

**PENGARUH SUHU TERHADAP SIFAT FISIK *BIOPELLET* TOREFAKSI
LIMA JENIS BIOMASSA LIMBAH PERTANIAN**

(Skripsi)

Oleh

AGUNG WAHYUDI



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2021**

ABSTRAK

PENGARUH SUHU TERHADAP SIFAT FISIK *BIOPELLET* TOREFAKSI LIMA JENIS BIOMASSA LIMBAH PERTANIAN

Oleh

AGUNG WAHYUDI

Penggunaan limbah biomassa pertanian menjadi energi alternatif merupakan pilihan yang tepat, karena sebagian besar masyarakat Indonesia bertumpu pada sektor pertanian. Sejauh ini biomassa masih dianggap sebagai limbah yang tidak mempunyai nilai ekonomi dan sering dimusnahkan dengan cara dibakar, untuk mengatasi permasalahan tersebut dibuat *biopellet*. Untuk meningkatkan kualitas *biopellet* biomassa, salah satu metode *thermal* yang digunakan ialah torefaksi. Torefaksi adalah pemanasan biomassa secara perlahan dengan kisaran suhu 200 – 300 °C yang dilakukan dengan kondisi sedikit atau tanpa oksigen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik *biopellet* dan pengaruh suhu torefaksi terhadap dari lima biomassa limbah pertanian meliputi kadar air, daya serap air, uji jatuh, analisis warna, berat jenis dan *hidrophobicity*. Torefaksi dilakukan menggunakan alat *furnace* dengan variasi suhu 220 °C, 240 °C, 260 °C, 280 °C selama 20 menit.

Hasil penelitian ini menunjukkan kadar air *biopellet* torefaksi berkisar antara 0,1 % sampai 2,9 % lebih kecil dibandingkan kadar air *biopellet* tanpa torefaksi

berkisar antara 8,3 % sampai 11 %. Daya serap air dipengaruhi oleh kelembaban udara pada hari pengukuran. *Durability biopellet* yang sudah ditorefaksi memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan *biopellet* tanpa torefaksi. Perubahan warna keseluruhan (ΔE^*) *biopellet* yang sudah ditorefaksi memiliki nilai > 12 , sedangkan ΔE^* *biopellet* tanpa torefaksi yang berkisar antara 5 sampai 31. Berat jenis *biopellet* yang sudah ditorefaksi berkisar antara $0,4 \text{ N/m}^3$ sampai $0,7 \text{ N/m}^3$ sedangkan berat jenis *biopellet* tanpa ditorefaksi berkisar antara $0,6 \text{ N/m}^3$ sampai $0,8 \text{ N/m}^3$. *Hydrophobicity biopellet* yang sudah torefaksi dengan suhu 260°C dan 280°C memiliki ketahanan yang baik ketika perendaman selama 24 jam. *Biopellet* jerami padi memiliki kualitas yang tinggi karena ketika diuji jatuh bentuknya tetap dan ketika di rendam tidak langsung hancur. Sedangkan *biopellet* bonggol jagung memiliki kualitas yang rendah karena ketika sudah selesai dicetak *biopellet* retak, saat direndam *biopellet* langsung hancur dan ketika diuji jatuh hancur menjadi beberapa bagian.

Kata kunci : Biomassa limbah pertanian, *Biopellet*, torefaksi.

ABSTRACT

THE EFFECT OF TEMPERATURE ON PHYSICAL PROPERTIES OF BIOPELLET TOREFACTION OF FIVE TYPES OF AGRICULTURAL WASTE BIOMASS

By

AGUNG WAHYUDI

The use of agricultural biomass waste into alternative energy is the right choice, because most Indonesian people rely on the agricultural sector. So far, biomass is still considered as waste that has no economic value and is often destroyed by burning, to overcome this problem, are made biopellets. To improve the quality of biopellets biomass, one of the thermal methods used is torefaction. Torefaction is the slow heating of biomass with a temperature range of 200 - 300 °C which is carried out with little or no oxygen. This study aims to determine the physical properties of biopellets and the effect of torefaction temperature on five biomass of agricultural waste including moisture content, water absorption, slamming test, color analysis, specific gravity and hydrophobicity. Torefaction was carried out using a furnace with a temperature variation of 220 °C, 240 °C, 260 °C, 280 °C for 20 minutes.

The results of this study showed that the water content of torefaction biopellets ranged from 0.1% to 2.9% smaller than the water content of the torefaction

biopellets ranging from 8.3% to 11%. Water absorption is affected by air humidity on the day of measurement. Durability biopellet already ditorefaksi have better value than biopellet without torefaksi. The overall color change (AE) biopellet already ditorefaksi has a value > 12, while AE* biopellet without torefaksi ranging from 5 to 31. Density biopellet already torefaction ranged between 0.4 N/m³ to 0.7 N/m³ while the density biopellet without torefaction ranged between 0.6 N/m³ to 0.8 N/m³ Hydrophobicity The borefaction of biopellets with a temperature of 260 °C and 280 °C has good resistance when immersed for 24 hours. Ricebiopellet straw has a high quality because when tested, its shape remains constant and when soaked it does not break down immediately. Meanwhile, biopellets corn cob have low quality because when they are finished being molded they crack, when they are soaked they are immediately destroyed and when tested, they fall into several pieces.*

Key words: Agricultural waste biomass, biopellets, torefaction.

**PENGARUH SUHU TERHADAP SIFAT FISIK *BIOPELLET* TOREFAKSI
LIMA JENIS BIOMASSA LIMBAH PERTANIAN**

Oleh

AGUNG WAHYUDI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2021**

Judul Skripsi : **PENGARUH SUHU TERHADAP SIFAT
FISIK *BIOPELLET* TOREFAKSI LIMA
JENIS BIOMASSA LIMBAH PERTANIAN**

Nama Mahasiswa : **Agung Wahyudi**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1714071044**

Jurusan/PS : **Teknik Pertanian**

Fakultas : **Pertanian**



Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc. Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.
NIP. 198803252015041001 NIP. 199002262019031012

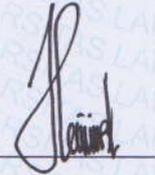
2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

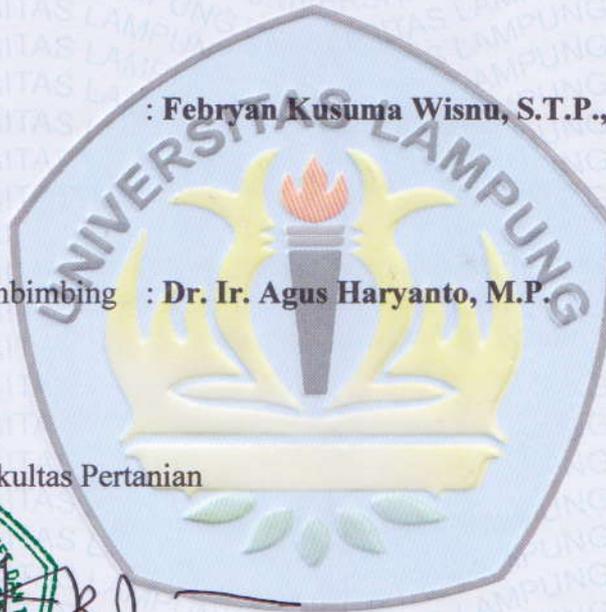
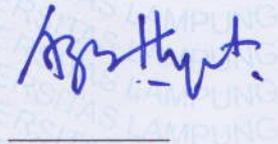
Ketua : **Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc**



Sekretaris : **Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 196110201986031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **19 Juli 2021**

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah Agung Wahyudi NPM 1714071044.

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) Dr. Mareli

Telaumbanua, S.TP., M.Sc. dan 2) Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.

Berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

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

Bandar Lampung, 09 Agustus 2021
Yang membuat pernyataan



Agung Wahyudi
NPM. 1714071044

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sidodadi, Desa Sidoasih, Kecamatan Ketapang, Kabupaten Lampung Selatan pada tanggal 17 Juli 1999, sebagai anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Alm. H. Hurjaman dan Ibu Asnah. Penulis menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Negeri Sidoasih pada tahun 2005-2011, Sekolah Menengah Pertama (SMP)

Negeri 3 Ketapang pada tahun 2011-2014, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Kalianda pada tahun 2014-2017. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa S1 Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2017 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) dan mendapatkan bantuan beasiswa Bidikmisi dari Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.

Pada tanggal 02 Januari hingga 10 Februari 2020, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode 1 Tahun 2020 selama 40 hari di Desa Pulau Pangung, Kecamatan Abung Tinggi, Kabupaten Lampung Utara. Sementara itu pada tanggal 01 Juli hingga 07 Agustus 2020, penulis telah melaksanakan Praktik Umum (PU) di Pusat Pelatihan Pertanian Pedesaan Swadaya (P4S) Bumi Alam Purba, Lampung Timur dengan judul “Pengaruh Pupuk Kimia Terhadap

Pertumbuhan Tanaman Bawang Merah (*Allium Ascalonicum L*) Di Pusat Pelatihan Pertanian Pedesaan Swadaya (P4S) Bumi Alam Purba, Lampung Timur”.

Selama menjadi mahasiswa, penulis menjadi Asisten Dosen Pengampu pada mata kuliah Fisika Dasar selama satu semester serta meraih pendanaan Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) skema PKMM pada tahun 2020. Dalam bidang organisasi kemahasiswaan, penulis aktif dalam Organisasi Kemahasiswaan internal kampus sebagai Anggota Bidang Pengabdian Masyarakat (Pengmas) Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) (Periode 2018-2019), Staff Ahli Kementerian Luar Negeri BEM U KBM Unila Kabinet Kontribusi Bersama Tahun 2019, Ketua Umum Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) periode 2020, serta Dewan Pembina Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) periode 2021. Penulis juga aktif dalam Organisasi Kemahasiswaan eksternal kampus yaitu menjadi Anggota Ikatan Mahasiswa Teknik Pertanian Indonesia (IMATETANI).

