

**PENGEMBANGAN BIOBRIKET BERBAHAN BAKU CAMPURAN
LIMBAH BATANG SINGKONG, LIMBAH TEMPURUNG KELAPA DAN
LIMBAH BAMBU**

(Tesis)

Oleh

**DEWI IRA RAHMAWATI
NPM 2020011006**



**PROGRAM STRATA 2
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PASCASARJANA UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PENGEMBANGAN BRIKET BIOMASSA BERBAHAN BAKU CAMPURAN LIMBAH BATANG SINGKONG, LIMBAH TEMPURUNG KELAPA DAN LIMBAH BAMBU

Oleh

DEWI RA RAHMAWATI

Meningkatnya populasi manusia dan perindustrian mengakibatkan kebutuhan energi yang tinggi, dimana selama ini dipenuhi oleh bakar fosil. Bahan bakar tersebut bersifat terbatas, tidak dapat didaur ulang dan memiliki dampak negatif bagi lingkungan, sehingga diperlukan alternatif pengganti bahan bakar fosil berupa biobriket. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menghasilkan produk bahan bakar berupa biobriket dari limbah pertanian yang ramah lingkungan, mengkaji dan mempelajari kandungan energi dan karakteristik biobriket serta menganalisis kelayakan ekonomi biobriket yang dihasilkan. Penelitian ini disusun secara faktorial dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor dan tiga ulangan. faktor pertama (P) ialah perbandingan komposisi bahan antara limbah batang singkong, limbah tempurung kelapa dan limbah batang bambu yang terdiri dari tiga taraf perlakuan yaitu perbandingan komposisi limbah batang singkong, tempurung kelapa dan batang bambu sebesar 60:20:20 (P1), perbandingan komposisi limbah batang singkong, tempurung kelapa dan batang bambu sebesar 20:60:20 (P2), perbandingan komposisi limbah batang singkong tempurung kelapa dan batang bambu sebesar 20:20:60 (P3) dan perbandingan komposisi limbah batang singkong, limbah tempurung kelapa dan batang bambu sebesar 30:35:35 (P4). Faktor kedua adalah faktor perekat tapioka (T) dengan konsentrasi perekat tapioka sebesar 5% (T1) dan konsentrasi perekat campuran tapioka dan *clay* sebesar 5% (T2). Parameter yang diamati terdiri dari kerapatan, kadar air, kekuatan tekan, *shatter resistance index*, nilai kalor, laju pembakaran, dan suhu pembakaran biobriket. Kelayakan ekonomi biobriket ditentukan berdasarkan besarnya nilai *Revenue Cost Ratio (R/C Ratio)* dan *Pay Back Period (PBP)*. Karakteristik biobriket yang dihasilkan pada kerapatan berkisar 0,5-0,71 g/cm³, kadar air berkisar 7,15-8,52%, kekuatan tekan briket berkisar 98,28%, nilai kalor berkisar 5738-6513 kal/g, laju pembakaran berkisar 1,085-2,38 g/menit, dan pembakaran rata-rata yang diperoleh adalah berkisar 118-288°C. Biobriket yang

Dewi Ira Rahmawati

telah dibuat, pada seluruh perlakuan dinyatakan layak secara ekonomi karena memiliki nilai *R/C Ratio* berkisar antara 1,4-1,6. Nilai *payback period* yang diperoleh berkisar antara 1,4-2,5 tahun.

Kata kunci: Biobriket, energi, karakteristik, kelayakan ekonomi, limbah pertanian.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF BIOBRIQUETTES MIXES WITH CASSAVA STEM WASTE, COCONUT SHELL WASTE AND BAMBOO WASTE

By

DEWI IRA RAHMAWATI

The increase in human population and industry has resulted in a high demand for energy, which has so far been met by fossil fuels. This fuel is limited, cannot be recycled and has a negative impact on the environment, so an alternative to fossil fuels is needed in the form of biobriquettes. The purpose of this research is to produce fuel products in the form of biobriquettes from environmentally friendly agricultural waste, to study and study the energy content and characteristics of biobriquettes and to analyze the economic feasibility of the resulting biobriquettes. This study was arranged factorially in a completely randomized design (CRD) with two factors and three replications. The first factor (P) is the comparison of the material composition between cassava stem waste, coconut shell waste and bamboo stem waste which consists of three treatment levels, namely the ratio of the composition of waste cassava stems, coconut shell waste and bamboo stems of 60:20:20 (P1), the ratio composition of waste cassava stems, coconut shells and bamboo stems was 20:60:20 (P2), the ratio of the composition of waste coconut shell cassava stems and bamboo stems was 20:20:60 (P3) and the composition ratio of waste cassava stems, coconut shell waste and bamboo sticks of 30:35:35 (P4). The second factor was the tapioca adhesive factor (T) with a tapioca adhesive concentration of 5% (T1) and a mixture of tapioca and clay adhesive concentration of 5% (T2). Parameters observed consisted of density, moisture content, compressive strength, shatter resistance index, calorific value, burning rate, and bottom temperature of the pan when burning briquettes. The economic feasibility of biobriquettes is determined based on the value of the Revenue Cost Ratio (R/C Ratio) and the Pay Back Period (PBP). The characteristics of the biobriquettes produced at densities ranged from 0.5-0.71 g/cm³, moisture content ranged from 7.15-8.52%,

Dewi Ira Rahmawati

compressive strength of the briquettes ranged from 98.28%, calorific value ranged from 5738-6513 cal/g, rate combustion ranges from 1.085-2.38 g/minute, and the average combustion obtained is around 118-288°C. The biobriquettes that have been made, in all treatments were declared economically viable because they had R/C ratio values ranging from 1.4 to 1.6. The payback period values obtained ranged from 1.4-2.5 years.

Keywords: *Agricultural waste, biobriquettes, economic feasibility, energy characteristics, strategi.*

**PENGEMBANGAN BIOBRIKET BERBAHAN BAKU CAMPURAN
LIMBAH BATANG SINGKONG, LIMBAH TEMPURUNG KELAPA DAN
LIMBAH BAMBU**

Oleh

DEWI IRA RAHMAWATI

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER LINGKUNGAN**

Pada

**Program Studi Magister Ilmu Lingkungan
Pascasarjana Multidisiplin Universitas Lampung**



**PROGRAM STRATA 2
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PASCASARJANA UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Tesis : **PENGEMBANGAN BIOBRIKET BERBAHAN
BAKU CAMPURAN LIMBAH BATANG
SINGKONG, LIMBAH TEMPURUNG KELAPA
DAN LIMBAH BAMBU**

Nama Mahasiswa : **Dewi Ira Rahmawati**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2020011006**

Program Studi : **Magister Ilmu Lingkungan**

Fakultas : **Pascasarjana Multidisiplin**

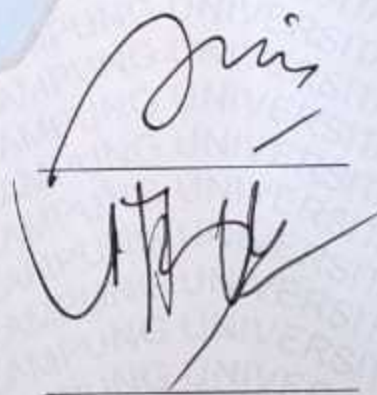


MENYETUJUI
1. Komisi Pembimbing

Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP 196210101989021002

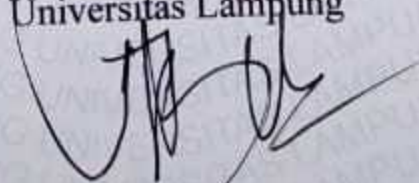


Dr. Warji, S.TP., M.Si.
NIP 197801022003121001



Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si..
NIP 196105051987031002

2. Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan
Universitas Lampung



Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si.
NIP 196105051987031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

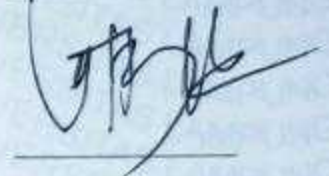
Ketua : Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.



Sekretaris : Dr. Warji, S.TP., M.Si



Anggota : Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si.



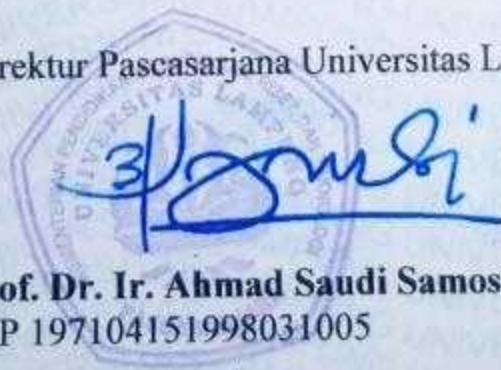
Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Neli Aida, S.E., M. Si.



Anggota : Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.



2. Direktur Pascasarjana Universitas Lampung



Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.
NIP 197104151998031005

Tanggal Lulus Ujian Tesis : 09 Februari 2023

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul **“PENGEMBANGAN BIOBRIKET BERBAHAN BAKU CAMPURAN LIMBAH BATANG SINGKONG, LIMBAH TEMPURUNG KELAPA DAN LIMBAH BAMBU”** adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya. Saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 21 Feb 2023
Yang membuat pernyataan,



Dewi Ira Rahmawati
NPM 2020011006

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lampung Barat, 01 November 1996 sebagai anak pertama dari dua bersaudara yang merupakan anak pasangan Bapak Gunawan dan Ibu Temu Lestari. Penulis menempuh pendidikan di SDN 1 Sumber Agung tahun 2003-2009, SMPN 20 Bekasi tahun 2009-2012, dan MAN 14 Jakarta tahun 2012-2015. Tahun 2015, penulis melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Mandiri dan lulus pada tahun 2019. Tahun 2020 penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Fakultas Pascasarjana Multidisiplin, Universitas Lampung melalui jalur mandiri gelombang 2. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi panitia Seminar Nasional Ilmu Lingkungan (SNaIL) yang diadakan oleh Program Pascasarjana Multidisiplin Universitas Lampung.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Teriring rasa syukur ke hadirat Allah SWT

Ku persembahkan karya kecil ini
sebagai tanda cinta dan kasihku
kepada sepasang jiwa yang tidak pernah lekang oleh waktu
Bapak Gunawan dan Mamak Temu Lestari
dengan penuh kesabaran, tetesan keringat, dan kasih sayangnya
yang selalu mendoakan di setiap langkahku,
mengajariku arti sebuah perjalanan hidup,
dan mengantarkanku ke jenjang pendidikan yang lebih tinggi

Adikku tersayang Maulana Bayu Aji Krisna Mukti,
Nenekku tercinta Mbok Katirah (alm)
yang selalu memberikan dukungan dan cinta kasihnya
dalam mengiringi langkahku

Almamater tercinta,
Program Studi Magister Ilmu Lingkungan
Pascasarjana Multidisiplin
Universitas Lampung

MOTTO

“Hanya dirimu sendiri yang bisa menolongmu. Tuhan memang memberi jalan,
tapi akan sia-sia jika kamu tidak melangkah”.

SANWACANA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Pengembangan Biobriket Berbahan Baku Campuran Limbah Batang Singkong, Limbah Tempurung Kelapa dan Limbah Batang Bambu”** sebagai salah satu syarat untuk menempuh gelar Magister Lingkungan. terselesaikannya penulisan tesis ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dorongan berbagai pihak, sehingga penulis mengucapkan terimakasih yang tulus kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T. selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Drs. Simon Sembiring, Ph.D., (Alm) selaku Wakil Direktur Bidang Akademik, Kemahasiswaan dan Alumni Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Maulana Mukhlis, S.Sos, M.IP. selaku Wakil Direktur Bidang Umum Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si. selaku Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Pascasarjana Multidisiplin Universitas Lampung dan dosen pembimbing ketiga yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, kritik, perhatian, dan motivasi kepada penulis.
6. Ibu Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberi penulis arahan, nasihat, perhatian, kritik, saran, dan motivasi kepada penulis.
7. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si., selaku dosen pembimbing utama yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran, memberikan arahan, nasihat, perhatian, kritik, saran, dan motivasi kepada penulis.

8. Bapak Dr. Warji, S.TP., M.Si. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, arahan, perhatian, nasihat, kritik, saran, dan motivasi kepada penulis.
9. Ibu Dr. Neli Aida, S.E., M.Si., selaku dosen pembahas utama yang telah membimbing penulis dengan penuh kasih sayang, memberikan banyak arahan, perhatian, nasihat, dan motivasi kepada penulis.
10. Bapak Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., selaku dosen pembahas kedua yang telah membimbing penulis dengan kesabaran dan kasih sayangnya, memberikan arahan, perhatian, nasihat, dan motivasi kepada penulis.
11. Segenap dosen Program Studi Magister Ilmu Lingkungan yang telah memberikan banyak wawasan dan ilmu pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di Universitas Lampung.
12. Mas Heri Susanto, S.H. dan tim administrasi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Lampung yang selalu siap siaga memenuhi berbagai macam keperluan administrasi penulis selama kuliah.
13. PT. Bukit Asam Tbk Unit Pengusahaan Briket Lampung yang telah menyediakan fasilitas tempat dan beberapa peralatan pembuatan briket.
14. Kepala Pabrik PT. Bukit Asam Tbk Unit Pengusahaan Briket Lampung yaitu Bapak Setiatmoko Adi Prakoso yang telah memberikan izin penulis untuk menggunakan fasilitas pabrik.
15. Bagian Administrasi PT. Bukit Asam Tbk Unit Pengusahaan Briket Lampung yaitu Ibu Devi yang telah membantu penulis mengurus surat izin penelitian.
16. Kepala Bagian Produksi, staff-staff dan keamanan PT. Bukit Asam Tbk Unit Pengusahaan Briket Lampung yaitu Mbah Agus, Pak Nanang, Mas Rizky dan rekan-rekan yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.
17. Kepala Laboratorium Sumber Daya Air dan Lahan (RSDAL) Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung yaitu bapak Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc yang telah mengizinkan penulis untuk menggunakan laboratorium beserta peralatannya untuk analisis.
18. Orang tua penulis yaitu Bapak Gunawan dan Ibu Temu Lestari yang selalu memberikan nasihat, perhatian, doa, semangat, kasih sayang, dan dukungan moril maupun materil hingga penulis dapat menempuh langkah sejauh ini.

19. Saudara penulis yaitu Maulana Bayu Aji Krisna Mukti yang selalu memberikan dukungan, motivasi, dan kasih sayang kepada penulis.
20. Nenek penulis yaitu (Alm) Mbah Katirah yang selalu memberikan kepercayaan, semangat, dana, kasih sayang yang tiada putus hingga akhir hayatnya.
21. Keluarga besar penulis di Natar, Bekasi dan Suoh yang selalu mendoakan, memberikan motivasi, perhatian, dan kasih sayang yang tulus kepada penulis.
22. Tim sukses penelitianku yaitu Putri Dwi Mei Kartini, Ferli Hartati, Miftahudin, Agung Tri Cahyo, Rendi Cahyo Hendratmoko, Agus Toni, Destia Novasari dan Inggit Meilani Putri yang telah membantu penulis dalam proses pengambilan data di lapangan.
23. Sahabat-sahabat penulis yaitu Ika Nurjanah, Novia Dewara, Kartika Puspa Dewi, Deya Puspa, Prila Idayanti, Emi Artika, Rodhatul Jannah, Tri Rubiyanti, Azizah Zeavani, Endah Susilowati, Nindia Tria Puspa dan Della Tiara Monik yang telah memberikan motivasi kepada penulis.
24. Keluarga besar mahasiswa Magister Ilmu Lingkungan Universitas Lampung Angkatan 2020.
25. Seluruh pihak yang terlibat dalam proses penelitian dan penyusunan tesis ini yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna, tetapi penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Bandar Lampung, 21 Februari 2023
Penulis,

Dewi Ira Rahmawati

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Rumusan masalah	4
1.3. Tujuan penelitian	5
1.4. Kerangka pemikiran pemecahan masalah.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Krisis energi	8
2.1.1. Energi batubara	9
2.1.2. Dampak negatif batubara terhadap lingkungan.....	11
2.2. Energi biomassa	13
2.2.1. Limbah biomassa bidang pertanian	14
2.2.2. Dampak penumpukan limbah pertanian terhadap lingkungan	22
2.2.3. Potensi limbah pertanian untuk biobriket	23
2.3. Rancang Acak Lengkap (RAL) faktorial	24
2.3.1. Model linier dan penguraian keragaman total	26
2.3.2. Analisis varians (sidik ragam)	26
2.4. Teori produksi	27
2.4.1. Fungsi produksi.....	29
2.6. Tinjauan riset terdahulu	31
III. METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1. Pembuatan biobriket	32
3.1.1. Waktu dan tempat penelitian	32
3.1.2. Alat dan bahan penelitian.....	32
3.1.3. Metode penelitian.....	33
3.1.4. Prosedur penelitian.....	35
3.1.4.1. Persiapan bahan baku	37
3.1.4.2. Pengarangan bahan baku.....	37
3.1.4.3. Pengecilan ukuran arang	38
3.1.4.4. Pembuatan perekat tapioka	40
3.1.4.5. Pencampuran perekat dengan bahan baku	41
3.1.4.6. Pencetakan biobriket	41
3.1.4.7. Pengeringan biobriket	42

