugm-kembangkan-papan-partikel-berbahan-batang-singkong>.
- Ikelle, I.I., Nworie, F.S., Ogah, A.O., and Ilochi, N.O. 2017. Study on The Combustion Properties of Bio-Coal Briquette Blends of Cassava Stalk. *ChemSearch Journal*. 8 (2) : 29-34.
- Jamilatun, S. 2008. Sifat-Sifat Penyalaan dan Pembakaran Briket Biomassa, Briket Batubara dan Arang Kayu. *Jurnal Rekayasa Proses*. 2 (2) : 39-40.
- Januardi, H.P.I. 1989. Pengaruh Tekanan Pengempaan Dan Jenis Perekat Terhadap Briket Arang Dengan Bahan Baku Arang Pasar. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Kalayan, N., and Morey, V.R. 2009. Factors Affecting Strength and Durability of Densified Biomass Products. *Biomass and Bioenergy*. 33 : 337-359.
- Karunanithy, C., Wang, Y., Muthukumarappan, K., and Pugalandhi, S. 2012. Physiochemical Characterization of Briquettes Made From Different Feedstocks. *Biotechnology Research International*. 2012 : 1-12.
- Kathiravale, S., Yunus, M.N.M., Sopian, K., Samsuddin, H.A., and Rahman, R.A. 2003. Modeling The Heating Value of Municipal Solid Waste. *Fuel*. 82 (9) : 1119-1125.

- Kiatgrajai, P., Tugsinavisuitti, S., Setthoe, R., and Adivadhanasit, C. 1991. Biomass Densification in Thailand. *Kasetsart Journal (Social Science)*. 25 : 76-82.
- Kulig, R., Skonecki, S., and Lysiak, G. 2012. The Effect of Binder Addition on The Parameters of Compacted Poplar Wood Sawdust. *Teka Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 12 (2) : 303-309.
- Kuncoro, H., Herbawamurti, T.E., Hawaria., and Darmawan, S. 1999. Study on Coal Briquettes Stove in Indonesia. *Energy Technology Laboratory*. LSDE-BPP. Jakarta.
- Kurniawan, O., dan Marsono. 2008. *Superkarbon: Bahan Bakar Alternatif Pengganti Minyak Tanah dan Gas*. Penebar Swadaya. Jakarta Timur.
- Lestari, L., Aripin., Yanti., Zainudin., Sukmawati., dan Marliani. 2010. Analisis Kualitas Briket Arang Tongkol Jagung yang Menggunakan Bahan Perikat Sagu dan Kanji. *Jurnal Aplikasi Fisika*. 6 (2) : 93-96.
- Li, Y., dan Liu, H. High-pressure Densification of Wood Residues to Form an Upgraded Fuel. *Biomass and Bioenergy*. 19 : 177-86.
- Liu, Z., Jiang, Z., Cai, Z., Fei, B., and Liu, X. 2013. Effects of Carbonization Conditions on Properties of Bamboo Pellets. *Renewable Energy*. 51 : 1-6.
- Maier, D.E., Kelley, R.L., and Bakker-Arkema, F.W. 1992. In Line, Chilled Air Pellet Cooling. *Feed Management*. 48 : 28-32.
- Mani, S., Tabil, G.S., and Sokhansanj, S. 2004. Evaluation of Compaction Equations Applied to Four Biomass Species. *Canada Biosystem Engineering*. 46 : 55-61.
- Mawarti, E. 2006. Modifikasi Desain Dan Uji Unjuk Kerja Mesin Pengempa Briket Semi Mekanis Tipe Kempa Ulir. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Missagia, B., Guererro, C., Narra, S., Sun, Y., Ay, P., and Krautz, J.H. 2011. Physicomechanical Properties of Rice Husk Pellet For Energy Generation. *Energy Fuels*. 25 (12) : 5786-5790.
- Mulyadi, A., Dewi, A.I., dan Deoranto, P. 2013. Pemanfaatan Kulit Buah Nipah Untuk Pembuatan Briket Bioarang Sebagai Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 14 (1) : 65-72.
- Nasruddin dan Affandy, R. 2011. Karakteristik Briket dari Tongkol Jagung dengan Perikat Tetes Tebu dan Kanji. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 22 (2) : 1-10.