PERSEMBAHAN



*Kupersembahkan karya ini sebagai tanda cinta, kasih sayang,
dan rasa terima kasihku kepada: Kedua Orangtuaku (Bapak
Alm. H. Nurjman dan Ibu Atsnah) yang telah membesarkan
dan mendidikku dengan penuh perjuangan dan kasih sayang
serta selalu mendoakan yang terbaik untuk keberhasilan dan
kebahagiaanku. Kakakku (Nur Indah Sari) dan Adekku
(M. Arifin Ulham dan Nur Rahma Atsanah)
serta keluargabesaraku.*



مَنْ جَدَّ وَجَدَ

***“Barang siapa yang bersungguh-sungguh, maka ia akan
mendapatkan hasilnya ”***

***“Siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah
akan memudahkan baginya jalan menuju surga.”***

(HR. Muslim, no. 2699)

***“Tidak Ada Perjuangan Yang Mudah Tidak Ada Perjuangan
Yang Tidak Mungkin Berjuanglah Sampai Kita Lupa Kita Sedang
Berjuang”***

***”Belajar tanpa berpikir itu tidak ada gunanya, tapi berpikir tanpa
belajar itu sangatlah berbahaya.”***

-Bung Hatta-

***“Hiduplah seakan-akan kamu akan mati besok. Belajarlah seakan-
akan kamu akan hidup selamanya.”***

-Mahatma Gandhi-

SANWACANA

Alhamdulillah, puji dan syukur senantiasa penulis haturkan kehadirat Allah SWT, karena berkat limpahan rahmat, taufik, hidayah dan inayahnyalah serta nikmat kesehatan, nikmat keimanan dan nikmat kesempatan yang diberikan Allah kepada penulis hingga saat ini sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir perkuliahan dalam penyusunan Skripsi. Sholawat teriring salam tak lupa senantiasa penulis sanjung Agungkan kepada suri tauladan seluruh umat islam, murobi terbaik, pemimpin besar yang bijaksana yaitu Nabi Allah Muhammad SAW semoga kita semua diakui sebagai umatnya dan mendapatkan syafaatnya kelak di yaumul kiyamah, Aamiin. Skripsi yang berjudul "Pengaruh Suhu Terhadap Sifat Fisik *Biopellet* Torefaksi Lima Jenis Biomassa Limbah Pertanian" adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Universitas Lampung.

Penulis memehami benar dalam penulisan skripsi ini terdapat banyak kekurangan karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki, Peran serta dari beberapa pihak sangat membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;

2. Bapak Alm. H.Nurjaman dan Ibu Asnah selaku orang tua, Nur Indah Sari selaku kakak, M. Arifin Ilham dan Nur Rahma Hasanah selaku adek yang telah mencurahkan segala doa, kasih dan sayangnya kepada penulis;
3. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
4. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc., selaku Ketua Komisi Pembimbing (Pembimbing I) kesediaannya untuk meluangkan waktu, memberikan nasihat, kritik, dan saran selama proses penyusunan skripsi;
5. Bapak Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II, sekaligus selaku Pembimbing Akademik (PA) yang telah meluangkan waktu, memberikan nasihat, kritik, dan saran selama proses penyusunan skripsi;
6. Bapak Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P., selaku penguji atas kesediaannya untuk meluangkan waktu, memberikan nasihat, kritik, dan saran selama proses penyusunan skripsi;
7. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung atas segala ilmu yang diberikan baik dalam perkuliahan dan yang lainnya, dukungan, dan bantuan kepada penulis selama menuntut ilmu di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
8. Dhea Arsita selaku *partner* berproses;
9. Andika Rizki Aditya Erine Astaning Savitri, M. Ilham Dio Prayoga, Steffanus Adrian Wibowo W, Sugiono, Wahyu Arifiyanto, Willy Andreas S;

10. Teman seperjuangan sekaligus keluarga Teknik Pertanian Angkatan 2017;
11. Presidium Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) periode 2020 Agapetalia Indriyawati, Armadito Abilawa Cipta Aji, Mega Laskarwati dan Dewan Pembina Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) periode 2021 Angga Aji Pratama, Muhammad Pijar, Nasywa Maulida Hidayani;
12. Keluarga besar Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) dan pengurus PERMATEP 2020 atas dukungan dan semangatnya dalam menyelesaikan skripsi ini;
13. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu namanya, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

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

BandarLampung, 09 Agustus 2021
Penulis

Agung Wahyudi

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
1.5. Batasan Masalah.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Biomassa Limbah Pertanian	6
2.1.1. Batang Singkong.....	9
2.1.2. Bonggol Jagung	10
2.1.3. Rumput Gajah.....	12
2.1.4. Ampas Tebu.....	13
2.1.5. Jerami Padi.....	15
2.2. <i>Biopellet</i>	17
2.3. Torefaksi.....	19
III. METODE PENELITIAN	21
3.1. Waktu dan Tempat	21
3.2. Alat dan Bahan	21
3.2.1. Alat	21
3.2.1. Bahan	22
3.3. Rancangan Penelitian	22
3.4. Prosedur Penelitian.....	24
3.4.1. Persiapan Alat dan Bahan.....	26

3.4.2. Penggilingan Bahan	26
3.4.3. Pengeringan Bahan	27
3.4.4. Pengayakan Bahan	28
3.4.5. Pencetakan <i>Biopellet</i>	29
3.4.6. Pengujian <i>Biopellet</i>	30
3.4.7. Proses Torefaksi	31
3.5. Data Pengamatan	32
3.5.1. Kadar Air	32
3.5.2. Daya Serap Air	33
3.5.3. Uji Jatuh	33
3.5.4. Analisis Warna	34
3.5.5. Berat Jenis	35
3.5.6. <i>Hidrophobicity</i>	35
3.6. Analisis Data	36
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Kadar Air	37
4.2. Daya Serap Air	41
4.3. Uji Jatuh	50
4.4. Analisis Warna	53
4.5. Berat Jenis	56
4.6. <i>Hidrophobicity</i>	60
4.7. Perbandingan Kualitas <i>Biopellet</i>	65
V. KESIMPULAN	67
5.1. Kesimpulan	67
5.2. Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN	76

(Gambar 24-46)

(Tabel 18-27)

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Batang singkong.....	10
2. Bonggol jagung.....	11
3. Rumput gajah.....	13
4. Ampas tebu.....	14
5. Jerami padi.....	15
6. Bagan alir prosedur penelitian.....	25
7. Alat mesin pencacah multiguna.....	27
8. Alat <i>press hidrolis</i>	30
9. Alat <i>furnace</i>	32
10. Uji beda nyata terkecil (BNT) variasi suhu terhadap kadar air.....	40
11. Grafik daya serap air <i>biopellet</i> tanpa torefaksi.....	42
12. Grafik daya serap air <i>biopellet</i> torefaksi suhu 220 °C.....	43
13. Grafik daya serap air <i>biopellet</i> torefaksi suhu 240 °C.....	44
14. Grafik daya serap air <i>biopellet</i> torefaksi suhu 260 °C.....	45
15. Grafik daya serap air <i>biopellet</i> torefaksi suhu 280 °C.....	46
16. Uji beda nyata terkecil (BNT) variasi suhu terhadap daya serap air....	47
17. Uji beda nyata terkecil (BNT) variasi bahan terhadap daya serap air..	48
18. Uji beda nyata terkecil (BNT) variasi bahan terhadap uji jatuh.....	52
19. Uji beda nyata terkecil (BNT) variasi suhu terhadap berat jenis.....	58

20. Uji beda nyata terkecil (BNT) variasi bahan terhadap berat jenis	59
21. <i>Hidrophobicity</i> perlakuan tanpa torefaksi	60
22. <i>Hidrophobicity</i> perlakuan torefaksi suhu 220 °C	61
23. <i>Hidrophobicity</i> perlakuan torefaksi suhu 240 °C	62
24. <i>Hidrophobicity</i> perlakuan torefaksi suhu 260 °C	63
25. <i>Hidrophobicity</i> perlakuan torefaksi suhu 280 °C	63

Lampiran

26. Penggilingan bahan dengan alat mesin pencacah multiguna	117
27. Penghalusan bahan dengan <i>hammer mill</i>	117
28. Penjemuran bahan	118
29. Pengayakan bahan	118
30. Bahan yang sudah siap dicetak	119
31. Pencetakan <i>biopellet</i>	119
32. <i>Biopellet</i> yang sudah dicetak	120
33. <i>Biopellet</i> dibungkus dengan <i>aluminium foil</i> untuk ditorefaksi	120
34. <i>Biopellet</i> hasil torefaksi dengan suhu 220 °C	121
35. <i>Biopellet</i> hasil torefaksi dengan suhu 240 °C	121
36. <i>Biopellet</i> hasil torefaksi dengan suhu 260 °C	122
37. <i>Biopellet</i> hasil torefaksi dengan suhu 280 °C	122
38. Proses torefaksi <i>biopellet</i> dengan <i>Furnace</i>	123
39. Pengovenan uji kadar air <i>biopellet</i>	123
40. Daya serap air	124
41. Grafik perubahan bobot <i>biopellet</i> tanpa torefaksi pada uji daya serap air	124

42. Grafik perubahan bobot <i>biopellet</i> torefaksi suhu 220 °C pada uji daya serap air	125
43. Grafik perubahan bobot <i>biopellet</i> torefaksi suhu 240 °C pada uji daya serap air	125
44. Grafik perubahan bobot <i>biopellet</i> torefaksi suhu 260 °C pada uji daya serap air	126
45. Grafik perubahan bobot <i>biopellet</i> torefaksi suhu 280 °C pada uji daya serap air	126
46. Proses pengujian uji jatuh <i>biopellet</i>	127
47. Analisis warna <i>biopellet</i>	127
48. Pengukuran diameter <i>biopellet</i>	128
49. Pra penelitian suhu torefaksi	128

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik berbagai bahan bakar biomassa yang cocok dalam pembakaran di pembangkit	8
2. Standar <i>biopellet</i> biomassa dibeberapa	18
3. Mutu <i>biopellet</i> biomassa Standar Nasional Indonesia (SNI) 8675:2018	18
4. Perlakuan dalam penelitian	23
5. Kualitas <i>biopellet</i> beberapa negara	31
6. Kadar air <i>biopellet</i> torefaksi	37
7. Kadar air <i>biopellet</i> tanpa torefaksi	38
8. Uji Anova pengaruh interaksi suhu torefaksi dengan bahan <i>biopellet</i> terhadap kadar air	39
9. Uji Anova pengaruh interaksi suhu torefaksi dengan bahan <i>biopellet</i> terhadap daya serap air	46
10. <i>Durability biopellet</i> torefaksi	50
11. <i>Durability biopellet</i> tanpa torefaksi.....	51
12. Uji Anova pengaruh interaksi suhu torefaksi dengan bahan <i>biopellet</i> terhadap uji jatuh.....	51
13. Perubahan warna secara keseluruhan (ΔE^*) pada <i>biopellet</i> torefaksi..	53

14. Perubahan warna secara keseluruhan (ΔE^*) pada <i>biopellet</i> tanpa torefaksi.....	54
15. Uji Anova pengaruh interaksi suhu torefaksi dengan bahan <i>biopellet</i> terhadap uji warna	55
16. Berat jenis <i>biopellet</i> torefaksi.....	56
17. Berat jenis <i>biopellet</i> tanpa torefaksi	57
18. Uji Anova pengaruh interaksi suhu torefaksi dengan bahan <i>biopellet</i> terhadap berat jenis	57

Lampiran

19. Kadar air.....	77
20. Uji jatuh.....	80
21. Analisis Warna	83
22. Nilai sampel warna.....	85
23. Berat jenis.....	86
24. <i>Hidrophobicity biopellet</i> tanpa torefaksi.....	88
25. <i>Hidrophobicity biopellet</i> torefaksi suhu 220 °C.....	93
26. <i>Hidrophobicity biopellet</i> torefaksi suhu 240 °C	98
27. <i>Hidrophobicity biopellet</i> torefaksi suhu 260 °C.....	103
28. <i>Hidrophobicity biopellet</i> torefaksi suhu 280 °C	108

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan potensi energi terbarukan yang melimpah, namun potensi tersebut belum diolah secara optimal. Energi ini tidak akan pernah habis walaupun terus menerus digunakan. Beberapa sumber energi terbarukan dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan rumah tangga dan industri. Banyak sumber energi terbarukan yang dapat digunakan sebagai energi salah satunya energi biomassa.