	Halaman
3.2. Pengujian karakteristik biobriket	43
3.2.1. Kerapatan biobriket	43
3.2.2. Kadar air biobriket	44
3.2.3. Kekuatan tekan biobriket	45
3.2.4. <i>Shatter resistance index</i> biobriket	46
3.2.5. Nilai kalor biobriket	47
3.2.6. Laju pembakaran biobriket	48
3.2.7. Suhu pembakaran biobriket	49
3.3. Analisis kelayakan ekonomi biobriket	50
3.3.1. <i>Revenue Cost Ratio (R/C Ratio)</i>	50
3.3.2. Analisis pembayaran kembali (<i>Payback period</i>)	53
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	54
4.1. Hasil produksi biobriket	54
4.1.1. Rendemen bahan baku	54
4.1.2. Biobriket	55
4.2. Hasil pengujian karakteristik biobriket	56
4.2.1. Kerapatan biobriket	57
4.2.2. Kadar air biobriket	61
4.2.3. Kekuatan tekan biobriket	65
4.2.4. <i>Shatter resistace index</i> biobriket	67
4.2.5. Nilai kalor biobriket	70
4.2.6. Laju pembakaran biobriket	73
4.2.7. Suhu pembakaran biobriket	75
4.3. Nilai keekonomisan biobriket	78
4.3.1. <i>Revenue Cost Ratio (R/C Ratio)</i>	78
4.3.2. <i>Payback Period (PBP)</i>	72
4.4. Pengaruh kegiatan produksi terhadap lingkungan	84
V. SIMPULAN DAN SARAN	86
5.1. Kesimpulan	86
5.2. Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	88
LAMPIRAN	95

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Fluktuasi harga batubara tahun 2020	10
2. Fluktuasi harga batubara tahun 2021	11
3. Luas panen, produksi dan produktivitas Singkong di Provinsi Lampung tahun 2016.....	17
4. Karakteristik kimia limbah batang singkong	18
5. Komposisi kimia tempurung kelapa	20
6. Komposisi kimia bambu	22
7. Riset terdahulu mengenai biobriket	31
8. Hasil randomisasi menurut RAL faktorial (mengarah Kesamping)	33
9. Rendemen bahan baku biobriket.....	54
10. Karakteristik biobriket	57
11. Pengaruh perekat dan komposisi bahan baku terhadap kerapatan biobriket.	59
12. Hubungan interaksi antar perlakuan terhadap kerapatan biobriket.....	59
13. Hubungan interaksi antar perekat terhadap kerapatan biobriket.....	60
14. Pengaruh perekat dan komposisi bahan baku terhadap kadar air biobriket.	62
15. Hubungan interaksi antar perlakuan terhadap kadar air biobriket	63
16. Hubungan interaksi perekat terhadap kadar air biobriket	63
17. Pengaruh komposisi bahan baku dan perekat terhadap kekuatan tekan biobriket	66
18. Hubungan interaksi antar perlakuan terhadap kekuatan tekan biobriket	66

Tabel	Halaman
19. Hubungan interaksi antar perekat terhadap kekuatan tekan biobriket ..	67
20. Pengaruh perlakuan perekat terhadap <i>shatter resistance index</i>	69
21. Nilai kalor biobriket.....	71
22. Nilai R/C <i>Ratio</i> yang diperoleh pada penelitian	79
23. Nilai <i>payback period</i> P1, P2, P3 dan P4	83
24. Bobot awal (g) biobriket dalam pengujian kadar air.....	96
25. Data bobot akhir (g) biobriket dalam pengujian kadar air	96
26. Data kadar air (%) biobriket.....	97
27. Data diameter (cm) biobriket dalam pengujian densitas.....	97
28. Data panjang (cm) biobriket dalam pengujian densitas	98
29. Data bobot (g) biobriket dalam pengujian densitas	98
30. Data densitas (g/cm ³) biobriket.....	99
31. Data bobot beban (kg) dalam pengujian kekuatan tekan	99
32. Data diameter (cm) biobriket dalam pengujian kekuatan tekan	100
33. Data panjang (cm) biobriket dalam pengujian kekuatan tekan.....	100
34. Data kekuatan tekan (N/cm ²) biobriket.....	101
35. Data bobot awal (g) biobriket dalam pengujian <i>shatter resistance index</i>	101
36. Data bobot akhir (g) biobriket dalam pengujian <i>shatter resistance index</i>	102
37. Data <i>shatter resistance index</i> (%) biobriket.....	102
38. Data bobot (g) biobriket dalam pengujian laju pembakaran.....	103
39. Data lama pembakaran (menit) biobriket dalam uji laju pembakaran ..	103
40. Hasil pengukuran suhu pembakaran	104
41. Biaya depresiasi	106

Tabel	Halaman
42. Biaya produksi untuk biobriket dengan komposisi limbah batang singkong 20%, limbah tempurung kelapa 60% dan limbah bambu 20% serta perekat tapioka 5%	107
43. Biaya produksi untuk biobriket dengan komposisi limbah batang singkong 60%, tempurung kelapa 20%, bambu 20% serta perekat tapioka 5%	107
44. Biaya produksi untuk biobriket dengan komposisi limbah batang singkong 20%, tempurung kelapa 20%, bambu 60% serta perekat tapioka 5%	108
45. Biaya produksi untuk biobriket dengan komposisi limbah batang singkong 30%, tempurung kelapa 35%, bambu 35% serta perekat tapioka 5%	108
46. Biaya tidak langsung produksi biobriket	109
47. Biaya total produksi biobriket.....	109
48. Pendapatan kotor produksi biobriket	110
49. <i>Revenue Cost Ratio (R/C Ratio)</i>	110
50. <i>Payback Period (PBP)</i>	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran pemecahan masalah.....	7
2. Prosedur penelitian	36
3. Pengarangan bahan baku.....	38
4. Pengecilan ukuran arang	39
5. Serbuk hasil pengayakan.....	39
6. Proses pembuatan perekat.....	40
7. Proses pencampuran bahan baku dengan perekat	41
8. Proses pencetakan biobriket.....	42
9. Proses pengeringan biobriket di bawah sinar matahari.....	43
10. Pengukuran kerapatan biobriket menggunakan jangka sorong.....	44
11. Pengujian kadar air biobriket menggunakan oven	45
12. Proses uji kekuatan tekan biobriket	46
13. Uji <i>shatter resistance index</i> biobriket	47
14. Proses uji laju pembakaran biobriket.....	49
15. Uji suhu pembakaran biobriket	50
16. Biobriket hasil penelitian	56
17. Perbandingan kerapatan biobriket.....	58
18. Perbandingan nilai kadar air biobriket	61
19. Perbandingan kekuatan tekan biobriket	65

Gambar	Halaman
20. Perbandingan nilai <i>shatter resistance index</i> biobriket.....	68
21. Perbandingan laju pembakaran biobriket.....	73
22. Nilai rata-rata suhu pembakaran dengan perekat tapioka 5%	75
23. Nilai rata-rata suhu pembakaran dengan perekat campuran tapioka dan <i>clay</i> 5%	76
24. Batang bambu sebagai bahan baku	112
25. Batang singkong sebagai bahan baku	112
26. Tempurung kelapa sebagai bahan baku	113
27. Proses pengecilan ukuran batang bambu	113
28. Proses pengecilan ukuran batang singkong	114
29. Proses penimbangan bahan baku sebelum diarangkan	114
30. Proses penimbangan bahan baku	115
31. Proses penimbangan perkat.....	115
32. Penimbangan bobot biobriket	116
33. Pengukuran panjang biobriket	116
34. Pengukuran diameter biobriket	117
35. Kondisi abu biobriket setelah proses pembakaran.....	117
36. Hasil uji nilai kalor biobriket dengan Bomb Kalorimeter	118

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Populasi manusia mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Tahun 2020 jumlah penduduk Indonesia sebanyak 270.203.917 jiwa, jumlah tersebut mengalami peningkatan pada 2021 menjadi 273.879.750 jiwa, hingga pada 2022 jumlah penduduk Indonesia menjadi 275.361.267 jiwa (Badan Pusat Statistik, 2022). Manusia memiliki kebutuhan dasar berupa energi. Kebutuhan energi manusia selama ini dipenuhi oleh bahan bakar fosil terutama batubara. Keberadaan populasi manusia berbanding terbalik dengan keadaan energi fosil, energi fosil jumlahnya semakin menipis dan tidak dapat diperbaharui sedangkan populasi manusia jumlahnya terus meningkat. Keadaan tersebut mengakibatkan terjadinya krisis energi karena jumlah permintaan energi lebih besar dibandingkan jumlah penawaran energi yang ada. Menipisnya jumlah batubara menyebabkan harganya menjadi mahal. Tiga tahun terakhir harga batubara mengalami peningkatan yang cukup tinggi. Desember 2020 harga batubara mencapai 59,65 USD/ton, harga tersebut hampir naik tiga kali lipat pada Desember 2021 menjadi 159,79 USD/ton, Desember 2022 harga batubara kembali meningkat menjadi 281,48 USD/ton (Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam, 2023). Selain penipisan cadangan dan kenaikan harga, batubara juga memiliki dampak negatif.

Penggunaan batubara yang terus berlanjut akan mengakibatkan kerusakan lingkungan, bahkan kerusakan sudah dimulai dari proses penambangan batubara yang mengakibatkan banyaknya lubang bekas galian serta menyebabkan tercemarnya air, tanah dan udara (Albertus dan Zalukhu, 2019). Pembakaran briket yang berasal dari batubara menurut Mukhtar dkk., (2010) menyebabkan meningkatnya kadar benzo(a)pyrene di udara ambien, dan juga menyebabkan

lepasnya karbondioksida (CO₂), nitrogen oksida (N₂O), serta Sulfur dioksida (SO₂). Pencemaran sulfur dioksida di udara dapat mengakibatkan gangguan kesehatan terutama sistem pernapasan pada manusia (Nurhayati dkk., 2021). Oleh karena itu diperlukan adanya alternatif substitusi bahan bakar tersebut yaitu bahan bakar yang berasal dari limbah biomassa (bioenergi).

Indonesia memiliki cadangan limbah biomassa yang sangat melimpah terutama dari bidang pertanian, karena Indonesia memiliki areal pertanian yang sangat luas dan kegiatan bertani sangat produktif. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Rumiyanthi dkk.,(2018) bahwa Indonesia merupakan negara agraris dimana bidang pertaniannya banyak menghasilkan limbah. Limbah pertanian di Lampung yang pemanfaatannya masih sangat minim adalah limbah yang berasal dari batang singkong (Zhu dkk., 2015). Produksi singkong di Lampung sangat tinggi yaitu 6.683.758 ton pada tahun 2018 dengan luas panen singkong sebesar 256.632 Ha. Kenaikan jumlah produksi dari tahun 2017-2018 mencapai 22,61%. (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, 2018). Batang singkong setelah pemanenan hanya dimanfaatkan 10% saja untuk ditanam kembali, sedangkan 90% dari batang singkong tersebut akan menjadi limbah (Sumada dkk., 2011). Limbah batang singkong merupakan bahan buangan berbentuk materi padatan yang keberadaannya menjadi masalah di masyarakat (Asmara dkk., 2019). Limbah tersebut perlu dibersihkan dari lahan pertanian dalam rangka persiapan untuk penanaman kembali. Penanganan limbah batang singkong selama ini hanya ditumpuk dipinggir lahan dan dibakar. Penanganan tersebut dinilai kurang efisien karena menimbulkan dampak negatif dan tidak menghasilkan keuntungan secara ekonomi. Limbah yang menumpuk di pinggir lahan menjadi sarang hama seperti tikus, sedangkan pembakaran limbah mengakibatkan polusi udara.

Limbah batang singkong dapat ditingkatkan kegunaan dan nilai ekonominya dengan menjadikan limbah tersebut sebagai bahan baku pembuatan biobriket. Pemanfaatan limbah sebagai biobriket ini juga akan menjadi alternatif dari krisis energi fosil sekaligus sebagai penanganan yang efisien terkait penumpukan limbah di bidang pertanian. Arang batang singkong memiliki nilai kalor sebesar 4591 kal/g (Sari, 2018), nilai kalor tersebut tidak memenuhi syarat minimum nilai kalor biobriket yang ditentukan oleh SNI (5000 kal/g). Oleh

karena itu, perlu tambahan bahan baku penunjang dari limbah biomassa lainnya yang memiliki nilai kalor tinggi. Limbah biomassa yang memiliki nilai kalor tinggi adalah limbah tempurung kelapa dan limbah bambu. arang limbah tempurung kelapa memiliki nilai kalor sebesar 6500-7600 kal/g (Usman 2014), sedangkan arang dari limbah bambu memiliki nilai kalor sebesar 6434 kal/ g (Gunawan, 2017). Penambahan arang tempurung kelapa dan arang bambu diharapkan dapat meningkatkan nilai kalor biobriket.

Pembuatan biobriket memerlukan sebuah perekat. Perekat berfungsi untuk mengikat antar partikel serbuk arang bahan baku agar menjadi padatan yang utuh dan tidak mudah pecah. Perekat yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis perekat tapioka dan *clay* (tanah liat) dengan pertimbangan perekat tersebut memiliki harga yang lebih terjangkau dibandingkan dengan jenis perekat lain, perekat ini juga mudah didapatkan. Tepung tapioka memiliki zat pati yang terdapat dalam bentuk karbohidrat pada umbi ketela pohon yang berfungsi sebagai cadangan makanan, apabila dibuat sebagai perekat mempunyai daya rekat yang tinggi dibandingkan dengan tepung-tepung jenis lain (Amin dkk., 2017). Hampir seluruh penelitian tentang briket juga menggunakan tapioka sebagai perekat. Pertimbangan *clay* sebagai perekat adalah sifat *clay* secara umum yaitu keras ketika kering dan bersifat lengket apabila basah terkena air. Sifat lengket ini disebabkan oleh kandungan jenis mineral lempung yang banyak terkandung dalam *clay*. Sifat lengket inilah yang membuat *clay* mudah dijadikan bentuk-bentuk tertentu dan dapat berfungsi sebagai perekat (Tamrin, 2016).

Penelitian tentang biobriket dari limbah biomassa telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Rhaharjo (2019) dan Dewi (2019) melakukan penelitian untuk pembuatan sebuah produk briket dengan bahan baku yang sama yaitu batubara dan limbah batang singkong namun dengan persentase komposisi yang berbeda dan menghasilkan nilai kalor paling tinggi senilai 5.014,80 dan 5048 kal/g. Kemudian diteruskan oleh Utami (2021) yang melakukan penelitian sebagai lanjutan penelitian Rhaharjo dan Dewi (2019) dengan menggunakan bahan baku murni dari biomassa tanpa campuran dari batubara yaitu dari limbah bambu, limbah batang singkong dan limbah jagung serta menggunakan perekat tapioka dengan berbagai macam komposisi dan mendapatkan hasil nilai kalor

terbesar 5895 kal/g. Purba (2021) juga melakukan penelitian briket dengan bahan baku kombinasi dari batang singkong dan bambu serta perekat tapioka dengan persentasi komposisi yang berbeda-beda dan mendapatkan hasil kalor terbesar senilai 6006 kal/g. Indriyani (2021) menggunakan campuran limbah batang singkong dan bambu serta perekat tapioka dengan persentase komposisi yang berbeda beda dan mendapatkan hasil nilai kalor terbesar 5769 kal/g. Nilai kalor yang dihasilkan dari peneliti terdahulu tersebut secara keseluruhan sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan oleh SNI, pada penelitian ini dengan menambahkan bahan baku limbah tempurung kelapa diharapkan nilai kalor yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kalor yang diperoleh pada penelitian sebelumnya.

Pembuatan biobriket yang *renewable* pengganti briket batubara perlu adanya pengembangan teknologi yang kompetitif dengan briket batubara melalui pencarian komposisi terbaik ketiga jenis bahan limbah tersebut, dengan pengujian karakteristik fisik dan kandungan energinya. Sekalipun hasil pengembangan tersebut nantinya memiliki berbagai keunggulan tetapi untuk prospek pengembangan ke skala komersial agar mampu menarik investor, maka masih diperlukan analisis tingkat keekonomian dari komposisi bahan briket yang dikembangkan penelitian ini.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu pemanfaatan limbah pertanian yang menghasilkan sebuah produk biobriket.
2. Perlu mengkaji dan mempelajari potensi energi dan karakteristik biobriket dari limbah pertanian.
3. Perlu menganalisis nilai keekonomisan biobriket.