- Nawawi, A.M. 2017. Pengaruh Suhu Dan Lama Pengeringan Terhadap Karakteristik Briket Arang Tempurung Kelapa. *Thesis*. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Ndraha, N. 2009. Uji Komposisi Bahan Pembuat Briket Bioarang Tempurung Kelapa Dan Serbuk Kayu Terhadap Mutu Yang Dihasilkan. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Noor, M.N., Shariff, A., and Abdullah, N. 2012. Slow Pyrolysis of Cassava Wastes For Biochar Production and Characterization. *Iranica Journal of Energy and Environment*. 3 : 60-65.
- Novita, M.D., dan Damanhuri, E. 2010. Perhitungan Nilai Kalor Berdasarkan Komposisi dan Karakteristik Sampah Perkotaan di Indonesia dalam Konsep Waste to Energy. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 16 (2) : 103-114.
- Nyakuma, B.B., Johari, A., Ahmad, A., dan Abdullah, T.A.T. 2014. Comparative Analysis of the Calorific Fuel Properties of Empty Fruit Bunch Fiber and Briquette. *Energy Procedia*. 52 : 466-473.
- Onchieku, J.M., Chikamai, B.N., and Rao, M.S. 2012. Optimum Parameters For The Formulation of Charcoal Briquettes Using Bagasse and Clay As Binder. *European Journal of Sustainable Development*. 1 (3) : 477-492.
- Onuegbu, U.T., Ekpunobi, E.U., Ogbu, M.I., Ekeoma, M.O., and Obumselu, F.O. 2011. Comparative Studies of Ignition Time And Water Boiling Test of Coal And Biomass Briquettes Blend. *IJJRAS*. 7 (2) : 153-159.
- Pari, G., Hendra, D., dan Hartoyo. 1990. Beberapa Sifat Fisis dan Kimia Briket Arang dari Limbah Arang Aktif. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 7 (2) : 61-67.
- Patabang, D. 2012. Karakteristik Termal Briket Arang Sekam Padi dengan Variasi Bahan Perekat. *Jurnal Mekanikal*. 3 (2) : 286-292.
- Pattiya, A., Titiloye, O.J., and Bridgwater, V.A. 2007. Fast Pyrolysis of Agricultural Residues From Cassava Plantation For Bio-Oil Production. *Asian Journal on Energy and Environment*. 8 (2) : 496-502.
- Permen ESDM. 2006. *Pedoman Pembuatan dan Pemanfaatan Briket Batubara dan Bahan Bakar Padat Berbasis Batubara*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.
- Purwanto, D. 2015. Pengaruh Ukuran Partikel Tempurung Sawit dan Tekanan Kempa Terhadap Kualitas Biobriket. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 33 (4) : 303-313.

- Pusdatin (Pusat Data dan Informasi Pertanian). 2016. *Outlook Komoditas Pertanian Tanaman Pangan Ubi Kayu*. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Putri, G.L. 2010. Pengaruh Campuran Serat Kelapa Sawit Dan Ampas Tebu Dengan Batubara Untuk Pembuatan Briket Biocoal Terhadap Sifat Fisik Dan Laju Pembakaran. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Rakhmat, A. 2013. Pengaruh Variasi Konsentrasi Bahan Baku Perikat Dan Tekanan Kempa Terhadap Sifat Fisika-Kimia Briket Arang Dari Limbah Tongkol Jagung (*Zea Mays L.*). *Skripsi*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Rukmana, R.H. 1997. *Ubi Kayu: Budidaya dan Pascapanen*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Saktiawan, I. 2000. Identifikasi Sifat Fisis Dan Kimia Briket Arang Dari Sabut Kelapa (*Cocos nucifera L.*). *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Saptoadi, H. 2008. The Best Biobriquette Dimension and Its Particle Size. *Asian Journal Energy Environ.* 9 :161-175.
- Shen, G., Xue, M., Chen, Y., Yang, C., Li, W., Shen, H., Huang, Y., Zhang, Y., Chen, H., Zhu, Y., Wu, H., Ding, A., dan Tao, S. 2014. Comparison of Carbonaceous Particulate Matter Emission Factors Among Different Solid Fuels Burned in Residential Stoves. *Atmospheric Environment.* 89 : 337-345.
- Sitompul, Y.M. 2012. Pengaruh Lama Dan Suhu Pengerinan Briket Biomassa Ampas Tebu Terhadap Kualitas Nilai Bakar Yang Dihasilkan. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Sivamani, S., Chandrasekaran, A.P., Balajii, M., Shanmugaprakash, M., Hosseini-Bandegharai, A., and Baskar, R. 2018. Evaluation of The Potential of Cassava-Based Residues For Biofuels Production. *Review Environment Science Biotechnology.* 17 : 553-570.
- SNI 01-6235-2000. 2000. *Briket Arang*. Jakarta.
- Stevens, C.A. 1987. Starch Gelatinization And The Influence Of Particle Size, Steam Pressure And Die Speed On The Pelleting Process. *Dissertation*. Kansas State University. Manhattan.
- Sudrajat, R. 1984. Pengaruh Kerapatan Kayu, Tekanan Pengempaan, dan Jenis Perikat Terhadap Sifat Briket Kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan.* 1 (1) : 11-16.