Biomassa adalah bahan yang berasal dari makhluk hidup, termasuk tanaman, hewan, dan mikroba. Limbah yang berasal dari hewan maupun tumbuhan semuanya potensial untuk dikembangkan dan akan memberikan banyak keuntungan. Keuntungan yang pertama yaitu mampu meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan karena kandungan energi yang terdapat pada limbah cukup besar dan akan terbuang percuma jika tidak dimanfaatkan. Kedua, penghematan biaya, karena seringkali membuang limbah bisa lebih mahal dari pada memanfaatkannya. Ketiga, mengurangi keperluan akan tempat penimbunan sampah karena penyediaan tempat penimbunan akan menjadi lebih sulit dan mahal, khususnya di daerah perkotaan.

Energi biomassa yang banyak dikembangkan sebagai energi terbarukan yaitu energi biomassa limbah pertanian karena mudah diperoleh dan dapat diperbaharui. Penggunaan sumber energi biomassa limbah pertanian merupakan pilihan yang tepat, karena sebagian besar masyarakat Indonesia bertumpu pada sektor pertanian. Dari sektor pertanian diperoleh banyak jenis biomassa limbah pertanian, menurut Abdullah (2007), biomassa limbah pertanian yang potensial sebagai sumber energi alternatif antara lain limbah tanaman padi (jerami, sekam), limbah jagung (tongkol, batang, daun), limbah sawit (cangkang, serat, tandan kosong), kulit kacang tanah, *bagase* tebu, limbah kelapa (sabut, tempurung, daun) dan brangkas kedelai. Diantara limbah pertanian tersebut, biomasa jerami padi tersedia dalam jumlah cukup banyak dibanding dengan limbah pertanian lainnya.

Limbah pertanian mengandung bahan organik tinggi yaitu *selulosa*, *hemiselulosa*, dan *lignin* yang memiliki kadar energi. Tetapi ketersediaan biomassa limbah pertanian yang melimpah masih diperlukan perlakuan khusus, karena perbandingan kandungan energi yang dimiliki oleh biomassa limbah pertanian lebih kecil dari pada bahan bakar minyak. Rendahnya kandungan energi yang dimiliki oleh biomassa limbah pertanian mengharuskan penggunaan teknik pemanfaatan energi biomassa yang tepat.

Sejauh ini biomassa limbah pertanian belum dimanfaatkan secara optimal, biomassa masih dianggap sebagai limbah yang tidak mempunyai nilai ekonomi dan sering dimusnahkan dengan cara dibakar. Menurut Saptoadi (2006), penggunaan biomassa sebagai bahan bakar secara langsung terdapat kelemahan pada sifat fisiknya seperti kerapatan energi yang rendah dan permasalahan

penanganan, penyimpanan ataupun transportasi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat dengan cara menjadikan biomassa limbah pertanian dalam bentuk lebih praktis yaitu bentuk padat yang disebut *biopellet*.

Bahan bakar padat (*biopellet*) cukup efisien dan ramah lingkungan. *Biopellet* dapat pula berfungsi sebagai bahan bakar kompor pengganti minyak tanah atau gas. Adanya *biopellet* menjadi solusi untuk mengatasi kelangkaan bahan bakar terutama di pedesaan ataupun daerah pesisir. Dalam upaya memanfaatkan potensi biomassa limbah pertanian sebagai bahan bakar alternatif ramah lingkungan, perlu ditingkatkan kualitas produksi *biopellet* agar dihasilkan bahan bakar biomassa dengan performa pembakaran yang optimal.

Kelemahan *biopellet* ialah kepadatan energi yang rendah, nilai kalor yang rendah dan kadar air yang tinggi. Oleh karena itu diperlukan metode *thermal* untuk meningkatkan kualitas *biopellet* biomassa, salah satu metode *thermal* yang digunakan untuk mengatasi kelemahan *biopellet* ialah torefaksi. Torefaksi adalah pemanasan biomassa secara perlahan dengan kisaran suhu 200 – 300 °C yang dilakukan dengan kondisi sedikit atau tanpa oksigen (Syamsiro, 2016). *Biopellet* yang telah ditorefaksi akan menghasilkan *black pellet*.

Berdasarkan uraian diatas, pembuatan *biopellet* dengan uji torefaksi diharapkan mampu menjadi solusi keterbatasan energi, dengan memanfaatkan biomassa limbah pertanian. Peneliti menggunakan lima biomassa limbah pertanian antara lain batang singkong, bonggol jagung, rumput gajah, ampas tebu, dan jerami padi untuk membuat *biopellet*, dikarenakan sesuai dengan pernyataan Abdullah (2007), lima bahan tersebut termasuk kedalam biomassa limbah pertanian yang potensial

sebagai sumber energi alternatif dan lima bahan tersebut memiliki kandungan *lignin*, *selulosa*, dan *hemiselulosa* yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan menjadi *biopellet*. Oleh karena itu diperlukan penelitian pengaruh suhu terhadap sifat fisik *biopellet* torefaksi dari lima biomassa limbah pertanian.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jenis biomassa terhadap sifat fisik *biopellet* dari proses torefaksi?
2. Bagaimana pengaruh suhu torefaksi terhadap *biopellet* dari lima biomassa limbah pertanian?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui sifat fisik *biopellet* dari lima biomassa limbah pertanian meliputi kadar air, daya serap air, uji jatuh, analisis warna, berat jenis dan *hidrophobicity*.
2. Mengetahui pengaruh suhu torefaksi terhadap sifat fisik *biopellet* dari lima biomassa limbah pertanian meliputi kadar air, daya serap air, uji jatuh, analisis warna, berat jenis dan *hidrophobicity*.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari melakukan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kualitas *biopellet* yang terbaik dari berbagai biomassa dan sesudah atau sebelum proses torefaksi.
2. Sebagai sumber informasi bagi masyarakat untuk mengelola biomassa limbah pertanian menjadi sumber energi terbarukan.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bahan yang digunakan dalam pembuatan *biopellet* berupa limbah biomassa pertanian yaitu batang singkong, bonggol jagung, rumput gajah, ampas tebu dan jerami padi.
2. Alat yang digunakan untuk mengempa bahan menjadi *biopellet* yaitu alat *press* hidrolik.
3. Suhu torefaksi yang digunakan yaitu 220 °C, 240 °C, 260 °C, 280 °C dengan waktu 20 menit.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biomassa Limbah Pertanian

Biomassa terbentuk dari makhluk hidup seperti tanaman dan hewan, atau apapun yang hidup atau baru saja mati. Tidak seperti bahan bakar fosil, biomassa tidak membutuhkan jutaan tahun untuk dapat digunakan. Tanaman menggunakan cahaya matahari melalui fotosintesis untuk memproses karbon dioksida di atmosfer dan air untuk tumbuh. Hewan kemudian tumbuh dengan menerima energi dari bahan biomassa. Berbeda dari bahan bakar fosil, biomassa dapat bereproduksi, dan karena alasan inilah biomassa dikategorikan sebagai energi terbarukan. Sifatnya yang mudah diperbaharui inilah juga yang membuat banyak orang tertarik untuk menggunakannya sebagai sumber energi (Basu, 2013).

Biomassa merupakan bahan-bahan organik berumur relatif muda dan berasal dari tumbuhan, hewan, produk dan limbah industri budidaya (pertanian, perkebunan, kehutanan, peternakan, perikanan). Unsur utama dari biomassa adalah bermacam-macam zat kimia (molekul) yang sebagian besar mengandung atom karbon (C).

Biomassa secara garis besar tersusun dari *selulosa* dan *lignin* (sering disebut *lignin selulosa*). Komposisi elementer biomassa bebas abu dan bebas air kira-kira 53% massa karbon, 6% hidrogen dan 42% oksigen, serta sedikit nitrogen, fosfor

dan belerang (biasanya masing-masing kurang dari 1%). Kadar abu kayu biasanya kurang dari 1% (Supriyanto dan Merry, 2010).

Biomassa memiliki kandungan bahan volatil tinggi namun kadar karbon rendah. Kadar abu biomassa tergantung dari jenis bahannya, sementara nilai kalornya tergolong sedang. Tingginya kandungan senyawa volatil dalam biomassa menyebabkan pembakaran dapat dimulai pada suhu rendah. Proses devolatisasi pada suhu rendah ini mengindikasikan bahwa biomassa mudah dinyalakan dan terbakar (Jamilatun, 2008).

Biomassa bersifat mudah didapatkan, ramah lingkungan dan terbarukan. Secara umum potensi energi biomassa berasal dari limbah tujuh komoditif yang berasal dari sektor kehutanan, perkebunan dan pertanian. Potensi limbah biomassa terbesar adalah dari limbah kayu hutan, kemudian diikuti oleh limbah padi, jagung, ubi kayu, kelapa, kelapa sawit dan tebu. Secara keseluruhan potensi energi limbah biomassa Indonesia diperkirakan sebesar 49.807,43 MW. Dari jumlah tersebut, kapasitas terpasang hanya sekitar 178 MW atau 0,36% dari potensi yang ada (Agustina, 2004).

Limbah pertanian mengandung banyak bahan *lignoselulosa* yang bisa didegradasi oleh *selulase*. Bahan *lignoselulosa* merupakan komponen organik berlimpah di alam, yang terdiri dari tiga polimer yaitu *selulosa*, *hemiselulosa* dan *lignin*. Komponen terbesar adalah *selulosa* (35-50%), *hemiselulosa* (20-35%) dan *lignin* (10-25%) (Saha, 2004).