1.3. Tujuan Penelitian

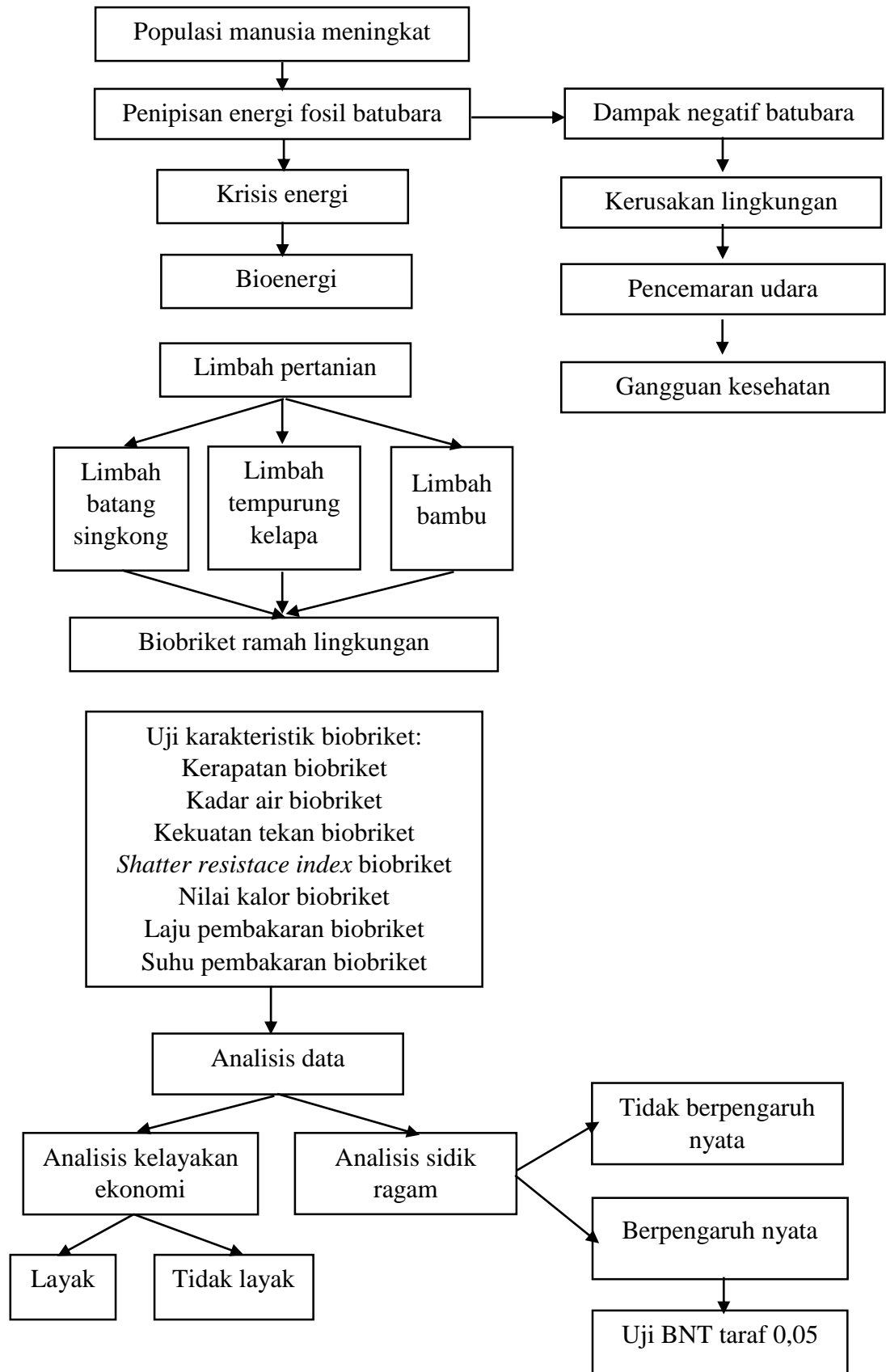
Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan produk bahan bakar berupa biobriket dari limbah pertanian yang ramah lingkungan.
2. Mengkaji dan mempelajari kandungan energi dan karakteristik produk biobriket.
3. Menganalisis kelayakan ekonomi biobriket yang dihasilkan.

1.4. Kerangka Pemikiran Pemecahan Masalah

Populasi manusia terus mengalami peningkatan. Di Indonesia dalam kurun waktu tiga tahun terakhir (2020, 2021, dan 2022) jumlah penduduk bertambah sebanyak 5.157.350 jiwa. Peningkatan jumlah manusia menyebabkan meningkatnya jumlah kebutuhan energi, karena energi merupakan kebutuhan dasar manusia. Kebutuhan energi selama ini dipenuhi oleh energi yang berasal dari fosil terutama batubara. Batubara sebagai sumber energi utama bersifat terbatas dan tidak dapat didaur ulang, sehingga jika penggunaannya terus berlanjut akan menyebabkan terjadinya krisis energi. Penipisan cadangan batubara menyebabkan harganya semakin meningkat. Tiga tahun terakhir batubara mengalami kenaikan harga yang cukup tinggi. Desember 2020 harga batubara mencapai 59,65 USD/ton, harga tersebut hampir naik tiga kali lipat pada Desember 2021 menjadi 159,79 USD/ton, Desember 2022 harga batubara kembali meningkat menjadi 281,48 USD/ton. Selain karena sifatnya terbatas batubara memiliki dampak negatif bagi lingkungan. Dampak negatif yang ditimbulkan berupa kerusakan lingkungan yang terjadi pada proses penambangan dan pencemaran udara saat proses pembakarannya. Pencemaran udara berdampak pada kesehatan manusia, yaitu berupa gangguan pada sistem pernapasan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif substitusi bahan baku batubara yaitu energi yang berasal dari biomassa (bioenergi).

Bioenergi dikenal sebagai sumber energi yang ramah lingkungan, potensi bioenergi terbesar berasal dari limbah pertanian. Limbah pertanian yang akan digunakan dalam penelitian ini terutama adalah limbah batang singkong, cadangan limbah batang singkong sangat melimpah dan pemanfaatannya belum optimal, namun limbah batang singkong sebagai bahan baku utama nilai kalornya tidak cukup tinggi. Oleh karena itu untuk menunjang nilai kalor limbah batang singkong tersebut ditambahkan limbah dari tempurung kelapa dan limbah bambu. limbah tempurung kelapa dan limbah bambu memiliki nilai kalor yang cukup tinggi namun cadangannya tidak sebanyak batang singkong. Tiga limbah tersebut diolah menjadi bahan bakar padat berupa biobriket yang ramah lingkungan. Biobriket yang telah dibuat diuji karakteristiknya yaitu pada kerapatan, kadar air, kekuatan tekan, *Shatter Resistace Index* , nilai kalor, laju pembakaran dan suhu pembakarannya. Biobriket harus memenuhi standar karakteristik yang telah ditentukan oleh SNI. Data karakteristik biobriket dianalisis nilai sidik ragamnya guna mengetahui pengaruh perlakuan terhadap karakteristik biobriket. Setelah itu, biobriket diuji kelayakan ekonomisnya guna mengetahui apakah biobriket tersebut layak diproduksi atau tidak.



Gambar 1. Kerangka pemikiran pemecahan masalah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Krisis Energi

Krisis merupakan sebuah keadaan yang berbahaya, genting ataupun parah pada sebuah hal. Krisis energi dapat disebut sebagai kekurangan atau gangguan pada penyediaan pasokan energi. Kondisi tersebut merupakan kondisi berbahaya yang terjadi pada energi di bumi, khususnya di tempat yang mengalami krisis. Krisis energi terjadi karena ketidakseimbangan antara permintaan dan penawaran energi. O'Neill (2010) mengatakan bahwa semakin banyak jumlah manusia di muka bumi maka penggunaan sumber energi semakin meningkat.

Era industrialisasi dan transportasi seperti saat ini, energi digunakan sebagai bahan bakar utama penggerak sektor tersebut. Energi yang umumnya sekarang digunakan berasal dari bahan bakar fosil yaitu minyak bumi, gas alam dan batubara. Ketiga bahan bakar tersebut saat ini merupakan pemasok energi terbesar di dunia. Bahan bakar fosil mampu mendominasi 81% energi primer dunia dan juga berkontribusi pada 66% pembangkitan listrik global. Padahal bahan bakar tersebut termasuk sumber daya energi yang tidak dapat diperbaharui dan lama-kelamaan keberadaannya akan langka dan habis karena sifatnya yang terbatas (Ivan, 2013). Bahan bakar fosil sebagai suplayer tertinggi kebutuhan dari permintaan energi yang terbatas tersebut akan benar-benar habis dalam beberapa puluh tahun ke depan jika tidak ada alternatif substitusinya, sehingga keadaan krisis energi akan terwujud.

Sumber energi bakar yang sampai saat ini menempati urutan paling atas dalam penggunaan terbanyak adalah batubara. Kebanyakan negara berkembang memburu batubara untuk digunakan sebagai sumber energi. Negara-negara maju sudah mulai menggantikan peran dari batubara. Sebelumnya penggunaan

bahan bakar fosil berfokus pada minyak bumi, akan tetapi seiring dengan menipisnya cadangan dan melonjaknya harga minyak dunia memberikan efek yang cukup signifikan terhadap konsumsi batubara guna pemenuhan energi regional, nasional, hingga internasional atau global (Yulia dkk., 2021).

2.1.1. Energi Batubara

Pemanfaatan batubara untuk domestik yakni sebagai bahan bakar, antara lain untuk sektor industri, rumah tangga, sektor usaha kecil dan juga sektor pembangkit listrik. Total keseluruhan kebutuhan batubara Indonesia, sebagian besar (83%) digunakan sebagai PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap).

Direktur Jenderal Mineral dan Batubara Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Ridwan Djamil pada Juli 2021 mengemukakan cadangan batubara Indonesia mencapai 38,84 miliar ton. Dengan rata-rata produksi batubara sebesar 600 juta ton per tahun, maka umur cadangan batubara masih 65 tahun apabila diasumsikan tidak ada temuan cadangan baru. Karyadi (2013) menyatakan bahwa penggunaan batubara sebagai sumber bahan bakar yang sangat tinggi membuat cadangan batubara kian menipis dan diprediksi bahwa batubara akan benar-benar mengalami kepunahan apabila penggunaannya terus meningkat (Karyadi, 2013). Tahun 2022 Batubara akan mengalami peningkatan pemanfaatan yaitu sebesar 166 juta ton batubara yang akan dimanfaatkan. Jumlah prediksi itu meningkat dari pemanfaatan batubara pada 2021 sebesar 133 juta ton dari sisi kebutuhan dalam negeri.

Peningkatan pemanfaatan batubara mengakibatkan semakin cepat menipisnya cadangan batubara yang ada, dimana sebelumnya diperkirakan batubara akan bertahan selama 65 tahun. Harga Briket Acuan (HBA) batubara juga mengalami peningkatan dalam beberapa tahun terakhir (Kementerian ESDM, 2021). Tahun 2021 HBA batubara mengalami kenaikan yang cukup tinggi, kenaikan ini merupakan harga tertinggi yang pernah ada dalam pemasaran harga batubara. Fluktuasi harga batubara menurut menteri ESDM (2021) disajikan pada Tabel 1 ini.

Tabel 1. Fluktuasi harga batubara tahun 2020

Bulan	Harga batubara US\$/ ton
Januari	65.93
Februari	66.89
Maret	67.08
April	65.77
Mei	61.11
Juni	52.98
Juli	52.16
Agustus	50.34
September	49.42
Oktober	51.00
November	55.71
Desember	59.65

Sumber: Kementerian Energi Sumber Daya dan Mineral, 2021.

Tabel 1 menunjukkan bahwa perubahan HBA batubara mengalami perubahan setiap bulannya. Bulan Maret hingga Agustus 2020 harga tersebut terlihat mengalami penurunan HBA secara signifikan hingga mencapai US\$ 20.32 /ton. Namun kembali mengalami kenaikan hingga pada bulan Desember harga tersebut mencapai US\$ 59.65/ ton. Kenaikan HBA batubara tidak berhenti di tahun 2020, tahun 2021 HBA batubara mengalami peningkatan harga yang lebih tinggi. Desember 2021 harga tersebut mencapai US\$ 159.79/ton yang artinya kenaikan hampir tiga kali lipat dibandingkan dengan HBA Desember 2020. Fluktuasi HBA batubara tahun 2021 disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Fluktuasi harga batubara tahun 2021.

Bulan	Harga batubara US\$/ ton
Januari	75.84
Februari	87.79
Maret	84.47
April	86.68
Mei	89.74
Juni	100.33
Juli	115.35
Agustus	130.99
September	150.03
Oktober	161.63
November	215.01
Desember	159.79

Sumber: Kementerian Energi Sumber Daya dan Mineral, 2022.

2.1.2. Dampak Negatif Batubara Terhadap Lingkungan

Lingkungan merupakan media dimana makhluk hidup tinggal dan bertahan hidup. Semakin rusak lingkungan maka akan semakin tinggi ancaman terhadap makhluk hidup itu sendiri (Suardi, 2014), oleh karena itu keamanan dan *sustainability* dari lingkungan tersebut harus dijaga. Berbanding terbalik dengan perlunya menjaga kestabilan lingkungan, Industri batubara justru memiliki banyak sekali dampak negatif kepada lingkungan sekitarnya (Fitriyani, 2016). Batubara merupakan sumber energi yang paling banyak menimbulkan polusi di lingkungan sekitar dikarenakan tingginya kandungan karbon dan pada proses tahap produksinya banyak menghasilkan asap (polusi udara) dan limbah (polusi air). Polusi lingkungan dan rusaknya ekosistem akibat penambangan merupakan wujud dari degradasi lingkungan. Degradasi lingkungan adalah kondisi menurunnya kualitas lingkungan akibat kerusakan yang terjadi dan berakibat pada kurangnya fungsi komponen-komponen lingkungan sebagaimana mestinya. Beberapa bentuk degradasi lingkungan yang terjadi adalah:

A. Rusaknya Ekosistem saat penambangan

Ekosistem yang tidak dapat lagi menjalankan fungsinya dengan optimal disebut juga ekosistem yang rusak. Fungsi dari ekosistem biasanya adalah perlindungan tanah, tata air, pengaturan cuaca dan fungsi lainnya dalam mengatur perlindungan alam lingkungan. Mekanisasi peralatan dan teknologi pertambangan telah menyebabkan skala pertambangan semakin besar dan ekstraksi batubara kadar rendah pun menjadi ekonomis sehingga semakin luas dan dalam lapisan bumi yang harus digali. Hal ini menyebabkan kegiatan tambang batubara menimbulkan dampak terhadap lingkungan seperti perubahan bentang lahan, kegiatan pertambangan batubara dimulai dengan pembukaan tanah pucuk dan tanah penutup serta pembongkaran batubara yang berpotensi terhadap perubahan bentang alam. Lubang-lubang tambang yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan ini harus ditutup melalui kegiatan reklamasi dan revegetasi lahan. Penutupan lubang tambang secara keseluruhan sangat sulit untuk dipenuhi mengingat kekurangan tanah penutup akibat deposit batubara yang terangkat keluar dari lubang tambang jauh lebih besar dibandingkan tanah penutup yang ada (Purwanto, 2015).

B. Polusi Lingkungan

Limbah dari pembakaran batubara dapat menyebabkan polusi lingkungan berupa pencemaran udara dan air tanah. Limbah ini mengandung oksida logam berat yang akan mengalami pelindihan secara alami dan pencemaran lingkungan maka limbah batubara ini dikategorikan sebagai limbah B3 (Sultan dkk., 2019). Dampak pembakaran batubara pada lingkungan telah berfokus pada gas polutan seperti CO, CO₂, NO_x dan SO₂, karena gas polutan tersebut berdampak pada perubahan iklim, hujan asam, dan polusi lingkungan dalam ruang (Andina, 2016). Namun demikian, partikel yang dipancarkan dari pembakaran juga mengandung konstituen beracun seperti logam berat, arsenik, merkuri, hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH), silika, fluorida, dan karbon hitam (BC), serta banyak senyawa berbahaya lainnya yang juga memiliki dampak negatif pada kualitas

lingkungan dan kesehatan manusia. Beranjak dari hal tersebut, telah terjadi peningkatan yang signifikan dalam perhatian dari bahan karbon pada emisi partikulat dari pembakaran batubara, karena dampaknya terhadap perubahan iklim dan efek kesehatan. Gas SO₂ hasil pembakaran batubara menjadi salah satu ancaman buruk karena mudah menjadi asam yang bisa menyerang selaput lendir pada hidung, tenggorokan dan saluran pernapasan yang lain sampai ke paru-paru, serangan gas SO₂ tersebut menyebabkan iritasi pada bagian tubuh yang terkena. Selain berdampak pada kesehatan manusia, paparan gas SO₂ pada jangka waktu yang pendek menimbulkan luka pada beberapa spesies tumbuhan serta keracunan pada tanaman akan terjadi apabila paparan gas SO₂ mencapai kisaran index ISPU 101-199 (Kurniawan, 2017).

2.2. Energi Biomassa

Biomassa adalah material yang berasal dari organisme hidup yang meliputi tumbuh-tumbuhan dan hewan termasuk produk sampingnya, baik secara langsung maupun tidak langsung. Biomassa juga biasa disebut sebagai *bioresource*, yang berarti sumber daya hidup yang dapat digunakan oleh manusia. Kayu, eceng gondok, kelapa sawit, tebu, sampah dapur, jerami, serbuk gergaji, rumput laut, bahkan sampai kotoran ternak, semua termasuk ke dalam biomassa. Biomassa dapat digunakan sebagai sumber tenaga bahan bakar (sumber energi). Energi biomassa ini bersifat *sustainable* (dapat diperbaharui) sehingga tidak akan habis untuk waktu yang lama dan tetap *sustainable* (berkesinambungan). Biomassa tidak mengandung CO₂ sama sekali di dalamnya, sehingga tidak mendukung peningkatan emisi gas rumah kaca. Hal ini membuat biomassa lebih ramah lingkungan. Sumber energi biomassa yang sangat melimpah dan mudah didapatkan adalah dari bidang pertanian, karena Indonesia memiliki areal pertanian yang sangat luas dan kegiatan bertani sangat produktif (Rumiyantri dkk., 2018).