- Sukandarrumidi. 2018. *Batubara dan Pemanfaatannya: Pengantar Teknologi Batubara Menuju Lingkungan Bersih*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Sumada, K., Tamara, E.P., dan Alqani, F. 2011. Kajian Proses Isolasi A-Selulosa dari Limbah Batang Tanaman *Manihot esculenta* Crantz. yang efisien. *Jurnal Teknik Kimia*. 5 (2) : 434-438.
- Sumangat, D., dan Broto, W. 2009. Kajian Teknis dan Ekonomis Pengolahan Briket Bungkil Biji Jarak Pagar Sebagai Bahan Bakar Tungku. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian*. 5.
- Suprpti, L.M. 2005. *Tepung Tapioka: Pembuatan dan Pemanfaatannya*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Suryani, A. 1987. Pengaruh Tekanan Pengempaan Dan Jenis Perekat Dalam Pembuatan Arang Briket Dari Tempurung Kelapa Sawit (*Elaeis quinensis* Jacq). *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Tamrin. 2010. Pengembangan Tungku Briket Batubara Skala Rumah Tangga. *Agritech*. 30 (4) : 250-255.
- _____. 2010. Simulasi Perubahan Suhu dalam Ruangan Pembakaran Tertutup Saat Pematian Bara Api Briket Batubara. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi III: Peran Strategis Sains dan Teknologi dalam Mencapai Kemandirian Bangsa*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- _____. 2011. Sifat Pembakaran Campuran Briket Batubara dengan Lima Jenis Biomassa. *Prosiding Seminar Nasional dan Rapat Tahunan Dekan: Bidang Ilmu-Ilmu Pertanian BKS-PTN Wilayah Barat Volume 2*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Taulbee, D., Patil, P.D., Honaker, Q.R., and Parekh, K.B. 2009. Briquetting of Coal Fines and Sawdust Part I: Binder and Briquetting Parameters Evaluation. *International Journal Coal*. 29 (1) : 1-22.
- Thomas, M., van Zuilichem, D.J., and van der Poel A.F.B. 1997. Physical Quality of Pelleted Animal Feed 2: Contribution of Processes and Its Conditions. *Animal Feed Science and Technology*. 64 :73-92.
- Tumuluru, S.J., Wright, T.C., Hess, R.J., and Kenney, L.K. 2011. A Review of Biomass Densification System to Develop Uniform Feedstock Commodities For Bioenergy Application. *Biofuels, Bioproduction and Biorefining*. 5 (6) : 683-707.
- Utomo, F.A., dan Primastuti, N. 2013. Pemanfaatan Limbah Furniture Eceng Gondok Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Briket Bioarang. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 2 (2) : 220-225.

- Vachlepi, A., dan Suwardin, D. 2013. Penggunaan Biobriket Sebagai Bahan Bakar Alternatif dalam Pengembangan Karet Alam. *Warta Perkaratan*. Palembang.
- Widodo, L.U., Sumada, K., Pujiastuti, C., dan Karaman, N. 2013. Pemisahan Alpha-Selulosa dari Limbah Batang Ubi Kayu Menggunakan Larutan Natrium Hidroksida. *Jurnal Teknik Kimia*. 7 : 43-47.
- Wilaipon, P. 2010. Density of Equation of Cassava-Stalk Briquettes Under Moderate Die-Pressure. *American Journal Applied Sciences*. 7 (5) : 698-701.
- Wulanawati, A., Perwaningsih, H., dan Denitasari, N.A. 2012. Briket Ampas Sagu Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Sains V*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Yank, A., Ngadi, M., and Kok, R. 2016. Physical Properties of Rice Husk and Bran Briquettes Under Low Pressure Densification For Rural Applications. *Biomass and Bioenergy*. 84 : 22-30.
- Zhang, G., and Li, B. 2012. Availability and Physical Properties of Residues from Major Agricultural Crops For Energy Conversion Through Thermochemical Processes. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 7 (3) : 313-321.
- Zhu, W., Lestander, A.T., Orberg, H., Wei, M., Hedman, B., Ren, J., Xie, G., and Xiong, S. 2015. Cassava Stems: A New Resource to Increase Food And Fuel Production. *GCB Bioenergy*. 7 : 72-83.