Biomassa didefinisikan sebagai produk organik dari pertanian dan kehutanan yang dikembangkan untuk pasokan makanan, bahan bakar, dan bahan organik dari limbah dan fasilitas pengolahan limbah. Biomassa merupakan sumber energi terbarukan terbesar secara global dan ekonomis dalam porsi yang signifikan (biasanya 20-40%) dari total konsumsi energi di negara berkembang (Pratama et al., 2017). Biomassa ini dapat menggantikan penggunaan batubara di pembangkit listrik, dan dapat mengurangi emisi karbon dan efek rumah kaca (Panwar et al., 2011). Berikut ini karakteristik bahan bakar biomassa dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik berbagai bahan bakar biomassa yang cocok dalam pembakaran di pembangkit

Parameter	Kayu	Pelet kayu	Pelet torefaksi	Arang	Batubara
Kadar air (%)	30 – 45	7 – 10	1 – 5	1 – 5	10 – 15
Nilai kalor terendah (MJ/kg)	9 – 12	15 – 18	20 – 24	30 – 32	23 – 28
Kadar zat terbang	70 – 75	70 – 75	55 – 65	10 – 12	15 – 30
Karbon terikat (%)	20 – 25	20 – 25	28 – 35	85 – 87	50 – 55
Kepadatan (g/cm ³)	2,0 – 2,5	5,5 – 7,0	7,5 – 8,5	~ 2,0	8,0 – 8,5
Kepadatan energy (curah) (GJ/m ³)	2,0 – 3,0	7,5 – 10,4	15,0 – 18,7	6 – 6,4	18,4 – 23,8
Debu	Sedang	Terbatas	Terbatas	Tinggi	Terbatas
Sifat hidroskopis	Hidrofilik	Hidrofilik	Hidrofobik	Hidrofobik	Hidrofobik
Degradasi biologis	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Tidak
Kemampuan digiling	Buruk	Buru	Baik	Baik	Baik
Penanganan	Khusus	Khusus	Baik	Baik	Baik
Variabilitas kualitas	Tinggi	Terbatas	Terbatas	Terbatas	Terbatas

Sumber: (Sidabutar, 2017).

2.1.1. Batang Singkong

Limbah batang singkong hanya ditumpuk dan dibakar karena hanya menjadi sarang tikus sehingga bisa menyerang tanaman pertanian lainnya. Batang singkong selain sebagai limbah yang hanya dibuang dan dibakar saja, juga diketahui memiliki manfaat yang bernilai tambah seperti untuk pembuatan pakan ternak, papan serat, pupuk, briket dan lain sebagainya. Diketahui nilai kandungan dari batang singkong memiliki kandungan *selulosa* dengan struktur seperti yang terdapat pada kayu. Batang singkong mengandung 21,5% *selulosa*, 12% *hemiselulosa*, dan 23% *lignin* (Sumada et al., 2011).

Menurut data BPS Lampung (2017), produksi singkong yang dihasilkan Provinsi Lampung sebesar 8,45 juta ton, setara dengan share sebesar 35,33% untuk produksi keseluruhan Republik ini. Dengan jarak tanam 1 x 1 meter akan dihasilkan 10.000 tanaman tiap hektarnya, artinya akan dihasilkan 10.000 batang singkong pada saat panen. Jika 1 batang setelah dipotong untuk bibit rata-rata berbobot 0,4 kg, maka akan dihasilkan 4 ton limbah batang singkong/hektar. Di Provinsi Lampung luas lahan singkong mencapai 342.100 ha (BPS Lampung, 2017), artinya secara umum di Lampung akan dihasilkan limbah biomassa batang singkong sebanyak 1.368,4 ton/tahun (Asmara dkk, 2019).

Limbah batang singkong merupakan bahan buangan berbentuk materi padatan (*bulky waste*) yang dihasilkan dari kegiatan budidaya tanaman singkong di lahan pertanian (Hilloks et al., 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 penyalanya lebih sulit daripada biomassa lainnya (Howeler, 2012).



Gambar 1. Batang singkong

Limbah batang singkong memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku dalam produksi bahan bakar karena kandungan *lignoselulosa* dan non-toksitasnya (Sivamani et al., 2018). Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan untuk memanfaatkan limbah batang singkong sebagai bahan baku produksi bahan bakar. (Ikelle et al., 2017), telah mencoba memanfaatkan campuran limbah batang singkong dan batubara yang dikarbonisasi pada suhu 160 °C sebagai bahan baku pembuatan briket bio-batubara.

2.1.2. Bonggol Jagung

Bonggol jagung memiliki penyusun utama berupa *lignin*, *selulosa* dan *hemiselulosa*. Kandungan *lignin* pada bonggol jagung sebesar 20,3 %,

hemiselulosa 31,7 % dan *selulosa* 34,7 % . Kebanyakan bonggol jagung ini dibakar atau langsung dibuang sehingga menjadi salah satu sumber sampah dan mencemari lingkungan (J.M dan J.C, 2000).



Gambar 2. Bonggol jagung

Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2019 produksi jagung di Indonesia mencapai 19.612.435 ton sehingga dipastikan akan menghasilkan limbah jagung dalam jumlah yang sangat besar. Diperkirakan limbah bonggol jagung yang dihasilkan di Indonesia sekitar 5,7 juta ton/tahun. Sebagian besar limbah bonggol jagung tidak dimanfaatkan, hanya dibuang dan dibakar sehingga dapat menimbulkan masalah polusi, efek rumah kaca dan pemanasan global. Dengan melihat limbah yang tak dimanfaatkan tersebut, maka peluang pemanfaatan limbah untuk dijadikan energi semakin besar.

Berdasarkan penelitian Anita Handayani et al., (2020), bonggol jagung memiliki kandungan serat kasar yang tinggi yaitu 33%, dengan kandungan *selulosa* sekitar 44,9%, kandungan *lignin* 33,3%, sehingga memungkinkan bonggol jagung dijadikan briket atau mini coal sebagai energi alternatif . Bahan bakar alternatif ini memiliki kelebihan dibandingkan arang-arang yang lainnya.

Pada penelitian yang pernah dilakukan oleh Hadi (2019), bonggol jagung yang termasuk biomassa mengandung *lignoselulosa* dan sangat dimungkinkan untuk dimanfaatkan menjadi bioetanol karena memiliki kandungan *selulosa* yang cukup banyak. Karakteristik kimia dan fisika dari bonggol jagung sangat cocok untuk pembuatan tenaga alternatif (bioetanol), kadar senyawa kompleks *lignin* dalam bonggol jagung adalah 6,7-13,9%, untuk *hemiselulose* 39,8%, dan *selulose* 32,3-45,6%.

2.1.3. Rumput Gajah

Rumput gajah tumbuh tegak menyerupai tebu dan dapat tumbuh mencapai 2-5 m, mudah berkembang biak, berdaun lebar, tipis dan mempunyai tulang daun.

Rumput gajah mempunyai batang bulat berkayu dan berbuku-buku dimana dari buku tersebut nantinya akan keluar tunas baru yang kemudian yang akan menjadi batang baru. Diameter batang dapat mencapai lebih dari 3 cm dan terdiri sampai 20 ruas/buku (Rahayu, 2001). Kandungan nutrient rumput gajah terdiri atas: bahan kering (BK) 19,9%; protein kasar (PK) 10,2%; lemak kasar (LK) 1,6%; serat kasar (SK) 34,2%; abu 11,7%; dan bahan ekstrak tanpa nitrogen (BETN) 42,3% (Rukmana, 2005).



Gambar 3. Rumput gajah

Ni Ketut (2009), dalam penelitiannya tentang bioethanol rumput gajah mengatakan tumbuhan yang mengandung glukosa, pati dan selulosa, salah satunya adalah batang rumput gajah. Batang rumput gajah tidak banyak dimanfaatkan oleh masyarakat dan dapat diperoleh secara *kontinyu*. Hasil kadar terbaik bioethanol didapatkan 27,71% dengan berat bahan baku 200 gram, campuran HCl 20 ml, lama fermentasi 6 hari dan berat ragi 10 gram.

2.1.4. Ampas Tebu

Ampas tebu, atau yang biasa disebut *bagasse*, adalah produk sampingan dari proses mengekstraksi (memerah) cairan tebu. Sekitar 35-40% dari massa tebu diproduksi di satu ampas tebu. Referensi ditambahkan berdasarkan data dari Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI), ampas tebu menghasilkan 32% dari berat tebu. Kandungan utama ampas tebu ialah *lignoselulosa*. Panjang serat dari 1,7 hingga 2 mm dengan diameter sekitar 20 mikron. *Bagasse* mengandung 48 - 52% air, gula rata-rata 3,3%, dan serat rata-rata 47,7%. Serat

ampas tebu tidak larut dalam air dan kebanyakan terdiri dari *lignin*, *selulosa* dan *pentosan* (Rulianah dan Irfin, 2017).



Gambar 4. Ampas tebu

Menurut data Kementerian Pertanian pada tahun 2014 hasil perkebunan tebu dapat mencapai 2.943.897 ton/tahun dengan total luas area 449.873 hektar yang tersebar diseluruh Indonesia. Pemanfaatan tebu selama ini mayoritas digunakan sebagai bahan baku industri gula dan minuman namun pemanfaatan akan limbahnya yaitu ampas tebu masih jarang sekali. Limbah ampas tebu dapat mencapai 35-40% per berat tebu yang digiling. Dalam satu ton tebu dapat menghasilkan berat ampas tebu sebesar 350-400 kg. Komposisi kimia ampas tebu meliputi: air (H_2O) 50%, zat arang dan karbon (C) 23,7%, oksigen (O) 20%, gula 3% dan hidrogen (H) 2%. Komponen penyusun ampas tebu yaitu *selulosa* 35,2%, *hemiselulosa* 23,2%, *lignin* 20%, abu 1,6%, dan air 20% (Stefanus dan Malita, 2016).

Ampas tebu adalah limbah yang memiliki banyak kegunaan pemanfaatan yang sangat sangat potensial. Ampas tebu adalah limbah selulosa yang berpotensi

digunakan. Selain yang disebutkan di atas, yaitu untuk memberi makan ternak, bahan baku untuk produksi pupuk, *pulp*, kompor parsial dan untuk bahan bakar boiler di pabrik gula, ada banyak kegunaan lainnya (Misran, 2005).

2.1.5. Jerami Padi

Jerami adalah hasil samping usaha pertanian berupa tangkai dan batang tanaman serealia yang telah kering, setelah biji-bijiannya dipisahkan. Massa jerami kurang lebih setara dengan massa biji-bijian yang dipanen. Jerami memiliki banyak fungsi, di antaranya sebagai bahan bakar, pakan ternak, alas atau lantai kandang, pengemas bahan pertanian (misal telur), bahan bangunan (atap, dinding, lantai), mulsa, dan kerajinan tangan. Jerami umumnya dikumpulkan dalam bentuk gulungan, diikat, maupun ditekan. Mesin *press baler* dapat membentuk jerami menjadi gulungan maupun kotak. Jerami padi adalah bagian batang tumbuh yang setelah dipanen bulir-bulir buah bersama atau tidak dengan tangkainya dikurangi dengan akar dan bagian batang yang tertinggal setelah disabit. Jerami padi memiliki beberapa kelemahan antara lain, kandungan serat kasar yang tinggi, kurang palatabel, dan sifat amba yang tinggi (Widodo et al., 2012).