2.2.1. Limbah Biomassa Bidang Pertanian

Limbah adalah sisa atau produk dari suatu proses usaha atau kegiatan yang terbuang dan tidak terpakai (Saputro dan Dwiprigitaningtias, 2022). Menurut PP No 12 tahun 1995, limbah atau sampah adalah bahan sisa suatu kegiatan dan atau proses produksi. Sedangkan limbah pertanian diartikan sebagai sisa dari proses produksi pertanian, dengan kata lain limbah pertanian merupakan bahan buangan tidak terpakai di sektor pertanian. Limbah tersebut diantaranya berupa limbah jerami padi, dedak padi, kotoran ternak, serasah ranting tumbuhan, jerami kedelai, jerami jagung, jerami kacang tanah dan yang tidak kalah melimpah adalah limbah batang singkong. Lebih spesifik, limbah-limbah pertanian tersebut dapat dikategorikan ke dalam beberapa jenis. Berikut ini adalah penjelasan tentang jenis-jenis limbah pertanian dan dampaknya untuk lingkungan. Jenis-Jenis Limbah Pertanian secara garis besar dapat dibagi ke dalam tiga jenis, yaitu limbah pra panen, limbah saat panen, dan limbah pasca panen (Irianto, 2015).

A. Limbah pertanian pra panen

Limbah pertanian pra panen merupakan materi-materi biologi yang terkumpul sebelum hasil utamanya diambil. Limbah pertanian pra panen biasanya dikumpulkan sebagai sampah dan umumnya hanya dibakar. Adapun contoh dari limbah jenis ini antara lain adalah daun, ranting, batang tanaman, media jamur, campuran makanan ternak, dan kotoran ternak. Kotoran ternak selain lazim digunakan sebagai pupuk kandang, lebih lanjut dapat diolah menjadi bahan bakar langsung atau difermentasi menjadi biogas.

B. Limbah pertanian saat panen

Limbah saat panen tersedia pada musim panen. Adapun contoh dari limbah pertanian saat panen ini sebagian besar berasal dari golongan tanaman sereal, seperti padi, jagung, dan sorgum. Limbah dari tanaman tersebut berupa jerami. Jerami sebagai limbah pertanian jenis ini, kalau tidak dibuang atau dibakar umumnya dimanfaatkan sebagai kompos, bibit, serta makanan ternak ruminansia, yaitu hewan pemamah biak, seperti lembu, biri-biri, dan domba.

C. Limbah pasca panen

Limbah pasca panen dapat digolongkan ke dalam kelompok limbah sebelum diolah, dan limbah setelah diolah atau limbah industri pertanian. Adapun yang termasuk limbah sebelum diolah contohnya adalah tempurung kelapa, sabut kelapa, onggok singkong, batang singkong, dan tunggak bambu.

Hampir semua tanaman setahun masih menyisakan sisa tanaman berupa limbah yang sampaisejauh ini hanya dibuang, dibakar atau dimanfaatkan sebagian untuk makanan ternak, kompos, bibit (misalnya ubi jalar). Belum ada pemanfaatannya yang lebih baik misalnya diekstrak klorofilnya untuk bahan pewarna makanan, dibuat sebagai bahan bakar dan lain sebagainya. Sisa panen singkong berupa penumpukan limbah batangnya perlu dipikirkan cara penanganannya yang lebih baik. Limbah batang singkong keberadaannya sangat melimpah, di Lampung menjadi urutan pertama se Indonesia dalam hasil produksi singkong, angka peningkatan produksi mencapai 22,61 % per tahun. Dengan luas mencapai 340 ribu hektar, berpotensi menghasilkan 1,7 juta ton limbah batang singkong per tahun. penumpukan limbah ini perlu ditangani, salah satu pemanfaatan limbah yang menguntungkan adalah dengan menjadikannya sebuah produk briket. Briket yang baik memiliki nilai kalor yang tinggi, untuk menunjang nilai kalor dari limbah batang singkong maka diperlukan bahan biomassa yang lain yang berpotensi memiliki nilai kalor yang memadai yaitu dari limbah tempurung kelapa dan limbah batang bambu. limbah tempurung kelapa dan limbah batang bambu mudah dijumpai dan keberadaannya juga melimpah, karena penduduk Indonesia sangat konsumtif terhadap produk kelapa dan olahannya. Begitu juga dengan bambu, masyarakat Indonesia masih menggunakan bambu untuk menopang proses pembangunan serta menggunakan bambu sebagai bahan baku kerajinan. Aktifitas tersebut menyisakan limbah bambu yang cukup banyak dan biasanya limbah tersebut hanya dibakar.

A. Potensi Limbah Tanaman Singkong

Lampung merupakan provinsi penghasil singkong terbesar. Kebun singkong banyak tersebar di Kabupaten Lampung Tengah, Lampung Timur, dan Lampung Utara. Menggeliatnya budidaya singkong di Lampung sejalan dengan bertambah banyaknya investor yang membangun pabrik berbasis bahan baku singkong, antara lain pabrik tepung tapioka, dan gaplek untuk pakan ternak. Varietas singkong yang banyak dibudidayakan di Lampung adalah varietas Kasetsart, Thailand, Manggu dan Adira. Singkong termasuk tanaman berbatang lunak atau getas (mudah patah). Singkong berbatang bulat dan bergigi yang terbentuk dari bekas pangkal tangkai daun. Tanaman singkong memiliki tinggi batang 1-4 meter. Singkong merupakan tanaman yang pemeliharaannya mudah dan produktif (Salim, 2011).

Salah satu daerah sentra penghasil singkong terbesar di Provinsi Lampung adalah Kabupaten Lampung Tengah. Luas panen singkong yang ada di Kabupaten Lampung Tengah mencapai 68,720/Ha dan produksi singkong yang dihasilkan di Kabupaten Lampung Tengah mencapai 1,730,156 ton. Jumlah tersebut merupakan jumlah tertinggi dibandingkan dengan kabupaten/kota lainnya. Produktivitas singkong di Kabupaten Lampung Tengah mencapai 251,77 Kuintal per hektar (Badan Pusat Statistik, 2017).

Tingkat produksi singkong sangat tinggi sehingga limbah yang dihasilkan melimpah. Zhu dkk. (2015) mengemukakan bahwa limbah batang singkong harus dibersihkan dari lahan pertanian dalam rangka persiapan untuk budidaya tanaman singkong musim berikutnya. 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 penyalaannya lebih sulit daripada biomassa lainnya. Luas Panen, Produksi

dan Produktivitas Singkong di Provinsi Lampung Tahun 2016 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Luas panen, produksi dan produktivitas singkong di Provinsi Lampung Tahun 2016

	Kabupaten/ Kota	Luas panen (Ha)	Produksi (Ton)	Produktivitas (Ku/Ha)
1	Lampung Barat	131	3.264	294,14
2	Tanggamus	344	8.158	237,36
3	Lampung Selatan	5.828	137.150	235,34
4	Lampung Timur	52,289	137.150	251,77
5	Lampung Tengah	68.720	1.730.156	251,77
6	Lampung Utara	48.716	1.477.496	303,29
7	Way Kanan	13.634	383.891	281,38
8	Tulang Bawang	19.886	494.651	248,73
9	Pesawaran	5,488	123.129	224,36
10	Pringsewu	707	16.360	231,43
11	Mesuji	2.298	64.488	280,63
12	Tulang Bawang Barat	29.289	724.569	253,54
13	Pesisir Barat	142	3.210	226,14
14	Bandar Lampung	64	1.678	262,14
15	Metro	27	807	229,01

Sumber: Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung, 2017

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 pada Tabel 4.

Tabel 4. 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)

Sistem budidaya tanaman singkong secara monokultur dengan jarak tanam sebesar 1 m x 1 m mampu menghasilkan batang singkong sebanyak 10.000 batang/hektar. Apabila setiap batang singkong yang tidak dimanfaatkan untuk ditanam kembali (bibit) memiliki bobot berkisar 0,3 kg, maka setiap hektar luas panen singkong menghasilkan 3 ton limbah batang singkong (Gustam, 2018).

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 CO₂ yang rendah. Selain dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat, limbah batang singkong juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bio-etanol dan *bio-oil* (Sivamani dkk., 2018).

B. Potensi Limbah Tempurung Kelapa

Kelapa merupakan salah satu tanaman perkebunan yang tersebar hampir di semua wilayah Indonesia. Kelapa merupakan tanaman yang paling banyak dibudidayakan secara ekstensif, tumbuh, serta dimanfaatkan bagi kehidupan manusia. Kelapa memiliki multi manfaat yang cukup familiar bagi sebagian besar masyarakat Indonesia, sebagai salah satu jenis tumbuhan dari suku aren-arenan atau *Arecaceae*. Tumbuhan ini dimanfaatkan hampir semua bagiannya oleh manusia sehingga dianggap sebagai tumbuhan serba guna (Eskak, 2015). Tumbuhan kelapa juga memiliki umur yang panjang hingga 60-80 tahun lamanya. Pada bagian buah kelapa terdiri atas empat komponen, yaitu sabut 33%, tempurung 15%, air kelapa 22%, dan daging buah 30% (Sari dan Ariani, 2021). Bagian dari kelapa yang sangat berpotensi sebagai bahan baku briket adalah tempurung kelapa.

Tempurung kelapa berada di dalam bawah sabut kelapa dan merupakan lapisan yang keras serta memiliki ketebalan sekitar 4 mm. Sifat keras yang dimiliki tempurung kelapa disebabkan oleh kandungan silikat (SiO₂) yang tinggi. 15-19% dari berat total kelapa merupakan bagian tempurung. Tempurung kelapa banyak mengandung lignin, sedangkan kandungan methoxyl dalam tempurung kelapa hampir sama dengan yang terdapat pada kayu (Pulungkun, 1999). Kelapa adalah salah satu bahan karbon aktif yang kualitasnya cukup baik dijadikan arang aktif.

Komposisi kimia yang biasanya terdapat dalam tempurung kelapa disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Komposisi kimia tempurung kelapa

Komposisi	Persentasi (%)
Lignin	29,40
Pentosan	27,70
Selulosa	26,60
Air	8,00
Solvent ekstraktif	4,20
Uronat anhidrat	3,50
Abu	0,60
Nitrogen	0,10

Sumber: Rusdianto (2011)

Berdasarkan data APCC (2018) Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kelapa terbesar di dunia dengan total produksi buah kelapa sebesar kurang lebih 14 miliar butir per tahun. Luas areal pertanaman kelapa di Indonesia mencapai 3,5 juta ha dan 98% di antaranya diusahakan dalam bentuk perkebunan rakyat. Tahun 2017 luas areal pertanaman kelapa Indonesia hanya 3,59 juta hektar (Karouw dkk., 2019) Kebutuhan kelapa setiap tahunnya berbanding lurus dengan pertumbuhan jumlah penduduk. Indonesia adalah negara kedua pengeksport kelapa dan produk turunannya setelah Filipina. Menurut Badan Pusat Statistik (2019) Produktivitas kelapa dalam di Provinsi Lampung cukup tinggi didukung oleh potensi alam. Luas perkebunan kelapa dalam di Provinsi Lampung terbesar berada di Kabupaten Lampung Selatan dengan luas areal sebesar 22.275 ha kapasitas produksi 20.930 ton. Diposisi kedua diduduki oleh Kabupaten Lampung Timur dengan luas areal sebesar 17.861 ha kapasitas produksi 8.455 ton.

Pemanfaatan kelapa berdasarkan hasil penelitian Ningrum (2019) yaitu sebagai pangan (95%), papan (88%), kerajinan (80%), pengobatan (71%), bahan bakar (60%), upacara (20%) dan kecantikan (6%). Pemanfaatan buah kelapa yang dilakukan baik untuk keperluan bahan makanan sehari-hari maupun untuk komoditas agroindustri menyisakan limbah berupa tempurung atau tempurung

kelapa. Semakin tinggi produksi buah kelapa, maka akan mengakibatkan penumpukan limbah tempurung kelapa. Tempurung kelapa biasanya hanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar berupa arang dan nilai jual dari arang tergolong murah, padahal tempurung kelapa memiliki potensi nilai jual yang tinggi.

C. Potensi Limbah Bambu

Potensi pertumbuhan bambu di Indonesia cukup besar pada tahun 2015. Potensi produk bambu dihasilkan di sebagian besar pulau di Indonesia, kecuali Pulau Kalimantan, Maluku dan Papua. Pulau dengan produksi bambu paling besar adalah Pulau Bali dan Nusa Tenggara sebesar 6,14 juta batang (63,38 %) diikuti oleh Pulau Jawa sebesar 3,12 juta batang (32,21 %), Pulau Sumatera sebesar 0,24 juta batang (2,50 %). Berdasarkan data BPS tahun 2015 jumlah batang bambu dihasilkan dari Provinsi Lampung sebesar 20 266,21 ton. Bambu di Indonesia potensinya sangat menjanjikan untuk dimanfaatkan dan mempunyai daur hidup yang relatif cepat, dengan waktu panen 3 sampai 4 tahun. Potensi yang banyak dari limbah bambu tersebut dapat dimanfaatkan untuk kehidupan manusia. Bambu memiliki banyak manfaat yaitu dapat dijadikan hiasan dan alat rumah tangga serta konservasi tanah untuk mencegah banjir.

Di Indonesia terdapat 122 jenis bambu, dari 160 jenis bambu dan 88 di antara merupakan endemik Indonesia dan 65 jenis lainnya merupakan jenis bambu potensial yang dipergunakan untuk kebutuhan manusia. Sebagai hasil hutan bukan kayu, bambu sangat potensial untuk mensubstitusi kayu bagi industri berbasis bahan kayu. Hal ini salah satunya karena bambu tergolong ramah lingkungan. Tanaman bambu ditanam sekali kemudian dapat dipanen berkali-kali tanpa harus menghilangkan seluruh rumpunnya.

Limbah batang bambu banyak dihasilkan oleh pengerajin-pengerajin bambu dan potongan-potongan bambu tersebut sudah tidak bisa dimanfaatkan serta tidak memiliki nilai ekonomis. Limbah batang bambu dapat dimanfaatkan sebagai salah satu bahan bakar alternatif dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi yaitu menjadi sebuah biobriket. Bambu mengandung beberapa unsur penting

seperti karbon (C) dan hidrogen (H), pada biomassa dapat menghasilkan energi dalam bentuk panas ketika bereaksi dengan oksigen. Bambu juga mengandung unsur lain seperti Heloselulosa 73,32- 83,8%, lignin 30,01-88%, Abu 1,89-4,63% dan SiO₂ 1,01-3,51% (Fatriasari dan Hermiati, 2008). Arang bambu memiliki kelebihan dalam proses karbonisasi yang lebih mudah, kandungan air rendah dan tingkat kekerasan yang baik. Nilai kalor arang bambu sekitar 50% dari minyak bumi dengan bobot yang sama. Penelitian yang dilakukan oleh Iskandar dkk., (2015), nilai kalor yang dihasilkan oleh arang bambu mencapai 7.624 kkal/g. Nilai tersebut dihasilkan oleh sampel dengan tekanan hidrolis 6 kg dan ukuran partikel 35 mesh. Kemudian hasil uji proksimat yang telah dilakukan Putra dkk., (2003) menghasilkan nilai kalor sebesar 4592,17 kkal/g. Hasil penelitian sebelumnya dapat dilihat bahwa potensi limbah bambu dapat kita manfaatkan untuk pembuatan biobriket. Data komposisi kimia dari bambu disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Komposisi kimia bambu

Komposisi	Jumlah (%)
Selulosa	42,8-53,6
Lignin	19,8-26,6
Pentosan	1,2-3,8
Zat ekstraktif	4,5-9,9
Air	15,0-20,0
Abu	1,2-3,8
SiO ₂	0,1-1,8

Sumber: Putra dkk.,(2003)

2.2.2. Dampak Penumpukan Limbah Pertanian Terhadap Lingkungan

Limbah pertanian merupakan produk sampingan yang tidak dapat dilepaskan dari sistem pertanian. Limbah pertanian yang tidak ditangani dengan baik dapat menimbulkan dampak negatif baik pada lahan pertanian itu sendiri maupun berpengaruh terhadap lingkungan yang lebih luas seperti pemanasan

global dan perubahan iklim. Sebaliknya pemanfaatan limbah pertanian yang optimal dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan pendapatan petani dan perbaikan kualitas lahan pertanian sehingga dapat digunakan secara berkesinambungan.