Gambar 5. Jerami padi

Berdasarkan data BPS jumlah produksi padi nasional tahun 2016 sebesar 79,14 juta ton meningkat 4,97% dari produksi padi tahun 2015 dengan besar 75,36 juta ton yang akan menghasilkan limbah jerami padi sebesar 40-50 juta ton pertahun. Adanya peningkatan jumlah produksi padi tersebut akan berdampak pada peningkatan produksi jerami padi nasional yang diperkirakan setiap tahunnya meningkat antara 8-11%. Dengan peningkatan jumlah jerami padi akan berdampak pada meningkatnya jumlah limbah pertanian dan pencemaran lingkungan akibat pembakaran jerami padi tersebut. Selama ini limbah jerami padi hanya dibakar didaerah persawahan dan kurang pemanfaatannya, hal ini dikarenakan sifatnya tersebar diberbagai tempat sehingga berakibat pada mahalnya biaya pengumpulan dan pengangkutan/transportasi (Rhofita, 2016).

Jerami padi merupakan biomassa yang secara kimia merupakan senyawa *berlignoselulosa*. Komponen terbesar penyusun jerami padi adalah *selulosa* (35-50%), *hemiselulosa* (20-35%) dan *lignin* (10-25%) dan zat lain penyusun jerami padi. *Selulosa* dan *hemiselulosa* merupakan senyawa yang bernilai ekonomis jika dikonversi menjadi gula-gula sederhana. Gula-gula hasil konversi tersebut selanjutnya dapat difermentasi untuk menghasilkan produk-produk bioteknologi seperti bioetanol, asam glutamat, asam sitrat dan lainnya (Saha, 2004).

Selama ini limbah jerami tidak banyak dimanfaatkan oleh masyarakat. Jerami padi dimusnahkan dengan cara dibuang atau dibakar langsung di ladang. Padahal jerami padi dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk mensubstitusi energi fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Jerami padi dapat dirubah

menjadi energi dengan beberapa teknik yang berbeda seperti pembakaran langsung, gasifikasi dan pirolisis (Liu et al., 2013).

2.2. *Biopellet*

Biopellet merupakan bahan bakar padat hasil pengempaan biomassa yang berbentuk silinder dan memiliki panjang 6–25 mm dengan diameter 12 mm dan dapat digunakan sebagai energi alternatif. Di beberapa negara seperti Jerman dan Austria, *biopellet* telah dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif yang berasal dari serpihan kayu. *Biopellet* adalah hasil kompresi biomassa dengan tekanan lebih tinggi dari briket, yaitu 650 kg/m^3 berbanding 60 kg/m^3 . *Biopellet* yang memiliki kadar air rendah dapat meningkatkan efektivitas pembakaran (Mustamu et al., 2018).

Biopellet memiliki karakteristik yang berbeda tergantung pada bahan yang dibuat, sebagian besar *biopellet* untuk bahan bakar menggunakan zat organik atau biomassa. Keuntungan utama menggunakan bahan bakar pelet biomassa adalah penggunaan kembali bahan limbah yang baru saja dibuang. Keuntungan dari *biopellet* adalah nilai kalori yang lebih tinggi dan proses pemindahan (transportasi) yang lebih mudah dari satu tempat ke tempat lain karena keseragaman ukurannya (S. Winaya et al., 2010).

Biopellet biomassa merupakan salah satu produk yang dikembangkan sebagai alternatif sumber energi baru yang digunakan sebagai bahan bakar. *Biopellet* dapat digunakan sebagai bahan bakar kebutuhan rumah tangga, pertanian, dan industri besar. Bahkan juga bisa untuk industri pembangkit tenaga (Kementerian

Kehutanan Republik Indonesia, 2010). Standar *biopellet* biomassa pada berbagai negara dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Standar *biopellet* biomassa di beberapa

Parameter	Unit	Austria	Jerman	Swedia	South Korea
Kadar air	%	<10	<12	<10	≤10
Kadar abu	%	<0,50	<1,50	<0,7	≤0,7
Nilai kalor	MJ/kg	>18	17,5-19,5	<19,08	≥18,0

Sumber : (Satmoko et al., 2013).

Karakterisasi bisa menjadi parameter dalam penilaian pembuatan pelet sebagai penentu kualitas pelet tersebut. Menurut Satmoko et al. (2013), penentuan karakterisasi dapat ditentukan dengan hasil pengujian nilai kalor, hasil pengujian kadar abu dimana kandungan kadar abu diantaranya adalah lempung, silika dan kalsium. Abu merupakan bagian yang tersisa dari proses pembakaran yang sudah tidak memiliki unsur karbon lagi. Penentuan karakterisasi dapat dinilai dengan perlakuan terhadap benda seperti kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, karbon terikat, kerapatan, kuat tekan, dan nilai kalor (Wibowo et al., 2016). Mutu *biopellet* biomassa dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Mutu *biopellet* biomassa Standar Nasional Indonesia (SNI) 8675:2018

Parameter Uji	Satuan, Min/Maks	Rumah Tangga	Industri
Kadar air	(%) Maks	10	12
Kadar zat terbang	(%) Maks	75	80
Kadar abu	(%) Maks	5	5
Kadar karbon terikat	(%) Min	14	14
Kerapatan	(g/cm ³) Min	0,6	0,8
Nilai kalor	(MJ/kg) Min	16,5	16,5

Sumber : (Badan Standardisasi Nasional, 2018).

Proses pembuatan *biopellet* dibagi menjadi dua tahap, yaitu pengolahan pendahuluan meliputi pencacahan, pengeringan, dan penggilingan. Pembuatan *biopellet* meliputi pencetakan, pendinginan, dan pengeringan. Tujuan dalam bentuk *biopellet* adalah untuk meringkas volume bahan, sehingga mudah dalam proses pemindahan, dan menurunkan biaya pengangkutan (Zamirza, 2009).

2.3. Torefaksi

Torefaksi merupakan suatu proses konversi (pengubahan) biomassa menjadi bahan bakar padat yang lebih bersih. Proses torefaksi biomassa secara perlahan diberi kalor atau dipanaskan pada temperatur 200-300 °C dengan waktu tertentu. Produk torefaksi akan lebih mudah dikecilkan ukurannya sehingga konsumsi energi untuk mengecilkan ukuran semakin menurun (Chen dan Kuo, 2011).

Torefaksi merupakan proses perlakuan panas pada temperatur sekitar 200-320 tekanan atmosfer tanpa kehadiran oksigen. Torefaksi pada biomassa berhasil memperbaiki karakteristik biomassa sebagai bahan bakar, yang ditandai dengan meningkatnya nilai kalor, densitas energi yang tinggi, kandungan air yang rendah, dan hidrofobia (Chen dan Kuo, 2011).

Proses torefaksi dapat dilakukan pada berbagai macam biomassa seperti jerami, kayu, bambu, limbah kelapa sawit dan biomassa jenis lainnya. Kualitas dari produk biomassa torefaksi sangat ditentukan oleh karakteristik biomassa, temperatur dan lama proses torefaksi. Lama proses torefaksi yang dilakukan dapat menyebabkan komponen-komponen energi hilang, sehingga kandungan

energi akan menurun sebaiknya proses torefaksi tidak dilakukan dalam waktu yang lama (Irawan et al., 2015).

Pada proses torefaksi kandungan *hemiselulosa*, *selulosa*, dan *lignin* pada *biopellet* biomassa dapat terdegradasi seiring dengan peningkatan suhu yang diberikan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Harun et al. (2017), menyatakan bahwa *selulosa* dan *hemiselulosa* dapat terdegradasi pada suhu 300°C dibandingkan dengan suhu yang lebih rendah yaitu 240°C, sehingga pada suhu 300°C kehilangan berat massa biomassa lebih tinggi. Kehilangan kandungan tersebut menyebabkan berat biomassa menurun dan sifat hidrofobik pada biomassa semakin tinggi.

Menurut Syamsiro (2016), perlakuan panas pada suhu tinggi mampu menurunkan *hemiselulosa* dan melunakkan *lignin*, yang menyebabkan pengurangan massa. Proses torefaksi adalah salah satu teknologi maju dari beberapa metode lainnya. Biomassa yang ditorefaksi kualitasnya hampir mendekati batubara, dan dalam beberapa hal mengunggulinya yaitu :

1. Kadar air dan abu yang lebih rendah;
2. Tidak adanya kotoran berbahaya, terutama belerang;
3. Mengurangi dampak ekologis total terhadap lingkungan.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari 2021 sampai dengan Mei 2021 di Laboratorium Daya, Alat, dan Mesin Pertanian (DAMP), dan Laboratorium Rekayasa Sumberdaya Air dan Lahan (RSDAL), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. Alat mesin pencacah multiguna, digunakan untuk menggiling bahan biomassa limbah pertanian yang diperkecil ukurannya dengan dirajang dan dicacah menjadi serbuk/butiran kasar.
2. *Hammer mill*, digunakan untuk menggiling bahan menjadi partikel serbuk/butiran halus atau tepung.
3. Alat *press hidrolis*, digunakan untuk mengempa bahan baku menjadi *biopellet*.
4. Ayakan, digunakan untuk memisahkan bahan berdasarkan ukuran lubang kawat yang terdapat pada ayakan.

5. Timbangan digital, digunakan untuk menimbang bahan baku dan *biopellet* ketika akan diuji sifat fisik.
6. *Furnace*, alat yang digunakan pada proses torefaksi.
7. Oven, digunakan pada saat uji kadar air.
8. *Colorimeter*, digunakan untuk mengukur pada analisis warna *biopellet*.
9. *Roll-meter*, digunakan untuk mengukur ketinggian saat uji jatuh.
10. Jangka sorong, digunakan untuk mengukur tinggi dan diameter *biopellet*.
11. Cawan, digunakan sebagai wadah *biopellet* pada saat pengujian sifat fisik.
12. *Aluminium foil*, digunakan untuk membungkus *biopellet* ketika torefaksi
13. Gelas cup, digunakan untuk merendam *biopellet* saat uji *hydrophobicity*.

3.2.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biomassa limbah pertanian antara lain batang singkong, bonggol jagung, rumput gajah, ampas tebu dan jerami padi. Bahan-bahan diperoleh dari beberapa kebun petani yang sudah tidak digunakan lagi. Biomassa limbah pertanian lalu dibersihkan dari kotoran, kemudian disortasi agar siap digunakan sebagai bahan baku pembuatan *biopellet*.