Penumpukan limbah dapat menimbulkan dampak buruk terhadap makhluk hidup dan lingkungan (Kalsum, 2016). penumpukan limbah batang singkong yang cukup banyak ini sangat mengganggu dalam penanggulangan dan penanganannya. Umumnya limbah batang singkong diletakkan dipinggir lahan, sehingga seringkali menutup jalan air yang ada dan mengakibatkan terjadinya genangan air. Jika jumlahnya berlebih akan mengganggu keberadaan jalan transportasi diantara lahan singkong dan mengakibatkan tertutupnya jalan tersebut. Penumpukan limbah batang singkong di tepi lahan juga berpotensi menjadi sarang tikus dan hama penyakit tanaman yang akan mengganggu pertumbuhan tanaman singkong itu sendiri. Sedangkan penumpukan di tengah lahan selain mengakibatkan berkurangnya luasan tanam baru, penumpukan ditengah lahan memudahkan dilakukan proses pembakaran batang singkong. Saat pembakaran jika batang singkong dalam keadaan basah maka membutuhkan waktu pembakaran yang cukup lama 5-7 hari dan biaya yang tidak sedikit. Cara lain, batang singkong ditebarkan di lahan dan dibiarkan terhancurkan oleh bajak yang ditarik traktor saat pengolahan tanah untuk tanaman baru dan dibiarkan menjadi pupuk. Seringkali potongan batangan singkong ini justru tumbuh jadi tanaman baru yang tidak dikehendaki pertumbuhannya.

2.2.3. Potensi Limbah Pertanian untuk Biobriket

Biobriket adalah bahan bakar padat yang dapat diperbaharui yang dibuat dari campuran biomassa (Fariaddhie, 2009) Biobriket dibuat dari biomassa yang dimanfaatkan sehingga dibutuhkan perekat di dalamnya. Contoh sumber bahan baku biobriket dari bahan hayati adalah kulit kopi, ampas tebu, tempurung kelapa dan kayu serta tongkol jagung. Butiran halus bioarang dari hasil karbonisasi bahan hayati membutuhkan perekat sehingga biobriket tidak mudah hancur. Jenis

perekat berpengaruh terhadap kadar air, kadar abu dan nilai kalor. Kadar air semakin rendah jika jumlah biobriket semakin banyak (Karim, dkk., 2014).

Beberapa keuntungan dari produksi dan penggunaan biobriket yaitu:

1. Biaya pembakaran tergolong murah dan lebih ramah lingkungan.
2. Menyediakan sumber bahan bakar murah untuk keperluan rumah tangga, yang terjangkau oleh semua penduduk.
3. Menyediakan sarana yang baik dalam mengkonversi limbah pertanian menjadi benda yang memiliki nilai ekonomi.
4. Membantu melestarikan beberapa sumber daya alam karena merupakan alternatif yang tepat. Oleh karena itu, hal ini akan berguna untuk mengurangi jumlah minyak dan gas yang biasanya digunakan untuk menghasilkan energi bagi keperluan rumah tangga.
5. Proses ini membantu dalam memecahkan masalah penumpukan limbah biomassa (Bestari, 2015).

Kualitas briket ditentukan sifat fisik dan kimianya sebagai berikut: kadar air, kadar abu, kadar zat mudah menguap, kadar karbon terikat, kerapatan, kekuatan tekan, dan nilai kalor (Sumangat, 2009). Fauzi (2015) menyatakan bahwa karakteristik pembakaran yang dianalisa adalah *ignition time*, *burning time*, dan laju pembakaran.

2.3. Rancang Acak Lengkap (RAL) Faktorial

Metoda perancangan percobaan banyak dilakukan di berbagai bidang ilmu, terutama di bidang pertanian dan biologi. Misalnya dengan pupuk tanaman yang berbeda peneliti ingin mengetahui pengaruh pupuk tanaman tersebut pada varietas tanaman yang sama, dengan tujuan mencari pupuk yang cocok untuk varietas itu. Sir Ronald A. Fisher adalah seorang pelopor penggunaan metode statistika dalam perancangan percobaan, ia bertanggung jawab dalam statistika dan analisis data pada stasiun percobaan pertanian Tothamsted di London. Fisher yang mengembangkan dan pertama kali menggunakan analisis ragam sebagai metode utama dari analisis statistika dalam perancangan percobaan. Dewasa ini

metoda perancangan percobaan secara luas digunakan dalam semua bidang penyelidikan. Ilmu pertanian, biologi, kesehatan, ilmu-ilmu teknik, ilmu-ilmu fisik dan sosial adalah disiplin-disiplin ilmu yang menggunakan pendekatan statistika untuk merancang dan menganalisis percobaan.

Ilmu perancangan percobaan (*experimental design*) merupakan cabang ilmu statistika, yang mempelajari cara-cara mengatasi, mengisolasi atau mengontrol keragaman materi atau lingkungan suatu percobaan. Sehingga perbedaan-perbedaan yang timbul sebagai akibat berbagai perlakuan terhadap satuan-satuan percobaan dapat dipisahkan dengan jelas. Kesimpulan yang akan ditarik dari suatu percobaan dalam menjawab hipotesis-hipotesis dapat dilaksanakan secara objektif. Perancangan percobaan adalah suatu rancangan yang dibuat untuk mendapatkan informasi yang diperlukan yang berhubungan dengan persoalan yang sedang diselidiki, yang merupakan langkah-langkah lengkap sebelum percobaan dilakukan sehingga akan membawa penelitian kepada analisis dan kesimpulan yang objektif (Hanafiah, 2020).

Langkah-langkah terpenting dari suatu percobaan adalah perencanaan; pelaksanaan; dan analisa statistik. Adapun prinsip dasar dalam upaya meningkatkan validitas penelitian yaitu pengulangan (*replication*), pengacakan (*randomization*), dan pengendalian lokal (misal melalui pengelompokan satuan-satuan percobaan). Pengulangan (*replication*), berfungsi agar dapat menilai galat percobaan (*eksperimental error*) atau keragaman bahan percobaan, haruslah setiap perlakuan dicobakan dalam lebih dari satu satuan percobaan. Pengacakan (*randomization*), dimana satuan percobaan harus mempunyai peluang yang sama dalam menerima suatu perlakuan tertentu. Cara ini menghindarkan percobaan dari bias yang disebabkan adanya perbedaan antara satuan-satuan percobaan. Sedangkan lokal kontrol (pengawasan setempat), satuan-satuan percobaan yang mendekati keseragaman dikumpulkan menjadi kelompok-kelompok. Perbandingan-perbandingan di dalam kelompok akan memiliki ketepatan yang tinggi, sedangkan beda-beda yang terdapat antara kelompok itu menjamin bahwa daerah pengambilan kesimpulan tidak menjadi terlalu sempit (Hanafiah, 2020).

Percobaan satu faktor adalah suatu percobaan yang dirancang dengan hanya melibatkan satu faktor dengan beberapa taraf sebagai perlakuan. Rancangan

ini menjaga kondisi faktor-faktor lain dalam kondisi tetap. Percobaan satu faktor dapat diterapkan pada berbagai rancangan lingkungan seperti RAL, RAKL, RBSL, dan lain-lain tergantung dari kondisi unit percobaan yang digunakan (Mattjik dan Sumertajaya, 1999). Rancangan Acak Langkap (RAL) digunakan jika kondisi unit percobaan yang digunakan relatif homogen, seperti percobaan yang dilakukan di laboratorium. Jarang digunakan pada percobaan lapangan atau percobaan yang melibatkan unit percobaan cukup besar.

2.3.1. Model Linier dan Penguraian Keragaman Total

Model linier aditif dari rancangan faktor tunggal dengan RAL dapat dibedakan menjadi 2:

1. Model Tetap

Model dimana perlakuan-perlakuan yang digunakan dalam percobaan berasal dari populasi yang terbatas dan pemilihan perlakuannya ditentukan secara langsung oleh peneliti. Kesimpulan yang diperoleh terbatas hanya pada perlakuan-perlakuan yang dicobakan dan tidak bisa digeneralisasi.

2. Model Acak

Model dimana perlakuan-perlakuan yang dicobakan merupakan sample acak dari populasi perlakuan

2.3.2. Analisis Varians (Sidik Ragam)

Terdapat 2 sumber keragaman diantara n pengamatan yang diperoleh, yaitu: keragaman perlakuan dan galat percobaan. Keduanya digunakan untuk menunjukkan apakah perbedaan pengamatan diantara perlakuan itu nyata atau karena kebetulan saja. Perbedaan perlakuan dikatakan nyata apabila keragaman perlakuan cukup besar dibandingkan dengan galat percobaan.

A. Pengujian Hipotesis

Statistik uji yang digunakan untuk memutuskan apakah H_0 yang diterima adalah uji F dengan $F_{hit} = \text{KTP}/\text{KTG}$. Statistik F ini mengikuti sebaran F dengan derajat bebas pembilang = $t-1$ dan derajat bebas penyebut $t(r-1)$. Jika $F_{Hit} > F_{tabel}$ maka hipotesis nol ditolak dan berlaku sebaliknya. Uji F yang tidak nyata dalam sidik ragam menunjukkan kegagalan percobaan untuk mengetahui perbedaan diantara perlakuan. Bukan berarti hal itu tidak membuktikan bahwa semua perlakuan sama, mungkin merupakan akibat dari perbedaan perlakuan yang terlalu kecil, atau galat percobaan yang terlalu besar atau keduanya. Bila ini terjadi maka pengujian dapat diulangi dan usahakan mengurangi galat percobaan.

B. Percobaan Dua Faktor Rancangan Acak Lengkap (RAL)

Percobaan dua faktor dapat diterapkan secara langsung terhadap seluruh unit-unit percobaan jika unit percobaannya relatif homogen. Rancangan ini sering disebut rancangan dua faktor dalam RAL atau disingkat Faktorial RAL. Percobaan dua faktor dalam rancangan acak lengkap digunakan apabila perlakuan yang dicoba merupakan kombinasi antar taraf-taraf beberapa faktor, faktor-faktor yang dilibatkan bersifat saling bersilang, bukan tersarang dan kondisi lingkungan yang dihadapi homogen atau dapat juga dikatakan serba sama. Misalkan penelitian dua varietas jagung (V1 dan V2) dan yang diberikan 3 dosis pupuk (D1, D2 dan D3), dengan demikian banyaknya perlakuan yang dicobakan ada sebanyak $2 \times 3 = 6$ kombinasi perlakuan dan diulang sebanyak 3 kali, sehingga petak lahan yang digunakan sebanyak $6 \times 3 = 18$ unit percobaan (Hanafiah, 2020).

2.4. Teori Produksi

Pengertian produksi menurut Soeharno (2009) adalah suatu kegiatan untuk meningkatkan manfaat dengan cara mengkombinasikan faktor-faktor produksi kapital, tenaga kerja, teknologi, *manageril skill*. Produksi merupakan

usaha untuk meningkatkan manfaat dengan cara mengubah bentuk (*form utility*), memindahkan tempat (*place utility*), dan menyimpan (*store utility*). Sistem produksi adalah merupakan keterkaitan komponen satu (*input*) dengan komponen lain (*output*) dan juga menyangkut “prosesnya” terjadi interaksi satu dengan lainnya untuk mencapai satu tujuan. Salah satu lingkungan ekonomi adalah sistem produksi. Komponen dalam sistem produksi adalah *input*, proses dan *output*. Komponen *input* meliputi: tanah, tenaga kerja, modal (*capital*), manajemen, energi, informasi, dan sebagainya yang ikut berperan menjadi komponen atau bahan baku dari suatu produk. Komponen *output* adalah barang atau jasa. Komponen proses dalam mentransformasi nilai tambah dari *input* ke *output* adalah pengendalian *input*, pengendalian proses itu sendiri, dan pengendalian teknologi sebagai upaya umpan balik dari *output* ke *input*. Upaya umpan balik ini adalah dalam rangka untuk menjaga kualitas *output* yang diinginkan sesuai dengan harapan (*expectation*) produsen.

Keterkaitan pada sistem produksi dapat bersifat *structural* maupun *functional*. Dimaksud struktural meliputi tanah, tenaga kerja, modal, dan sebagainya. Sedangkan fungsional meliputi perencanaan, pengorganisasian, kontrol, pengendalian, dan sebagainya berkaitan dengan manajemen. Produksi adalah sesuatu yang dihasilkan oleh suatu perusahaan baik berbentuk barang (*goods*) maupun jasa (*services*) dalam suatu periode waktu yang selanjutnya dihitung sebagai nilai tambah bagi perusahaan. Jika ditelaah lebih lanjut, pengertian produksi dapat ditinjau dari dua sudut, yaitu:

1. Pengertian produksi dalam arti sempit, yaitu mengubah bentuk barang menjadi barang baru, ini menimbulkan *form utility*.
2. Pengertian produksi dalam arti luas, yaitu usaha yang menimbulkan kegunaan karena *place*, *time*, dan *possession*.

Kemampuan suatu organisasi dalam menghasilkan produktivitas yang tinggi artinya memperlihatkan kemampuan manajer bagian produksi dalam mengkoordinasikan seluruh elemen yang ada dalam usaha mendukung terbentuknya produktivitas, dan produktivitas yang baik adalah yang memiliki nilai jual di pasar. John Kendrick mendefinisikan produktivitas sebagai hubungan

antara keluaran (*output=O*) berupa barang dan jasa dengan masukan (*input=I*) berupa sumber daya, manusia atau bukan, yang digunakan dalam proses produksi; hubungan tersebut biasanya dinyatakan dengan bentuk rasio *O/I*. Secara konsep, produksi adalah kegiatan menghasilkan sesuatu, baik berupa barang, (seperti pakaian, sepatu, makanan), maupun jasa (pengobatan, urut, potong rambut, hiburan, manajemen). Pengertian produksi dalam bahasa sehari-hari yaitu kegiatan mengolah *input*, baik berupa barang atau jasa, menjadi *output* berupa barang atau jasa yang lebih bernilai atau lebih bermanfaat. Teori produksi adalah prinsip ilmiah dalam melakukan produksi, yang meliputi:

1. Bagaimana memilih kombinasi penggunaan *input* untuk menghasilkan *output* dengan produktivitas dan efisiensi tinggi.
2. Bagaimana menentukan tingkat *output* yang optimal untuk tingkat penggunaan *input* tertentu.
3. bagaimana mamilih teknologi yang tepat sesuai dengan kondisi perusahaan

2.4.1. Fungsi Produksi

Sukirno (2010) menjelaskan bahwa fungsi produksi merupakan sifat hubungan diantara faktor-faktor produksi dan tingkat produksi yang dihasilkan. Faktor produksi dikenal pula dengan istilah *input* dan jumlah produksi selalu juga disebut sebagai *output*. Fungsi produksi menggambarkan hubungan antara *input* dan *output*. *Input* atau faktor produksi biasanya diklasifikasikan sebagai tanah, tenaga kerja (labor) atau modal. Tanah dan tenaga kerja dikategorikan sebagai *input* yang tidak diproduksi untuk menjadi *input* untuk proses produksi selanjutnya. Sedangkan modal adalah faktor yang sengaja diproduksi untuk proses produksi berikutnya. Jadi modal adalah suatu *output* dari proses produksi yang satu, kemudian menjadi *input* untuk proses produksi berikutnya. Fungsi produksi (atau lazim pula disebut operasi) merupakan fungsi yang disertai tugas dan tanggung jawab untuk melakukan aktivitas pengubahan dan pengolahan sumber daya produksi (*a set of input*) menjadi keluaran (*output*), barang atau jasa, sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya. Fungsi produksi ini menciptakan kegunaan suatu benda meningkat

akibat dilakukannya penyempurnaan bentuk atas benda (*input*) yang bersangkutan.

Dunia dan Abdullah (2012) mengatakan bahwa biaya adalah pengeluaran-pengeluaran atau nilai pengorbanan untuk memperoleh barang atau jasa yang berguna untuk masa yang akan datang, atau mempunyai manfaat melebihi satu periode akuntansi. Sedangkan menurut Mulyadi (2015) biaya produksi merupakan biaya-biaya yang terjadi untuk mengolah bahan baku menjadi produk jadi yang siap untuk dijual. Secara garis besar biaya produksi ini dibagi menjadi biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung, dan biaya *overhead*. Menurut Harnanto (2017) biaya produksi adalah biaya-biaya yang dianggap melekat pada produk, meliputi biaya langsung maupun biaya tidak langsung dapat diidentifikasi dengan kegiatan pengolahan bahan baku menjadi produk jadi.

Klasifikasi biaya diperlukan untuk menyampaikan dan menyajikan data biaya agar berguna bagi manajemen dalam mencapai berbagai tujuannya. Sebelum menghimpun dan mengalokasikan biaya dengan baik. Menurut siregar, dkk., (2013) Klasifikasi berdasarkan Ketertelusuran. Berdasarkan ketertelusuran biaya keproduk, biaya dapat digolongkan menjadi dua, yaitu:

- A.** Biaya langsung (*direct cost*) adalah biaya yang ditelusur sampai kepada produk secara langsung. Biaya bahan baku dan biaya tenaga kerja langsung dapat ditelusur sampai kepada produk. Contohnya dalam pembuatan meja, banyaknya kayu dan biaya kayu yang digunakan dapat ditelusur ke setiap meja yang diproduksi. Biaya tenaga kerja langsung adalah gaji atau upah karyawan produksi yang terlibat langsung dalam mengerjakan produk. Karyawan dan jam kerjanya dapat diidentifikasi hingga ke setiap produk yang dihasilkan.
- B.** Biaya tidak langsung (*indirect cost*) adalah biaya yang tidak dapat secara langsung ditelusur ke produk. Gaji mandor produksi adalah contoh biaya tidak langsung. Seorang mandor tidak langsung terlibat dalam pengerjaan suatu produk tertentu. Seorang mandor dapat mengawasi pengerjaan beberapa produk sekaligus.