3.3. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan di penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial. Penelitian ini menggunakan 2 faktor yaitu sebagai berikut :

1. Faktor pertama adalah suhu torefaksi yang digunakan dilambangkan dengan huruf "T" terdiri dari 4 taraf yaitu :

- a. Tanpa torefaksi (T0)
 - b. Suhu 220 °C (T1)
 - c. Suhu 240 °C (T2)
 - d. Suhu 260 °C (T3)
 - e. Suhu 280 °C (T4)
2. Faktor kedua adalah jenis biomassa yang digunakan sebagai bahan *biopellet*, dilambangkan dengan huruf “V” terdiri dari 5 taraf yaitu :
- a. Batang singkong (V1)
 - b. Bonggol jagung (V2)
 - c. Rumput gajah (V3)
 - d. Ampas tebu (V4)
 - e. Jerami padi (V5)

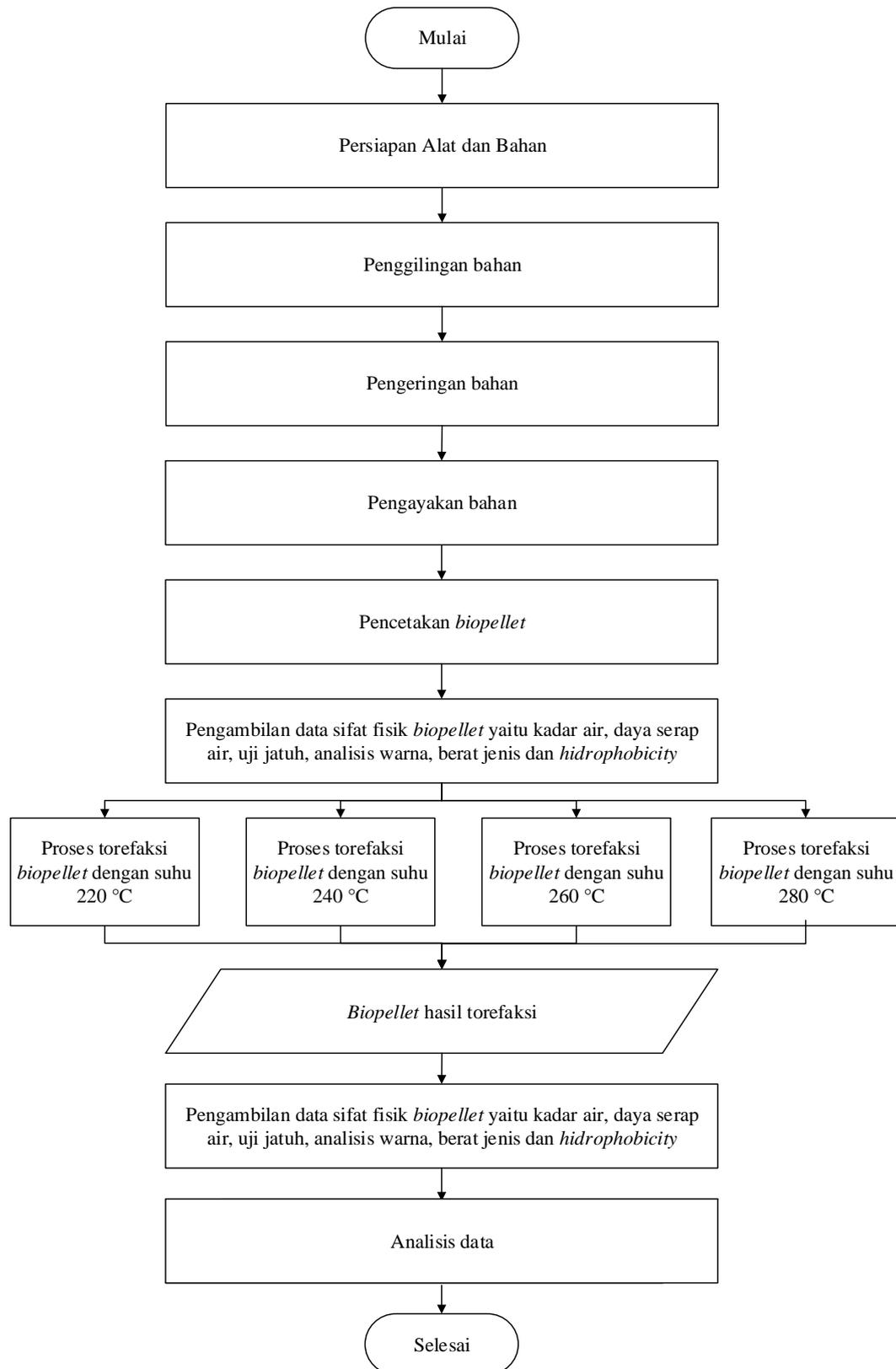
Tabel 4. Perlakuan dalam penelitian

Perlakuan	Ulangan Ke-1	Ulangan Ke-2	Ulangan Ke-3
T0V1	T0V1U1	T0V1U2	T0V1U3
T0V2	T0V2U1	T0V2U2	T0V2U3
T0V3	T0V3U1	T0V3U2	T0V3U3
T0V4	T0V4U1	T0V4U2	T0V4U3
T0V5	T0V5U1	T0V5U2	T0V5U3
T1V1	T1V1U1	T1V1U2	T1V1U3
T1V2	T1V2U1	T1V2U2	T1V2U3
T1V3	T1V3U1	T1V3U2	T1V3U3
T1V4	T1V4U1	T1V4U2	T1V4U3
T1V5	T1V5U1	T1V5U2	T1V5U3
T2V1	T2V1U1	T2V1U2	T2V1U3
T2V2	T2V2U1	T2V2U2	T2V2U3
T2V3	T2V3U1	T2V3U2	T2V3U3
T2V4	T2V4U1	T2V4U2	T2V4U3
T2V5	T2V5U1	T2V5U2	T2V5U3

T3V1	T3V1U1	T3V1U2	T3V1U3
T3V2	T3V2U1	T3V2U2	T3V2U3
T3V3	T3V3U1	T3V3U2	T3V3U3
T3V4	T3V4U1	T3V4U2	T3V4U3
T3V4	T3V4U1	T3V4U2	T3V4U3
T3V5	T3V5U1	T3V5U2	T3V5U3
T4V1	T4V1U1	T4V1U2	T4V1U3
T4V2	T4V2U1	T4V2U2	T4V2U3
T4V3	T4V2U1	T4V2U2	T4V2U3
T4V4	T4V4U1	T4V4U2	T4V4U3
T4V5	T4V5U1	T4V5U2	T4V5U3

3.4. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian pengaruh suhu terhadap sifat fisik *biopellet* torefaksi dari berbagai biomassa ini dapat dilihat pada Gambar 6. Dalam proses pelaksanaan penelitian ini ada beberapa proses yang dilalui dimulai dari persiapan alat dan bahan hingga analisis data, berikut ini menunjukkan langkah-langkah prosedur penelitian ini.



Gambar 6. Bagan alir prosedur penelitian

3.4.1. Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum melakukan penelitian ini, alat dan bahan dipersiapkan terlebih dahulu.

Alat yang perlu dipersiapkan adalah alat *press hidrolis*, alat mesin pencacah multiguna, *hammer mill*, ayakan, timbangan digital, cawan, oven, *furnace*, *colorimeter*, *roll-meter*, jangka sorong, *aluminium foil*, gelas cup dan alat tulis.

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

Selain alat, bahan juga perlu disiapkan dan dikumpulkan yaitu biomassa limbah pertanian antara lain batang singkong, bonggol jagung, rumput gajah, ampas tebu dan jerami padi. Bahan-bahan diperoleh dari beberapa kebun petani yang sudah tidak digunakan lagi. Biomassa limbah pertanian lalu dibersihkan dari kotoran, kemudian disortasi agar siap dilanjutkan keproses penggilingan.

3.4.2. Penggilingan Bahan

Proses penggilingan merupakan pra-proses dalam pengolahan agar didapatkan bahan yang siap untuk diolah. Penggilingan memiliki tujuan yang sangat penting, hal ini dilakukan untuk mengurangi ukuran partikel suatu bahan. Penggilingan dikatakan optimal jika mampu menggiling bahan dengan konsumsi energi yang rendah.

Bahan baku utama pada penelitian ini yaitu biomassa limbah pertanian antara lain batang singkong, bonggol jagung, rumput gajah, ampas tebu dan jerami padi.

Sebelum digiling atau diperkecil ukurannya bahan baku dibersihkan dari kotoran yang menempel. Selanjutnya, biomassa limbah pertanian diperkecil ukurannya dengan dirajang dan dicacah dengan alat mesin pencacah multiguna menjadi serbuk/butiran kasar, lalu agar menjadi partikel serbuk/butiran halus atau tepung digunakan *hammer mill* untuk menghaluskan bahan.



Gambar 7. Alat mesin pencacah multiguna

3.4.3. Pengeringan Bahan

Pada proses pengolahan *biopellet*, pengeringan merupakan salah satu tahap yang sangat penting untuk menghasilkan kualitas bahan bakar biomassa yang baik.

Pengeringan tersebut bertujuan untuk mengurangi kandungan air yang terdapat di dalam biomassa dan meningkatkan nilai kalor dari biomassa tersebut (Zikri et al., 2015). Menurut penelitian yang telah dilakukan Junaidi et al. (2017), proses

pengeringan bahan baku dalam pembuatan *biopellet* dilakukan menggunakan sinar matahari sebelum diolah menjadi *biopellet*. Dalam penelitian tersebut terdapat kelemahan, dimana pengeringan dengan sinar matahari membutuhkan waktu yang tidak pasti karena tergantung pada keadaan cuaca dan memerlukan area yang cukup luas untuk pengeringan yang merata.

Pengeringan bahan baku berupa serbuk/butiran kasar dan halus biomassa limbah pertanian dapat dilakukan dengan cara penjemuran di bawah sinar matahari hingga mencapai kadar air berkisar antara 8-10% atau selama 3 hingga 4 hari dalam kondisi cuaca yang cerah. Untuk menghindari penyerapan air kembali dari udara oleh serbuk/butiran kasar biomassa limbah pertanian, maka serbuk/butiran halus biomassa limbah pertanian dikemas dalam kantong plastik.

3.4.4. Pengayakan Bahan

Menurut Fellows (1990), pengayakan adalah suatu unit operasi dimana suatu campuran dari berbagai jenis ukuran partikel padat dipisahkan kedalam dua atau lebih bagian-bagian kecil dengan cara melewatkannya di atas *screen* (ayakan). Dengan kata lain pengayakan adalah suatu proses pemisahan bahan berdasarkan ukuran lubang kawat yang terdapat pada ayakan, bahan yang lebih kecil dari ukuran mesh/lubang akan masuk, sedangkan yang berukuran besar akan tertahan pada permukaan kawat ayakan.