2.5. Tinjauan Riset Terdahulu

Penelitian terdahulu tentang biobriket telah banyak dilakukan dengan menggunakan bahan baku dan perekat yang berbeda-beda. Hasil dari penelitian terdahulu pun juga berbeda, ada yang memiliki hasil di bawah Standar Nasional (SNI) Indonesia, banyak juga yang telah memenuhi syarat SNI. Uraian riset terdahulu disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Riset terdahulu mengenai biobriket

No	Peneliti	Perekat	Bahan baku	Nilai kalor (kal/g)
1	Hendra, D., 2007	Tapioka	Campuran kayu, bambu, sabut kelapa dan tempurung kelapa	6906
2	Patabag, D., 2012	Tapioka	Sekam padi	2789
3	Martynis, M., Sundari, E., dan Sari, E., 2012	Tepung kanji	Limbah cangkang kakao	4000
4	Setiawan, A., Andrio, O., dan Coniwanti, P., 2012	Tepung sagu	Campuran kulit kacang dan serbuk gergaji	5670
5	Indriyani, M.W., 2020	Tapioka	Campuran limbah batang jagung dan limbah batang bambu	5696
6	Basuki, H.W., Yuniarti., dan Fatriani., 2020	Tapioka	Limbah cangkang kemiri dan tandan kosong aren	4749,606
7	Purba, F.J.K., 2021	Tapioka	Campuran limbah batang singkong dan limbah bambu	6006
8	Utami, M.P., 2021	Tapioka	Campuran limbah bambu, batang singkong dan batang jagung	5708
9	Haidar, A., Tamrin., Asmara, S., dan Bustomi, R.A., 2022	Tapioka	Campuran limbah tongkol jagung, batang singkong dan batubara	5150,4
10	Akbari, T., Panjaitan, F., dan Dwirani, F., 2022	Tapioka	Limbah cangkang melinjo	5893

Sumber: data riset peneliti

III.METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pembuatan Biobriket

Pembuatan biobriket sebelum dilakukan perlu menentukan waktu dan lokasi, persiapan bahan dan alat, penentuan metode dan prosedur pembuatannya terlebih dahulu agar tidak menghambat proses penelitian. Di bawah ini dijabarkan mengenai waktu dan tempat, alat dan bahan, metode dan prosedur pembuatan biobriket yang digunakan dalam penelitian.

3.1.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret hingga September 2022 yang bertempat di PT. Bukit Asam Tbk Unit Pengusahaan Briket Lampung, Jalan Raya Natar KM 16 No. 39 Desa Pemanggilan Natar, Lampung Selatan dan Laboratorium Rekayasa Sumber Daya Air dan Lahan (RSDAL), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

3.1.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah golok, karung, drum pembakaran, trashbag, timbangan duduk, ember, kompor, *crusher mill*, ayakan ukuran 40 mesh, timbangan analitik, panci, baskom, pengaduk, sarung tangan (*wipro welding gloves*), *screw press briquett*, *stopwatch*, jangka sorong, cawan alumunium, penjepit, termokopel, anglo, desikator, gelas ukur, batu bata, batako,

korek api, kawat kasa, *oven*, kamera digital dan alat tulis. Sedangkan bahan yang digunakan diantaranya, limbah batang singkong, limbah tempurung kelapa, limbah batang bambu, minyak tanah, tepung tapioka dan air.

3.1.3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode statistik Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial. Pelaksanaan penelitian menggunakan dua faktor, faktor pertama (P) ialah perbandingan komposisi bahan antara limbah batang singkong, limbah tempurung kelapa dan limbah batang bambu yang terdiri dari tiga taraf perlakuan yaitu perbandingan komposisi limbah batang singkong, tempurung kelapa dan bambu sebesar 60:20:20 (P1), perbandingan komposisi limbah batang singkong, tempurung kelapa dan bambu sebesar 20:60:20 (P2), perbandingan komposisi limbah batang singkong, tempurung kelapa dan bambu sebesar 20:20:60 (P3) dan perbandingan komposisi limbah batang singkong, tempurung kelapa dan bambu sebesar 30:35:35 (P4). Faktor kedua adalah faktor perekat tapioka (T) dengan konsentrasi perekat tapioka sebesar 5% (T1) dan konsentrasi perekat campuran tapioka dan *clay* sebesar 5% (T2). Masing-masing kombinasi perlakuan diulang (U) sebanyak tiga kali sehingga terdapat 24 satuan percobaan. Hasil randomisasi menurut RAL faktorial disajikan pada Tabel 8 di bawah ini.

Tabel 8. Hasil randomisasi menurut RAL faktorial (mengarah kesamping)

P ₁ T ₂ U ₂	P ₁ T ₁ U ₂	P ₄ T ₂ U ₁	P ₄ T ₂ U ₂
P ₃ T ₂ U ₂	P ₄ T ₂ U ₃	P ₂ T ₁ U ₁	P ₂ T ₂ U ₂
P ₂ T ₁ U ₃	P ₃ T ₁ U ₂	P ₂ T ₂ U ₃	P ₂ T ₂ U ₁
P ₄ T ₁ U ₂	P ₂ T ₁ U ₂	P ₄ T ₁ U ₃	P ₃ T ₂ U ₃
P ₃ T ₂ U ₁	P ₄ T ₁ U ₁	P ₃ T ₁ U ₁	P ₁ T ₂ U ₃
P ₃ T ₁ U ₃	P ₁ T ₂ U ₁	P ₁ T ₁ U ₃	P ₁ T ₁ U ₁

Sumber: data riset peneliti

Keterangan:

P₁: Perbandingan komposisi 1 (limbah batang singkong 60%, limbah tempurung kelapa 20% dan limbah bambu 20%)

P₂: Perbandingan komposisi 2 (limbah batang singkong 20%, limbah tempurung kelapa 60% dan limbah bambu 20%)

P₃: Perbandingan komposisi 3 (limbah batang singkong 20%, limbah tempurung kelapa 20% dan limbah bambu 60%)

P₄: Perbandingan komposisi 3 (limbah batang singkong 30%, limbah tempurung kelapa 35% dan limbah bambu 35%)

T₁: Konsentrasi perekat tapioka 5%

T₂: Konsentrasi perekat campuran *clay* dan tapioka 5%

U₁: Ulangan pertama (1)

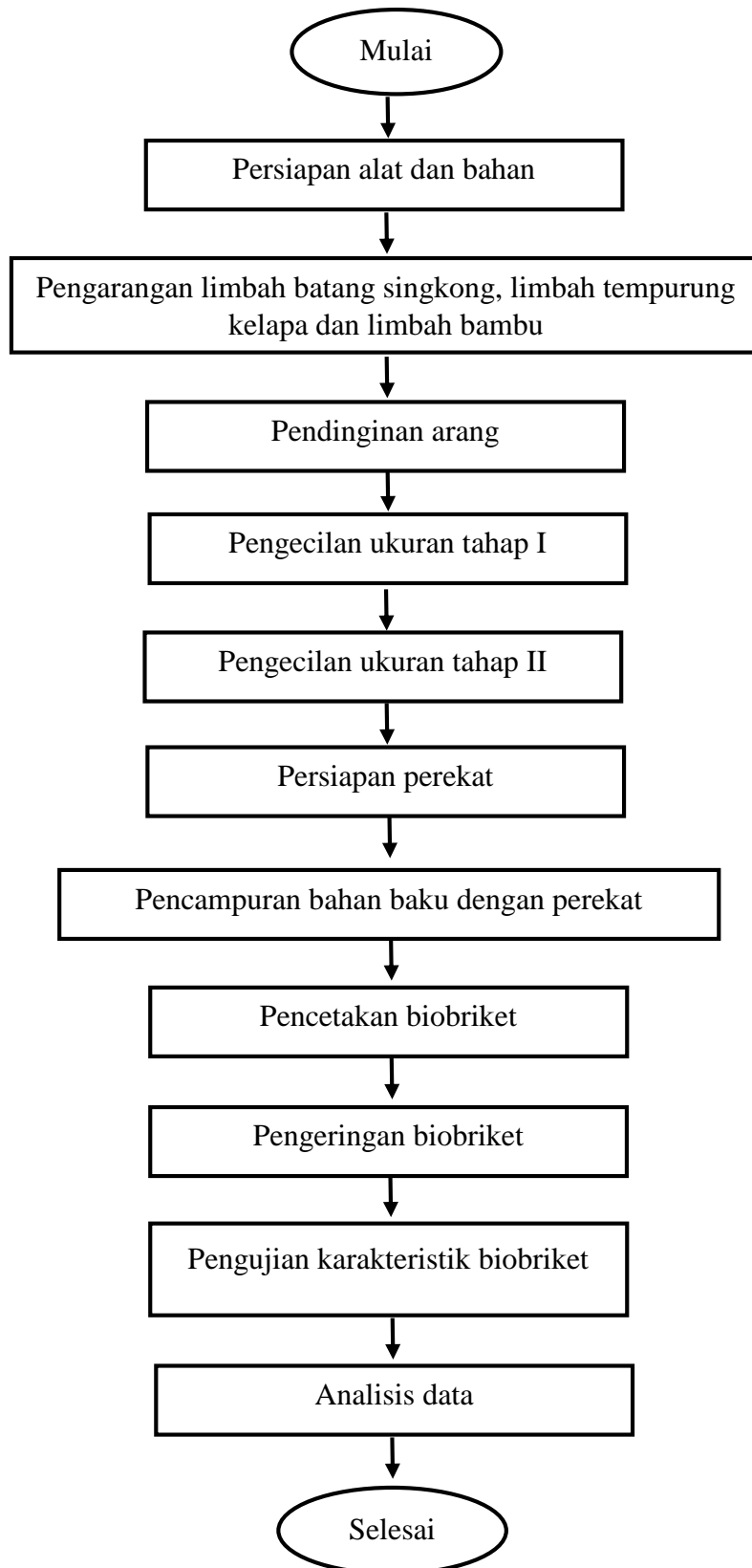
U₂: Ulangan kedua (2)

U₃: Ulangan ketiga (3)

Hasil penelitian dari penggunaan metode RAL kemudian dianalisis dengan analisis sidik ragam dimana analisis sidik ragam merupakan metode untuk menguji hubungan satu peubah gayut (*dependen*) dengan satu atau lebih peubah tak gayut (*independent*). Ghozali (2011) menjelaskan bahwa dalam kasus satu peubah gayut dan dua atau tiga peubah tak gayut maka disebut analisis sidik ragam dua arah (*two ways anova*). Hal tersebut yang mendasari penelitian ini menggunakan analisis sidik ragam dua arah karena memiliki dua faktor yaitu perlakuan dan perekat. Uji sidik ragam dilakukan guna mengetahui signifikansi perbedaan pada beberapa perlakuan. Uji sidik ragam yang telah dilakukan kemudian dilanjutkan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) dengan taraf 0,05 (5%) untuk mengetahui hubungan antar faktor kemudian disajikan dalam bentuk grafik dan tabel.

3.1.4. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini menjelaskan tentang tahap pelaksanaan yang dilakukan dalam penelitian. Tahapan tersebut mencakup persiapan alat dan bahan, pengurangan bahan baku, pengecilan ukuran, pembuatan perekat tapioka dan pencampuran bahan baku, pencetakan dan pengeringan biobriket, pengujian karakteristik biobriket, serta analisis data. Tahapan prosedur penelitian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Prosedur penelitian

3.1.4.1. Persiapan Bahan Baku

Bahan baku utama yang digunakan yaitu limbah batang singkong, limbah tempurung kelapa dan limbah bambu. limbah batang singkong dengan jenis kasetsart dengan diameter 2-4 cm diperoleh dari kebun warga Desa Kogop Kecamatan Natar Lampung Selatan. Limbah tempurung kelapa dengan jenis genjah diperoleh dari pengusaha kopra di Desa Karang Sari, Natar Lampung Selatan. Limbah bambu jenis bambu tali dengan ruas 40-60 cm diperoleh dari sisa pembangunan rumah warga di Desa Candimas, Natar Lampung Selatan. Tiga bahan baku tersebut dikecilkan ukurannya menjadi 10-15 cm. Pengecilan ukuran ini dilakukan untuk mempersempit rongga pembakaran dalam drum sehingga kadar oksigen yang terlibat dalam proses pembakaran tidak terlalu banyak, dengan demikian kemungkinan arang menjadi abu semakin kecil. Sejalan dengan pernyataan Suherman dkk. (2021) bahwa oksigen sangat mempengaruhi proses pengarangan. Bahan pendukung dalam penelitian ini adalah tapioka, *clay*, air dan minyak tanah. Tepung tapioka yang digunakan adalah tepung tapioka curah dan diperoleh di warung setempat. *Clay* (tanah lempung) yang digunakan dalam bentuk bubuk dan diperoleh dari Pabrik Briket PT Bukit Asam. Minyak tanah yang digunakan diperoleh dari warung setempat dan air yang digunakan adalah air sumur yang berada di sekitar lokasi penelitian.

3.1.4.2. Pengarangan Bahan Baku

Proses pengarangan (karbonasi) adalah proses mengubah bahan baku asal menjadi karbon berwarna hitam melalui pembakaran dalam ruang (Ridhuan, 2016). Pengarangan bahan baku dilakukan secara manual dengan menggunakan drum. Batang singkong, tempurung kelapa, dan bambu yang sudah dikecilkan ukurannya dimasukkan ke dalam drum sedikit demi sedikit lalu dibakar hingga drum penuh. Drum yang sudah dipenuhi oleh arang lalu ditutup rapat guna menghentikan kobaran api. Setelah itu drum didiamkan hingga keesokan harinya agar arang dingin di dalam drum sehingga arang tidak perlu didinginkan lagi

setelah keluar dari drum. Proses pengarangan bahan baku ini dilakukan secara terpisah pada setiap jenis bahan bakunya. Kegiatan pengarangan disajikan pada Gambar 3.



Sumber: data riset peneliti

Gambar 3. Pengarangan bahan baku.

3.1.4.3. Pengecilan Ukuran Arang

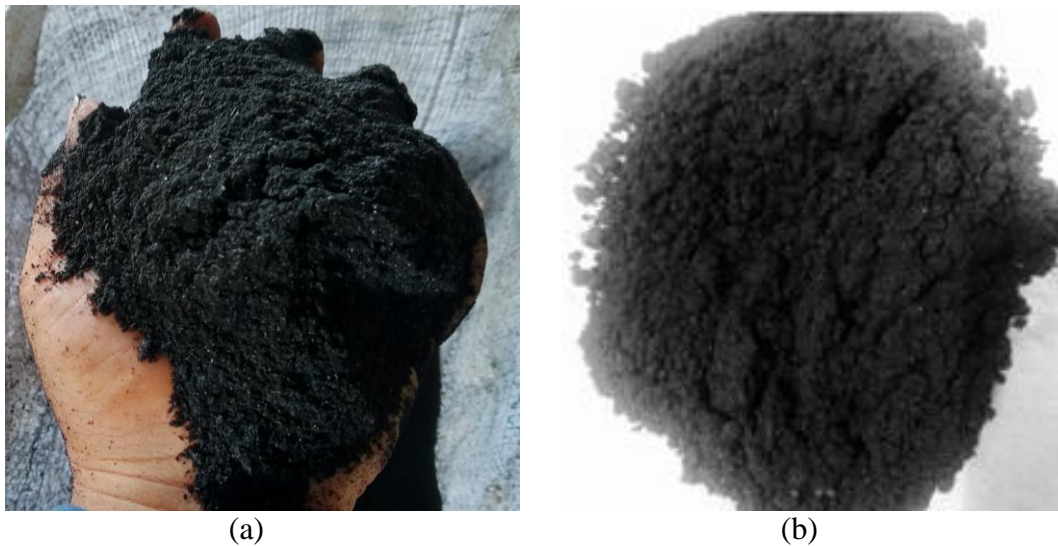
Pengecilan ukuran arang dilakukan guna mengubah ukuran arang menjadi serbuk sehingga mudah dicampur dengan bahan baku yang lainnya. Pengecilan ukuran arang batang singkong, arang tempurung kelapa dan arang bambu dilakukan dengan menggunakan *crusher mill*. Mesin *crusher mill* dihidupkan kemudian dimasukkan arang batang singkong, tempurung kelapa dan bambu secara bergantian hingga habis. Arang akan dicacah di dalam alat tersebut dengan kecepatan 1500rpm dengan ukuran ayakan 3 mesh. serbuk arang akan jatuh melalui bawah alat *crusher mill*, di bagian bawah tersebut sudah diberi *trashbag* untuk menampung arang yang sudah menjadi serbuk. Proses pengecilan ukuran arang disajikan pada Gambar 4.



Sumber: data riset peneliti

Gambar 4. Pengecilan ukuran arang.

Setelah pengecilan ukuran tahap I kemudian dilanjutkan pengecilan ukuran tahap II semua arang batang singkong, arang tempurung kelapa dan juga bambu di ayak dengan menggunakan saringan ukuran 40 mesh. Semua bahan baku di ayak dan dimasukkan ke dalam *trashbag*. Hasil ayakan bahan baku disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Serbuk hasil pengayakan (a merupakan serbuk hasil pengecilan tahap I dan b merupakan serbuk arang hasil pengecilan tahap II).

3.1.4.4. Pembuatan Perekat Tapioka

Perekat merupakan komponen penting dalam pembuatan produk biobriket. Zat perekat berfungsi untuk merekatkan partikel-partikel arang pada saat proses pembuatan biobriket, sehingga dapat dihasilkan biobriket yang mudah dibentuk sesuai kebutuhan dan tidak mudah pecah (kompak) (Mulyadi dkk., 2013). Bahan baku untuk membuat perekat dalam penelitian ini pada T1 ialah tepung tapioka 5% dan air dengan perbandingan 1:10, pada T2 ialah campuran tepung tapioka dan *clay* 5% dengan air melalui perbandingan 1:10 . Proses pembuatan perekatnya yaitu dengan mencampurkan bahan perekat dan air yang diletakkan di atas panci. Kemudian dipanaskan di atas kompor yang menyala, sambil diaduk dengan menggunakan pengaduk kayu sampai merata, mengental, dan berwarna bening. Proses pembuatan perekat disajikan pada Gambar 6.



Sumber: data riset peneliti

Gambar 6. Proses pembuatan perekat.

3.1.4.5. Pencampuran Perekat dengan Bahan Baku

Serbuk arang agar menyatu dan menjadi sebuah briket maka diperlukan komponen tambahan berupa perekat (Faizal, 2014). Komposisi bahan baku yang sudah diayak dicampur dengan perekat tapioka yang telah dibuat dengan variasi konsentrasi perekat tapioka sebesar 5% (T1) dan campuran tapioka dan *clay* sebesar 5% (T2). Pencampuran bahan baku dan perekat dilakukan dengan manual yaitu menggunakan alat pengaduk kayu, pengadukan dilakukan di ember sampai bahan adonan briket homogen, proses pengadukan berlangsung seitar 10 menit. Proses pencampuran bahan baku dan perekat disajikan pada Gambar 7.



Sumber: data riset peneliti

Gambar 7. Proses pencampuran bahan baku dengan perekat.

3.1.4.6 Pencetakan Biobriket

Bahan baku yang sudah membentuk adonan biobriket dan sudah homogen kemudian akan dicetak dengan menggunakan alat *screw press briquette*. Pencetakan dilakukan agar biobriket yang dibuat memiliki bentuk dan ukuran yang seragam (Putri dan Andasuryani, 2017). Adonan biobriket yang siap untuk

dicetak dimasukkan ke lubang umpan mesin *screw press briquette*. Selanjutnya mesin akan berputar terus pada porosnya. Bahan yang sudah homogen kemudian dicetak, bersamaan dengan itu adonan briket terkempa dan terdorong keluar menuju ruang pencetakan biobriket dengan memadat. Mesin *screw press briquette* akan membentuk adonan biobriket menjadi bentuk silinder. Pencetakan biobriket disajikan pada Gambar 8.



Sumber: data riset peneliti

Gambar 8 . Proses pencetakan biobriket.

3.1.47. Pengeringan biobriket

Biobriket yang sudah dicetak dikeringkan menggunakan metode penjemuran di bawah sinar matahari. Biobriket tersebut masih banyak mengandung air sehingga perlu dikeringkan agar tidak mengganggu besarnya nilai kalor dan laju pembakaran biobriket. Tujuan dilakukannya proses pengeringan ini untuk mendapatkan kadar air di bawah 8% (Daud dkk., 2022). Biobriket yang baru dicetak memiliki kadar air rata-rata sebesar 50%, dengan kadar air sebesar ini biobriket akan sulit untuk dinyalakan. Proses pengeringan biobriket disajikan pada Gambar 9.



Sumber: data riset peneliti

Gambar 9. Proses pengeringan biobriket di bawah sinar matahari.

3.2. Pengujian Karakteristik Biobriket

Biobriket agar dapat digunakan dan dipasarkan harus memenuhi standar karakteristik yang telah ditetapkan oleh SNI (Kalsum, 2016). Di bawah ini dijelaskan tentang uji karakteristik yang berkaitan dengan biobriket. Uji karakteristik tersebut meliputi uji kerapatan, kadar air, kekuatan tekan, *shatter resistance index*, nilai kalor, laju pembakaran dan suhu pembakaran biobriket

3.2.1. Kerapatan Biobriket

Kerapatan merupakan perbandingan antara massa dan volume zat pada temperatur dan tekanan tertentu (Putri dan Andasuryani, 2017). Kerapatan biobriket dapat ditentukan dengan mengukur dan menentukan massa biobriket untuk setiap satuan volume yang dihasilkan. Biobriket yang sudah dicetak masing-masing sampel ditimbang untuk mengetahui bobotnya, sedangkan volumenya dengan menentukan panjang dan diameter. Kerapatan dengan persamaan yang diadopsi dari penelitian Masthura (2019) sebagai berikut:

$$\text{Kerapatan } (p) = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Volume } (V) = \frac{\pi}{4} d^2 l \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

p =kerapatan (g/ cm³)

m =Massa (g)

V = Volume biobriket (cm³)

l = Panjang (cm)

d = Diameter (cm)

π = 3,14

Proses pengukuran kerapatan bibriket disajikan pada Gambar 10.



Sumber: data riset peneliti

Gambar 10. Pengukuran kerapatan biobriket menggunakan jangka sorong.

3.2.2. Kadar Air Biobriket

Perhitungan kadar air biobriket ini dilakukan untuk mengetahui sifat higroskopis briket (Triono, 2006). Perhitungan kadar air dilakukan dengan

menyiapkan 24 sampel yang diletakkan ke dalam cawan seberat 2 gram, dan didapatkan berat awal (gram). Biobriket setelah ditimbang dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 1x24 jam hingga bobot konstan. Perlakuan ini dirujuk dari metode thermogravimetri yang mengacu pada SNI 01-2354.2-2006 bahwa pengeringan menggunakan oven suhu yang dibutuhkan minimal 105°C. Setelah dioven kemudian didinginkan dengan menggunakan desikator selama 10 menit, dan ditimbang berat akhir (gram). Penggunaan desikator berfungsi untuk mencegah kelembaban udara sekitar masuk ke dalam biobriket. Kadar air dihitung dengan mengadopsi rumus dari penelitian Dipayana dan Triyono (2021) dan sedikit dimodifikasi sebagai berikut:

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

Keterangan : M = Kadar air (%)

Wa= Berat Awal (g)

Wb= Berat Akhir (g)

Proses uji kadar air biobriket disajikan pada Gambar 11.



Sumber: data riset peneliti

Gambar 11. Pengujian kadar air biobriket menggunakan oven.

3.2.3. Kekuatan Tekan Biobriket

Kekuatan tekan briket adalah gambaran kemampuan biobriket dalam menahan beban (Ridhuan, 2016), semakin tinggi nilai kuat tekan biobriket maka

semakin kecil kemungkinan biobriket hancur saat proses pengangkutan dan penumpukan. Pengujian kekuatan tekan ini dilakukan dengan cara memberikan beban pada biobriket, hingga biobriket retak dan pecah. Kuat tekan biobriket dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan

P= Kekuatan tekanan (N/cm²)

F= Gaya maksimum (N)

A= Luas permukaan (cm²)

Uji kekuatan tekan biobriket disajikan pada Gambar 12.



Sumber: data riset peneliti

Gambar 12. Proses uji kekuatan tekan biobriket.

3.2.4. *Shatter Resistace Index* Biobriket

Shatter resistance index biobriket adalah ketahanan banting yang dimiliki oleh biobriket tersebut. Semakin tinggi nilai *shatter resistance index* maka kualitas biobriket juga semakin baik. Pengujian *Shatter Resistace Index*

dilakukan dengan cara menjatuhkan briket dari ketinggian 2 meter ke permukaan yang keras, hal tersebut bertujuan untuk menguji ketahanan banting biobriket. Pengukuran dilakukan menggunakan persamaan yang diadopsi dari penelitian Hasan dkk. (2020) sebagai berikut:

$$SRI = \left(1 - \frac{M_a - M_b}{M_a}\right) \times 100 \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

SRI = *Shatter resistace index* (%)

M_a = Bobot awal (g)

M_b = Bobot akhir (g)

Proses pengukuran *shatter resistance index* biobriket disajikan pada Gambar 13.



Sumber: data riset peneliti

Gambar 13. Uji *shatter resistance index* biobriket.

3.2.5. Nilai Kalor Biobriket

Kalor merupakan suatu kuantitas atau jumlah panas yang diserap atau dilepaskan oleh suatu benda. Pengujian nilai kalor briket bertujuan untuk mengetahui besarnya panas yang diperoleh pada pembakaran suatu jumlah tertentu bahan bakar (Sudiro, 2014). Pengukuran nilai kalor dengan menggunakan alat

bomb calorimeter. Disiapkan 8 sampel dari masing-masing perlakuan yang akan diuji nilai kalor. Selanjutnya sampel ditimbang dan dimasukkan ke *vessel bomb calorimeter* dan *vessel* tersebut yang sudah dipasang benang penyulut. Kemudian *vessel bomb calorimeter* diisi dengan oksigen hingga tekanan mencapai 3000 kPa. Dimasukkan *vessel bomb calorimeter* kedalam *bomb calorimeter* , setelah itu menyalakan *bomb calorimeter* dan menginput berat sampel. Kemudian ditunggu sampai 20 menit, sampai nilai kalor ditampilkan dilayar *bomb calorimeter*.

3.2.6. Laju Pembakaran Biobriket

Pengujian laju pembakaran ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan biobriket dari awal dinyalakan, kemudian membara hingga menjadi abu. Menurut Sudiro (2014) bahwa karakteristik pembakaran briket, dapat dilakukan sebagai tolak ukur untuk pembuatan bahan bakar yang efisien dalam penggunaannya. Menyiapkan beberapa sampel dan ditimbang bobot briket sebelum melakukan pengujian laju pembakaran. Selanjutnya, menyiapkan kayu yang sudah dicelupkan ke dalam minyak lampu kemudian dinyalakan apinya dan briket diletakkan di atas kawat kasa sampai briket nyala kemudian dihitung dengan *stopwatch*. Persamaan yang digunakan untuk mengetahui laju pembakaran adalah (Almu dkk., 2014) :

$$(L_p) = \frac{M}{t} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan : L_p = Laju pembakaran (g/menit)

M= Bobot sampel (g)

t= Waktu

Proses uji laju pembakaran biobriket disajikan pada Gambar 14.



Sumber: data riset peneliti

Gambar 14. Proses uji laju pembakaran biobriket.

3.2.7. Suhu Pembakaran Biobriket

Suhu pembakaran biobriket merupakan perkiraan suhu yang akan diperoleh pada saat biobriket digunakan untuk memasak atau digunakan untuk keperluan yang lainnya. Pengukuran suhu pembakaran ini dilakukan dengan disiapkannya 3 sampel setiap perlakuan (8 perlakuan), batu bata untuk disusun membentuk persegi, kemudian diletakkan kawat kasa di atas batu bata. Setelah itu, biobriket disulut dengan api hingga menyala. Setelah biobriket sudah membara, pembakaran diletakkan diantara batu bata yang di dalamnya sudah berisi biobriket yang menyala. Jarak antara pembakaran dengan biobriket berkisaran 1-2 cm. Pengukuran suhu pembakaran dengan menggunakan alat termokopel. Jarak waktu pengukuran suhu pembakaran selama 2 menit sampai briket padam, pengukuran waktu ini dilakukan dengan menggunakan *stopwatch*. Proses uji suhu pembakaran disajikan pada Gambar 15.



Sumber: data riset peneliti

Gambar 15. Uji suhu pembakaran biobriket.

3.3. Analisis Kelayakan Ekonomi Biobriket

Analisis kelayakan ekonomi dilakukan untuk mengetahui kemungkinan keuntungan yang diperoleh dari suatu penanaman modal (Rizal dkk., 2017). Kelayakan ekonomi dapat diketahui dengan menggunakan analisis *Revenue Cost Ratio* (R/C Ratio) dan analisis *Payback period* (PBP) (Akbari, dkk., 2022).

3.3.1. Revenue Cost Ratio (R/C Ratio)

R/C Ratio merupakan perbandingan antara total penerimaan dengan total biaya yang dikeluarkan (Suratiyah, 2015). Nilai R/C Ratio dapat diperoleh dengan menghitung nilai total biaya produksi, pendapatan kotor dan pendapatan bersih produksi. Penjabaran total biaya produksi, pendapatan kotor dan pendapatan bersih dari produksi biobriket dapat dilihat di bawah ini:

A. Biaya Total Produksi

Biaya total (*total cost/TC*) merupakan penjumlahan seluruh biaya yang dikeluarkan, baik untuk *fixed resources* maupun untuk *variable resources* atau dengan kata lain, *total cost* adalah jumlah *fixed cost* dan *variable cost* (Rosyidi, 2009) untuk menghitung biaya total dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$TC = FC + VC \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

TC = *Total Cost* (Rp/Produksi)

FC = *Fix Cost* (Rp/Produksi)

VC = *Variabel Cost* (Rp/Produksi)

Proses produksi akan memunculkan biaya depresiasi. Depresiasi adalah biaya yang timbul akibat adanya penggunaan aset tetap yang dimiliki sebuah perusahaan. Biaya depresiasi bermula dari penggunaan aset tetap secara terus-menerus sehingga mengalami penyusutan atau penurunan dalam hal kualitas maupun manfaat (Sondik, 2013). Rumus yang dapat digunakan untuk menghitung penyusutan adalah sebagai berikut:

$$Penyusutan = \frac{\text{Harga perolehan} - \text{Nilai residu}}{\text{Umur ekonomis}} \dots\dots\dots(8)$$

$$\text{Nilai residu} = \frac{\text{Harga perolehan}}{\text{Umur ekonomis}} \dots\dots\dots(9)$$

B. Pendapatan Kotor

Menurut SAK ETAP (Standar Akuntansi Keuangan Entitas Tanpa Akuntabilitas Publik) pendapatan merupakan penghasilan yang timbul dalam pelaksanaan aktivitas entitas yang biasa dan dikenal dengan sebutan yang berbeda seperti penjualan, imbalan, bunga, dividen, royalti, dan sewa. Menurut ikatan akuntansi Indonesia dalam PSAK No 23 Pendapatan Total (*Total Revenue*) merupakan jumlah/kuantitas barang yang terjual, dikalikan dengan harga satuan.

Semakin banyak barang yang terjual semakin besar penerimaan total (Soekartawi, 2006). Perhitungan total penerimaan dapat menggunakan rumus:

$$TR = P \times Q \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

TR = *Total Revenue* (Penerimaan total, dinyatakan dalam Rp)

P = *Price* (Harga, dinyatakan dalam Rp)

Q = *Quantity* (Jumlah produksi)

C. Pendapatan Bersih (laba)

Menurut SAK ETAP penghasilan (*income*) adalah kenaikan manfaat ekonomi selama periode pelaporan dalam bentuk arus masuk atau peningkatan aset, atau penurunan kewajiban yang mengakibatkan kenaikan ekuitas yang tidak berasal dari kontribusi penanam modal. Penghasilan (*income*) meliputi pendapatan (*revenues*) dan keuntungan (*gains*). Menurut (Rizky dan mavianti, 2017), keuntungan usaha merupakan pengurangan pendapatan total dengan biaya total. Secara matematik dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\pi = TR - TC \dots\dots\dots(11)$$

Keterangan:

π = *Income* (Pendapatan Bersih, dinyatakan dalam Rp)

TR = *Total Revenue* (Penerimaan total, dinyatakan dalam Rp)

TC = *Total Cost* (Biaya total, dinyatakan dalam Rp).