Pengayakan bahan baku pada penelitian ini dilakukan secara manual menggunakan ayakan pada ukuran lolos 10 *mesh*. Hasil akhir dari pengayakan digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan *biopellet*. Setelah diayak bahan

baku ditimbang untuk mempersiapkan bahan sebelum di cetak, bahan ditimbang seberat 3 gram dan di masukan kedalam plastik agar pada saat pencetakan tidak memakan waktu lebih banyak sehingga pencetakan dapat di lakukan dengan cepat.

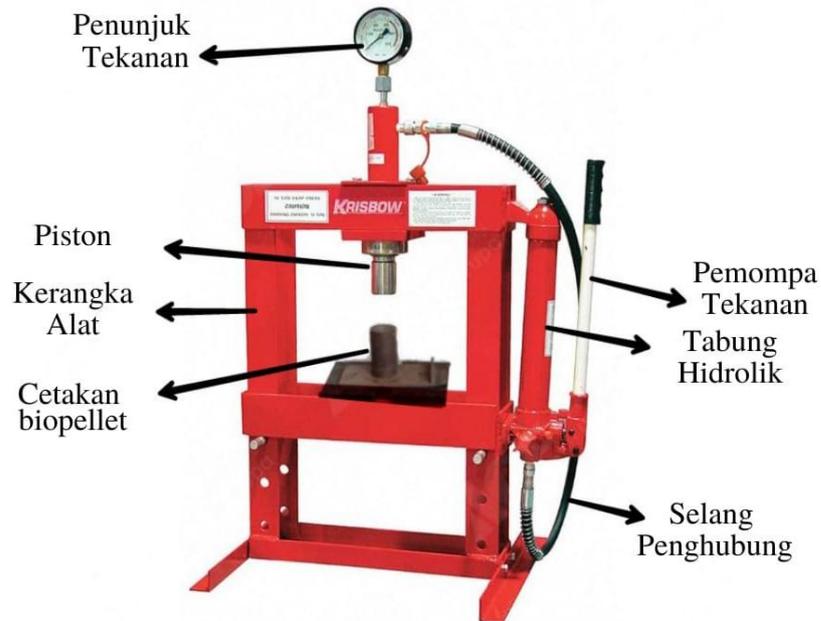
3.4.5. Pencetakan *Biopellet*

Bahan baku yang sudah di ayak lalu dibuat menjadi *biopellet* dengan dikempa dengan menggunakan alat *press hidrolik* dengan merk *Krisbow*. Bahan baku yang sudah di timbang kemudian di cetak menggunakan slinder cetak berdiameter 1,3 cm dan panjang besi slinder pencetak adalah 10 cm. Pemberian tekanan pada saat pencetakan yaitu 2 ton.

Alat *Press Hidrolik Bench Type* ini adalah mesin yang digunakan untuk melakukan penekanan pada material hingga mencapai bentuk yang dibutuhkan. Mesin ini bergerak dengan sumber tenaga hidrolik sehingga penekanan yang dihasilkan sangat besar. Kelebihan lain dari alat ini adalah tenaga yang dibutuhkan sedikit namun menghasilkan tenaga output yang sangat besar. Mesin press ini mempunyai kapasitas hingga 10 ton dan dimensi alat ini 60 x 50 x 110 cm.

Cara kerja alat *press hidrolik* menggunakan sistem pompa hidrolik yang mengandalkan kinerja pompa hidrolik untuk melakukan penekanan pada bidang press dan benda yang akan di kecilkan volumenya. Alat *press hidrolik* bekerja berdasarkan teori hukum paskal yakni memanfaatkan tekanan yang diberikan pada cairan untuk menekan atau membentuk. Komponen utama pada alat ini adalah

piston, tabung hidrolik, cetakan *biopellet*, pemompa tekanan, penunjuk tekanan, dan selang penghubung.



Gambar 8. Alat *press hidrolik*

3.4.6. Pengujian *Biopellet*

Setelah pencetakan selesai kemudian dilakukan pengujian sifat fisik *biopellet* yaitu kadar air, daya serap air, uji jatuh, analisis warna, berat jenis dan *hidrophobicity*. Pengujian sifat fisik *biopellet* ini di lakukan pada lima jenis bahan baku dengan tiga ulangan dan dilakukan sebelum dan sesudah proses torefaksi untuk membandingkan di akhir penelitian untuk mencari bahan yang lebih baik.

Standar kualitas *biopellet* di beberapa negara dan berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (BSN) disajikan pada Tabel 5 berikut ini :

Tabel 5. Kualitas *biopellet* beberapa negara

Parameter	Satuan	Standar		
		Amerika	Prancis	BSN
Diameter	mm	6,35 – 7,94	6 – 16	-
Panjang	mm	< 3,81	10 – 50	-
Kerapatan	g/cm ³	> 0,64	> 1,15	> 0,8
Kadar Air	%	-	≤ 15	12
Kadar Abu	%	<3(standar) ;<1(premium)	≤ 6	< 1,5
Nilai Kalor	cal/g	> 4579,2	> 4056	>4000

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2014).

3.4.7. Proses Torefaksi

Torefaksi merupakan proses perlakuan panas pada temperatur sekitar 200-320 tekanan atmosfer tanpa kehadiran oksigen. Torefaksi pada biomassa berhasil memperbaiki karakteristik biomassa sebagai bahan bakar, yang ditandai dengan meningkatnya nilai kalor, densitas energi yang tinggi, kandungan air yang rendah, dan hidrofobia (Chen dan Kuo, 2011). Pada penelitian ini menggunakan alat *furnace* untuk proses torefaksi, *furnace* yang digunakan bermerk Vulcan D-550 dengan tegangan sebesar 200-240V dan 2400W.

Torefaksi dilakukan dengan membungkus *biopellet* menggunakan *aluminium foil* lalu dimasukkan ke dalam alat *furnace*. Proses torefaksi dilakukan dengan variasi suhu 220 °C, 240 °C, 260 °C, 280 °C karena sudah dilakukan pra penelitian untuk menentukan suhu torefaksi yang digunakan dan menurut penelitian Nita (2019), waktu terbaik untuk torefaksi yaitu selama 20 menit. Sebelum torefaksi dimulai, alat *furnace* diatur waktu dan suhu nya yang telah ditentukan. Proses torefaksi ini dilakukan dengan tiga kali ulangan.



Gambar 9. Alat *furnace*

3.5. Data Pengamatan

3.5.1. Kadar Air

Kadar air adalah perbandingan berat air yang terkandung dalam *biopellet* dengan berat yang sudah di keringkan. Kadar air yang tinggi akan berakibat semakin lama bahan bakar tersebut terbakar dan membutuhkan energi yang besar, selain itu kadar air yang tinggi juga dapat menyebabkan *biopellet* mudah berjamur. Kadar air sangat berperan penting dalam dalam mempengaruhi produksi gas sintesis pada saat proses pembakaran.

Analisis kadar air dilakukan dengan mengambil 1 bahan sampel tanpa cawan dan diletakkan dalam cawan porselen dengan bobot yang sudah diketahui.

Dikeringkan dalam oven dengan suhu 105 °C selama 24 jam sampai kadar air konstan. Tahap terakhir didinginkan ke dalam desikator sampai suhu stabil dan timbang, kadar air dihitung:

$$\text{Kadar Air} = \frac{(Ba-Bf)}{Ba} \times 100 \%$$

Keterangan :

Ba = Berat bahan tanpa cawan sebelum dioven

Bf = Berat bahan tanpa cawan setelah dioven

3.5.2. Daya Serap Air

Daya serap air adalah kemampuan bahan dalam menyerap air (daya hisap). Daya serap air yang tinggi akan berpengaruh pada kualitas *biopellet* itu sendiri biasanya akan lebih mudah tumbuhnya jamur pada *biopellet*. Daya serap yang tinggi disebabkan oleh besarnya kadar pori pada *biopellet*. Analisis daya serap air dilakukan dengan membiarkan *biopellet* dalam ruang terbuka dan mengamati penambahan massanya secara berkala selama satu bulan.

3.5.3. Uji Jatuh

Uji jatuh yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan dan kekuatan *biopellet* ketika disimpan atau pada saat dipindahkan. Uji jatuh didapatkan dari hasil uji *biopellet* yang dijatuhkan dari ketinggian 1,5 meter. Setelah di jatuhkan *biopellet* diamati dan ditimbang kembali.

Untuk mengetahui nilai uji jatuh maka dilakukan perbandingan bobot *biopellet* setelah dijatuhkan dengan berat *biopellet* sebelum dijatuhkan. Kemudian diamati perubahan fisik *biopellet*. *Biopellet* yang baik apabila tidak terjadi perubahan bobot ketika di lakukan uji jatuh.

$$\mathbf{DU = 1 - WL}$$

Keterangan :

DU = *Durability* (g)

WL = *Weight Loss* (g)

$$\mathbf{WL = \frac{(W1-W2)}{W2}}$$

Keterangan :

W1 = *Weight Awal* (g)

W2 = *Weight Akhir* (g)

3.5.4. Analisis Warna

Pengujian warna dan sifat fisis dilakukan terhadap *biopellet* sebelum dan setelah ditorefaksi. Pengujian perubahan warna dilakukan dengan menggunakan sistem CIE-Lab dengan mengukur parameter warna kecerahan (L^*), kromatisasi merah/hijau (a^*), dan kromatisasi kuning/biru (b^*). Perubahan warna secara keseluruhan (ΔE^*) dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 (Esteves dan Pereira, 2009):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)}$$

Dimana, ΔL^* , Δa^* , dan Δb^* , secara berurutan adalah perubahan kecerahan, perubahan kromatisasi merah/hijau, dan perubahan kromatisasi kuning/biru setelah torefaksi. Derajat perubahan warna ditentukan berdasarkan klasifikasi (Valverde dan Moya, 2014):

$0,0 < \Delta E^* = 0,5$ = perubahan dapat dihiraukan

$0,5 < \Delta E^* = 1,5$ = perubahan warna sedikit

$1,5 < \Delta E^* = 3 =$ perubahan warna nyata

$3 < \Delta E^* = 6 =$ perubahan warna besar

$6 < \Delta E^* = 12 =$ perubahan warna sangat besar

$\Delta E^* > 12 =$ warna berubah total.

3.5.5. Berat Jenis

Berat jenis adalah perbandingan relatif antara massa jenis sebuah zat dengan massa jenis air murni. Berat jenis suatu *biopellet* merupakan perbandingan berat *biopellet* tersebut terhadap volumenya. Satuan sistem internasional untuk berat jenis adalah N/m^3 .

$$S = \frac{\text{Berat}}{\text{Volume}}$$

Keterangan:

s = berat jenis benda (N/m^3)

w = berat benda (N)

V = volume benda (m^3)

3.5.6. *Hidrophobicity*

Hidrophobicity biopellet dari biomassa limbah pertanian dapat dilihat dengan merendam *biopellet* ke dalam air untuk melihat seberapa lama *biopellet* dalam menyerap air. Waktu perendaman ditentukan dari 1 menit, 3 jam, 12 jam dan 24 jam. Selama waktu perendaman dapat dilihat perubahan bentuk fisik *biopellet* yang terjadi akibat pengaruh perendaman air. *Hidrophobicity* dilakukan untuk

melihat ketahanan *biopellet* dalam kondisi ekstrem seperti terendam dalam air.