R/C *Ratio* dapat dihitung setelah nilai dari poin-poin di atas diketahui. Nilai R/C *Ratio* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Erlangga 2012).

$$R/C \text{ Ratio} = \frac{\text{Pendapatan Kotor}}{\text{Total Biaya Produksi}} \dots\dots\dots(15)$$

Kriteria penilaian analisis *R/C Ratio* menurut Suryana (2014) adalah sebagai berikut:

- Bila *R/C Ratio* > 1, maka usaha tersebut untung dan layak secara ekonomis.
- Bila *R/C Ratio* = 1, maka usaha tersebut tidak untung dan tidak rugi secara ekonomis.
- Bila *R/C Ratio* < 1, maka usaha tersebut merugikan sehingga tidak layak secara ekonomis

3.3.2. Analisis Periode Pembayaran Kembali (*Payback Period*)

Umar (2007) menyatakan bahwa *payback period* adalah suatu periode yang diperlukan untuk menutup kembali pengeluaran investasi (*Initial Cash Investment*) dengan menggunakan aliran kas, dengan kata lain, *payback period* merupakan rasio antara *Initial Cash Investment* dengan aliran kas masuknya yang hasilnya merupakan satuan waktu. Jadi, arus kas adalah jumlah uang yang masuk dan keluar dalam suatu perusahaan mulai dari investasi dilakukan sampai dengan berakhirnya investasi tersebut. Bagi investor yang terpenting adalah berapa kas bersih yang diterima dari uang yang diinvestasikan di suatu usaha. Waktu imbal hasil atas investasi tersebut dihitung menggunakan rumus Suryana (2014):

$$PBP = \frac{\text{Investasi}}{\text{Kas masuk bersih per tahun}} \times 1 \text{ tahun} \dots \dots \dots (16)$$

Kriteria :

- nilai *payback period* kurang dari 3 tahun artinya pengembalian modal usaha dikategorikan cepat.
- nilai *payback period* 3 – 5 tahun artinya kategori pengembalian sedang.
- nilai *payback period* lebih dari 5 tahun artinya termasuk kategori lambat.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Nilai kalor tertinggi diperoleh pada P2T1 yaitu 6513 kal/g (komposisi limbah tempurung kelapa 60%, batang singkong 20%, batang bambu 20% dan perekat tapioka sebesar 5%). Kalor yang tinggi disebabkan oleh persentase kandungan arang tempurung kelapa.
2. Karakteristik biobriket yang diperoleh adalah pada kerapatan briket memiliki nilai 0,5-0,71 g/cm³, kadar air briket sebesar 7,15-8,52%, kekuatan tekan briket sebesar 9,28-31,05 N/cm², nilai *shatter resistace index* sebesar 92,52-98,28%, nilai kalor yang diperoleh sebesar 5738-6513 kal/g, laju pembakaran yang diperoleh adalah 1,085-2,38 g/menit, dan suhu pemanasan yang diperoleh berkisar sebesar 118-288⁰C.
3. Biobriket seluruh perlakuan dinyatakan layak secara ekonomi karena memiliki nilai *revenue cost ratio* lebih dari 1 dan *payback period* di bawah 5 tahun.

5.2. Saran

Saran dari penelitian ini adalah:

1. Kriteria briket yang baik adalah tidak transfer warna, akan tetapi biobriket pada penelitian ini masih transfer warna.
2. Kriteria briket yang baik tidak mudah hancur, pada beberapa perlakuan di penelitian ini biobriket sudah hancur dengan beban 9,28 N/cm³. Kekuatan

tekan briket dipengaruhi oleh kuatnya proses pengepresan briket dan kandungan perekat dalam briket.

3. Pengeringan biobriket sebaiknya dilakukan pada musim kemarau agar mendapatkan hasil yang maksimal. Penelitian ini pada proses pengeringan diiringi dengan cuaca mendung dan hujan sehingga pada beberapa perlakuan kadar air yang diperoleh $>8\%$.
4. Nilai kalor dapat ditingkatkan dengan mengurangi kandungan air biobriket.
5. Kepadatan biobriket dipengaruhi oleh proses pengempaan biobriket, untuk mendapatkan biobriket yang lebih padat dan kerapatan lebih tinggi maka diperlukan mesin pengempa yang bertekanan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbari, T. 2018. Economic and environmental feasibility study of water hyacinth briquette in Cirata Reservoir. *In E3S Web of Conferences*. 4: 118-127.
- Akbari, T., Panjaitan, F., dan Dwirani, F. 2022. Analisis kelayakan teknis dan ekonomi pengolahan limbah cangkang melinjo (*Gnetum gnemon*) sebagai briket. *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam*. 5 (2): 132-146.
- Albertus, F dan Zalukhu. 2019. Dampak dan pengaruh pertambangan batubara terhadap masyarakat dan lingkungan di Kalimantan Timur. *Jurnal Legalitas*. 4(1): 42-56.
- Almu, M.A., Syahrul., dan Yesung, A.P. 2014. Analisa nilai kalor dan laju pembakaran pada briket campuran biji nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) dan abu sekam padi. *Jurnal Dinamika Teknik Mesin*. 2 (2): 117-122.
- Asmara, S., Kuncoro, S., dan Zulkarnain, I. 2019. Pelatihan penanganan limbah batang singkong menggunakan mesin perajang batang singkong (rabakong) di Desa Tanjung Bulan, Kecamatan Kasui , Way Kanan. *Jurnal Sakai Sambayan*, 3 (2): 68-74.
- ASTM. 1998. *Standard Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels*. Annual Books of ASTM standards. West Conshohocken.
- Badan Pusat Statistik. 2017. Data Jumlah Produksi Singkong Indonesia. www.BPS.Com Diakses pada 1 November 2021.
- Badan Pusat Statistik. 2018. *Data Jumlah Produksi Singkong Indonesia*. www.BPS.com. Diakses pada 11 Oktober 2021.
- Bahri, S. 2007. Pemanfaatan Limbah Industri Pengolahan Kayu Untuk Pembuatan Briket Arang Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan di Nanggroe Aceh Darussalam. *Tesis*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Bahrin, D., Dariansyah, N., dan Yuri. 2011. Biomassa: bahan bakar bersih untuk industri karet di Sumatera Selatan. *Prosiding Seminar Nasional AvoER*. 3 (3): 110-115.

- Basuki, H.W., Yuniarti., dan Fatriani. 2020. Analisa sifat fisik dan kimia arang dari campuran tandan kosong aren (*Arenga pinnata merr*) dan cangkang kemiri (*Aleurites trisperma*). *Jurnal Sylva Scienteeae*. 3(4): 626-636.
- Bestari, W., Mutiara M., Rosdanell H. 2015. Karakteristik briket dari sekam padi dan ketaman kayu berperekat daun jambu mete. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 5 (2): 15-20.
- Dewi, I.F. 2019. Pembuatan Briket Biocoal dari Tiga Varietas Limbah Batang Singkong dengan Campuran Dua Ukuran Partikel Batubara. *Skripsi Fakultas Pertanian Universitas Lampung*. 83 hlm.
- Dipayana, A.V., dan Triyono, B. 2021. Perancangan bentuk briket limbah baglog jamur tiram menggunakan metode theory of inventive problem solving. *Prosiding IRWNS*. 342-347.
- Dunia, F.A., Abdullah, W., & Sasongko, C. 2012. *Akuntansi biaya*. Salemba Empat. Jakarta.
- Eskak, E. 2015. Identifikasi pola laminasi tempurung kelapa. *Jurnal Dinamika Kerajinan dan Batik*. 32 (2): 107-116.
- Faizal, M., Ismira A., Puput D. 2014. pengaruh komposisi arang dan perekat terhadap kualitas biobriket dari kayu karet. *Jurnal Teknik kimia*. 20 (2): 36-44.
- Fariadhie, Jeni. 2009. Perbandingan briket tempurung kelapa dengan ampas tebu, jerami dan batubara. *Jurnal Teknik- UNISFAT*. 5 (1): 1-8.
- Fatriasari, W., dan Hermiati, E. 2008. Analisis morfologi serat dan sifat fisis-kimia pada enam jenis bambu sebagai bahan baku pulp dan kertas. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*. 2 : 67-72.
- Fauzi, M.A., Nasrul, I, Imam, S. 2015. Karakteristik termal briket kayu sengon dengan variasi suhu tekan. *Jurnal Rotor*. 8 (2): 29-31.
- Gustam, A.A.R. 2018. Rancang Bangun dan Uji Kinerja Alat Perajang Batang Singkong Tipe TEP-1. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Haidar, A., Tamrin., Asmara, S., dan Bustomi, R.A. 2022. Pengaruh campuran limbah tongkol jagung, batang singkong dan batubara dengan perekat tapioka terhadap kualitas biocoal. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*. 1 (2): 246-257.
- Hanafi, F. 2020. Pengaruh pemberian ekstrak daun mengkudu (*Morinda citrifolia* Linn) dalam air minum terhadap kualitas karkas burung puyuh (*Coturnix-coturnix Japonica*). *Thesis*. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim. Riau.

- Harnanto, 2017. *Akuntansi Biaya Konsep & Metodologi Penggolongan Biaya, Elemen Biaya Produksi dan Perhitungan Harga Pokok Produksi*. Andi OFFSET. Yogyakarta.
- Hasan, A.A., Amrul., dan Irsyad, M. 2020. Efek penekanan pemanasan pada proses pembriketan biomassa hasil torefaksi terhadap kualitas briket. *Jurnal FEMA*. 8 (2): 17-24.
- Hilloks, J.R., Thresh, M.J., and Bellotti, C.A. 2001. *Cassava Biology: Production and Utilization*. CABI Publishing. Oxon.
- Hutasoit, Aripin. 2012. Briket arag dari pelepah salak. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Andalas. Padang.
- Ikelle, I.I., Nworie, F. S., Ogah, A.O., dan Ilochi, N.O. (2017). Study on the combustion properties of bio-coal briquette blends of cassava stalk. *ChemSearch Journal*. 8(2): 29-34.
- Indriyani, M.W. 2021. Pembuatan Briket Arang Dan Bambu Dengan Menggunakan Variasi Persentase Perekat Tapioka. *Skripsi*. Fakultas Pertanian Universitas Lampung. 121 hlm.
- Iskandar, N., Nugroho, S., & Feliyana, M. F. 2019. Uji kualitas produk briket arang tempurung kelapa berdasarkan standar mutu SNI. *Jurnal Majalah Ilmiah Momentum*, 15(2).
- Iskandar, T., dan Poerwanto, H. 2015. Identifikasi nilai kalor dan waktu nyala hasil kombinasi ukuran partikel dan kuat tekan pada bio-briket dari bambu. *Jurnal Teknik Kimia*. 9 (2): 33-37.
- Jamilatun, S. 2008. Sifat-Sifat penyalaan dan pembakaran briket biomassa, briket batubara dan arang kayu. *Jurnal Rekayasa Proses*. 2 (2) : 39-40.
- Kaliyan, N., and Morey, V.R. 2009. factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*. 33: 337-359.
- Kalsum, U. 2016. Pembuatan briket arang dari campuran limbah tongkol jagung, kulit durian dan serbuk gergaji menggunakan perekat tapioka. *Jurnal Distilasi*. 1(1):41-50.
- Karim, M. A., Ariyanto, E., dan Firmansyah, A. 2014. Biobriket enceng gondok (*eichhornia crassipes*) sebagai bahan bakar energi terbarukan. *Jurnal Reaktor*. 15(1): 59-63.
- Karow, S., Santoso, B., dan Maskromo, I. 2019. Tenologi pengolahan minyak kelapa dan hasil ikutannya. *Jurnal Litbang Pertanian*. 38 (2): 86-95.

- Karyadi, D. 2013. Studi pencemaran pabrik briket batubara. *Jurnal Kimia dan Kemasan*. 13-16.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2021. *Penetapan Harga HBA Desember 2021*. Jakarta.
- Kurniawan, A. 2017. Pengukuran parameter kualitas udara (CO, NO₂, SO₂, O₃, dan PM₁₀) di Bukit Kototabang berbasis ISPU. *Jurnal Teknosains*. 7 (1): 1-82.
- Li, Y., and Liu, H. 2000. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. *Biomass and Bioenergy*. 19 : 177-86.
- Masthura. 2019. Analisis fisis dan laju pembakaran briket biorang dari bahan pelepah pisang. *Journal of Islamic and Technology*. 5 (1): 58-66.
- Mattjik, A.A., dan Sumertajaya, I.M. 1999. *Analisis Perancangan Percobaan Dengan Aplikasi SAS dan Minitab*. IPB Press. Bogor.
- Maulida, L., Nasrul, Z.A., dan Sari, D.N. 2015. Pemanfaatan kulit singkong sebagai bahan baku karbon aktif. *Jurnal Teknologi Kimia*. 4 (2): 11-19.
- Miskah, S., Suhirman, L., dan Ramadhona, H. R. 2014. Pembuatan biobriket dari campuran arang kulit kacang tanah dan arang ampas tebu dengan aditif KMnO₄. *Jurnal Teknik Kimia*. 20:58-61.
- Mukhtar, R., Hamonangan., Yuwatini, E., Hindratmo, B., dan Aprishanty, R. 2010. Studi awal senyawa benzo(a)pyrene dalam contoh uji udara ambien akibat pembakaran briket batubara. *Jurnal Ecolab*. 4(2): 63-69.
- Mulyadi. 2015. *Sistem Informasi Akuntansi*. Salemba Empat. Jakarta.
- Nasrul, Z. A., Maulinda, L., Darma, F., dan Meriatna, M. 2021. Pengaruh komposisi briket biomassa kulit jagung terhadap karakteristik briket. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9(2): 35-42.
- Newnan, D.G., Eschenbach, T.G., dan Lavelle. 2020. *Engineering Economic Analysis 14th Edition*. Buku. Oxford University Press. New York.
- Ningrum, M.S. 2019. Pemanfaatan tanaman kelapa oleh etnis masyarakat di Desa Kelambir dan Desa Kubah Sentang Kecamatan Pahtai Lak Kabupaten Deli Serdang. *Skripsi*. Fakultas Biologi Universitas Medan Area. Medan. 59 Hlm.
- Noor, M.N., Shariff, A., dan Abdullah, N. 2012. Slow pyrolysis of cassava wastes for biochar production and characterization. *Iranica Journal of Energy and Environment*. 3: 60-65.

- Nurhalim, N., Cahyono, R.B., dan Hidayat, M. 2018. Karakteristik biobriket berbahan baku batubara dan batang/ ampas tebu terhadap kualitas dan laju pembakaran. *Jurnal Rekayasa Proses*. 12 (1): 51-59.
- Nurhayati, A., Permadi, D.A., dan Marganingrum, D. 2021. Studi karakteristik emisi gas dari bioler industri berbahan bakar CO firing batubara dan briket BFC. *Prosiding FTSP Series 1*. 1 (1): 1-11.
- O'Neill, P. 2022. *Finnegans Wakes: tales of translation*. University of Toronto Press. Canada.
- 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.
- Purba, F.J.K. 2021. Pengaruh Komposisi Campuran Batang Singkong dan Bambu dengan Perikat Tapioka Terhadap Kualitas Briket Biorang. *Skripsi*. Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- 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). 2018. *Outlook Komoditas Pertanian Tanaman Pangan Singkong*. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Putra, H.P., Hakim, L., Yebi, Y., dan Dianty, A.K. 2013. Studi kualitas briket dari tandan kosong kelapa sawit dengan perekat limbah nasi. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. 5 (1):. 27-35.
- Rhaharjo, A.C. 2019. Pemanfaatan Limbah Batang Singkong Dengan Penambangan Batubara Sebagai Briket Menggunakan Perikat Tapioka. *Skripsi*. Fakultas Pertanian Universitas Lampung. 128 hlm.
- Rizky, R.N dan Mavianti. 2019. Keripik kelapa: peluang usaha kewirausahaan di Dusun 3 Tanjung Anom, Deel Serdang. *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan*. 1 (1): 311-318.
- Rumiyanti, L., Irnanda, A., dan Hendronursito, Y. 2018. Analisis proksimat pada briket arang limbah pertanian. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 3(1): 15-22.
- Rusdianto, A. 2011. *Pemanfaatan Serbuk Tempurung Kelapa Sebagai Campuran Gypsum Plafon dengan Bahan Pengikat Lateks Akrilik*. Program Pascasarjana Fakultas MIPA Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Salim, E. 2011. *Mengelolah Singkong Menjadi Tepung Mocaf Bisnis Produk Alternatif Pengganti Terigu*. ANDI. Yogyakarta.

- Saputro D. D., Widayat W., Rusiyanto, Saptoadi H., Fauzun, 2012. *Karakterisasi briket dari limbah pengolahan kayu sengon dengan metode cetak panas*. IST AKPRIND. SNAST Periode III. Yogyakarta.
- Saputro, H. D., dan Dwiprigitaningtias, I. 2022. Penanganan pada limbah infeksius (sampah medis) akibat covid 19 untuk kelestarian lingkungan hidup. *Jurnal Dialektika Hukum*. 4(1): 1-18.
- Sari, D.R dan Ariani. 2021. Pengolahan tempurung kelapa menjadi arang dan asap cair dengan metode semi-batch pyrolysis. *Jurnal Teknologi Separasi*. 7 (2): 367-373.
- Setiowati, R. dan Tirono, M., 2014. Pengaruh variasi tekanan pengepresan dan komposisi bahan terhadap sifat fisis briket arang. *Jurnal Neutrino*. 7(1).
- Silalahi. 2000. Penelitian Pembuatan Briket Kayu dari Serbuk Gergajian Kayu. Buku. Industri DEPERINDAG. Bogor.
- 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.
- Soeharno. 2009. *Teori Mikro Ekonomi*. Andi. Yogyakarta.
- Sudiro, S.S. 2014. Pengaruh komposisi dan ukuran serbuk biket yang terbuat dari batubara dan jerami padi terhadap karakteristik pembakaran. *Jurnal Sainstech Politeknik Indonusa Surakarta*. 2(2): 1-18.
- Sugeng, R. 2009. *Uji Kualitas Fisik Dan Uji Kinetika Pembakaran Briket Jerami Padi Dengan Dan Tanpa Bahan Pengikat*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Suhartoyo dan Sriyanto. 2017. Efektifitas briket biomassa. *Prosiding SNATIF ke-4*: 623-627.
- Sukirno, S. 2006. *Mikro Ekonomi Teori Pengantar. Edisi Ketiga*. Rajagrafindo Persada. Jakarta.
- Sultan, M. A. 2019. Pengaruh Penambahan Limbah Pembakaran Batubara (Fly Ash) Ex Pltu Rum Pada Campuran Beton. *Teras Jurnal*. 9(2): 83-90.
- 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.