Pengamatan *hidrophobicity biopellet* dilakukan secara visual yaitu dengan melihat langsung perubahan *biopellet* pada waktu yang telah ditentukan.

3.6. Analisis Data

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

V. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu :

1. Sifat fisik *biopellet* dari lima biomassa limbah pertanian meliputi :
 - a. Kadar air *biopellet* torefaksi berkisar antara 0,1 % sampai 2,9 % lebih kecil dibandingkan kadar air *biopellet* tanpa torefaksi berkisar antara 8,3 % sampai 11 % dan kadar air tersebut sudah sesuai dengan mutu *biopellet* biomassa Standar Nasional Indonesia (SNI) 8675:2018.
 - b. Daya serap air secara keseluruhan mengalami kenaikan dan penurunan bobot *biopellet* yang dipengaruhi oleh kelembaban udara pada hari pengukuran. Apabila kelembaban udara tinggi maka bobot *biopellet* pada hari itu juga akan naik, sebaliknya ketika kelembaban udara rendah maka bobot *biopellet* akan mengalami penurunan.
 - c. *Durability biopellet* yang sudah ditorefaksi memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan *biopellet* tanpa torefaksi terbukti dengan bentuk *biopellet* yang sudah ditorefaksi yang tidak mudah patah/rapuh.
 - d. Perubahan warna keseluruhan (ΔE^*) *biopellet* yang sudah ditorefaksi memiliki nilai > 12 , dengan kata lain warna *biopellet* yang ditorefaksi berubah total. Sedangkan ΔE^* *biopellet* tanpa torefaksi

yang berkisar antara 5 sampai 31. Berdasarkan teori nilai $\Delta E^* > 12$ berarti warna berubah total yaitu terjadi pada variasi bahan V1, V2, V3 dan V4.

- e. Berat jenis *biopellet* yang sudah ditorefaksi berkisar antara $0,4 \text{ N/m}^3$ sampai $0,7 \text{ N/m}^3$ sedangkan berat jenis *biopellet* tanpa ditorefaksi berkisar antara $0,6 \text{ N/m}^3$ sampai $0,8 \text{ N/m}^3$.
 - f. *Hidrophobicity biopellet* yang sudah torefaksi dengan suhu $260 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $280 \text{ }^\circ\text{C}$ memiliki ketahanan yang baik ketika perendaman selama 24 jam, karena bentuk *biopellet* tetap utuh seperti semula. Sedangkan *hidrophobicity biopellet* tanpa torefaksi hancur ketika direndam air selama 1 menit.
2. Suhu torefaksi memiliki pengaruh terhadap sifat fisik *biopellet* dari lima biomassa limbah pertanian meliputi kadar air, daya serap air, uji jatuh, analisis warna, berat jenis dan *hidrophobicity*. Seiring dengan peningkatan suhu torefaksi kualitas *biopellet* meningkat. *Biopellet* yang sudah ditorefaksi lebih tahan terhadap air, sehingga akan sangat menguntungkan ketika *biopellet* disimpan pada kondisi lembab. Bahan *biopellet* yang digunakan memiliki kandungan *selulosa*, *hemiselulosa* dan *lignin* yang berbeda-beda, dari lima bahan yang digunakan, *biopellet* jerami padi memiliki kualitas yang tinggi karena ketika diuji jatuh bentuk nya tetap dan ketika di rendam tidak langsung hancur. Sedangkan *biopellet* bonggol jagung memiliki kualitas yang rendah karena ketika sudah selesai dicetak *biopellet* retak, saat direndam *biopellet* langsung hancur dan ketika diuji jatuh hancur menjadi beberapa bagian.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan maka saran untuk penelitian selanjutnya suhu torefaksi yang terbaik yaitu sebesar 260 °C dan 280 °C. Untuk menghasilkan *biopellet* yang berkualitas bahan yang digunakan harus memiliki kandungan *selulosa*, *hemiselulosa* dan *lignin*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd Kadir, S.A.S., Yin, C, Y., Rosli, S., M, C., X & I-Harbawi, M. 2013. Incineration of Municipal Solid Waste in Malaysia: Salient Issues, Policies and Wasteto-Energy Initiatives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.*, 24: 181–186.
- Abdullah. 2007. *Renewable Energy in Supporting Agricultural Rural Area Development*. IPB Press. Bogor.
- Agustina, S.E. 2004. Biomass Potential as Renewable Energy Resources in Agriculture. *Proceedings of International Seminar on Advanced Agricultural Engineering and Farm Work Operation: 25–26*.
- Álvarez, A., Gutiérrez, I., Pizarro, C., Lavín, A.G. & Bueno, J.L. 2017. Comparison between oxidative and non-oxidative torrefaction pretreatment as alternatives to enhance properties of biomass. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 224: 247–255.
- Anita, H., Andi, R.R., Nur, F. & Sukaris. 2020. Miny Coal Si Briket Bonggol Jagung Sebagai Energi Alternatif. *Journal of Community Service*, 2(4).
- Arsad, E. 2014. *Sifat Fisik dan Kimia Wood Pellet dari Limbah Industri PerKayuan sebagai Sumber Energi Alternatif*. Balai Riset dan Standarisasi Industri. Banjarbaru.
- Ashman, J.M., Jones, J.M. & Williams, A. 2018. Some Characteristics of the Self-Heating of the Large Scale Storage of Biomass. *Fuel Processing Technology*, 174: 1–8.
- Asmara, S. & dkk. 2019. Pelatihan Penanganan Limbah Batang Singkong Menggunakan Mesin Perajang Batang Singkong (Rabakong) Di Desa Tanjung Bulan, Kecamatan Kasui , Way Kanan. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 3(2).
- Badan Standardisasi Nasional. 2018. *Pelet biomassa untuk energi*. Standar Nasional Indonesia (8675-2018).
- Badan Standarisasi Nasional. 2014. *Pelet Kayu*. Jakarta.
- Bahri, S. 2014. *Biopelet Kayu Agathis Dengan Penguat Kulit Lepasnya*. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Bantacut, T., Hendra, D. & TIN, R.N. 2013. Mutu Biopellet Dari Campuran Arang Dan Sabut Cangkang Sawit. *Journal of Agroindustrial Technology*, 23(1): 1-12.
- Basu, P. 2013. *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction (2nd ed)*. Elsevier Inc. New York.
- Chen, W.-H. & Kuo, P.-C. 2011. Torrefaction and co-torrefaction characterization of hemicellulose, cellulose and lignin as well as torrefaction of some basic constituents in biomass. *Energy*, 36(2): 803–811.
- Deng, J., Kuang, J.H., Zhang, Y.L., Luo, Y.H. & Wang, G.J. 2009. Pretreatment of agricultural residues for co-gasification via Torrefaction. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 86(2): 331–337.
- Esteves, B.M. & Pereira, H.M. 2009. Wood Modification by Heat Treatment: A Review. *BioResources*, 4(1): 370–404.
- Fellows, P. 1990. *Food Processing Technology Principles and Practice*. Ellis Horwood. New York.
- Gautama, P. 1998. *Sifat fisik pakan lokal sumber energi, sumber mineral dan hijauan pada kadar air dan ukuran partikel yang berbeda*. Fakultas Peternakan Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Hadi, P.S. 2019. Pemanfaatan Bonggol Jagung Sebagai Bioetanol. *Jurnal Teknologi Technoscientiaissn*, 12(1): 85–92.
- Hartoyo. 1983. *Pembuatan Arang dan Briket Arang Secara Sederhana dari Serbuk Gergajian dan Limbah Industri Perkayuan*. Puslitbang Hasil Hutan. Bogor.
- Harun, N.H.H.M., Wahid, F.R.A.A., Saleh, S. & Samad, N.A.F.A. 2017. Effect of Torrefaction on Palm Oil Waste Chemical Properties and Kinetic Parameter Estimation. *Chemical Engineering Transactions*, 56: 1195–1200.
- Hendra, D. 2012. Rekayasa pembuatan mesin pellet kayu dan pengujian hasilnya. *J Penel Hasil Hutan*, 30(2): 144–154.
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J.H., Park, B.H., Banuwa, I.S., Febrianto, F. & Kim, N.H. 2017. Color Change and Consumer Preferences towards Color of Heat-Treated Korean White Pine and Royal Paulownia Woods. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 45(2): 213–222.
- Hilloks, J.R., Thresh & Bellotti, C.A. 2001. *Cassava Biology. Production and Utilization*. CABI Publishing. Oxon.s.

- Howeler, R.H. 2012. *Dry Matter Accumulation and Nutrient Absorption and Distribution During The Growth Cycle of Cassava*. The Cassava Handbook CIAT. Cali.
- Ikelle, I.I., Nworie, F.S., Ogah, A.O. & Ilochi, N.O. 2017. Study on The Combustion Properties of Bio-Coal Briquette Blends of Cassava Stalk. *ChemSearch Journal*, 8(2): 29–34.
- Irawan, A., Riadz, T. & Nurmalisa, N. 2015. Proses Torefaksi Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Kandungan Hemiselulosa Dan Uji Kemampuan Penyerapan Air. *Reaktor*, 15(3): 190–194.
- Jämsä, S.A.S. & Viitaniemi, P. 2001. *Heat Treatment of Wood: Better Durability without Chemical*. Proceedings of special seminar Antibes. France.
- J.M, C. & J.C, D. 2000. Preparation of fermentation media from agricultural wastes and their bioconversion into xylitol. *Food Biotechnology*, 14: 79–97.
- Junaidi, Ariefin & Mawardi, I. 2017. Pengaruh Presentasi Perekat Terhadap Karakteristik Pelet Kayu dari Kayu Sisa Gergajian. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 1(1): 1-5.
- Kaliyan, N. & Morey, R.V. 2009. Factors Affecting Strength and Durability of Densified Biomass Products. *Journal Biomass and Bioenergy*, 33(3): 337–359.
- Liu, Z., Liu, X., Fei, B., Cai, Z. & Yu, Y. 2013. The properties of pellets from mixing bamboo and rice straw. *Renewable Energy*, 55: 1–5.
- Mamvura, T.A. & Danha, G. 2020. Biomass torrefaction as an emerging technology to aid in energy production. *Heliyon*, 6.
- Maryenti, R., Komalasari, K. & Helwani, Z. 2017. Pembuatan Bahan Bakar Padat dari Pelepah Sawit Menggunakan Proses Torefaksi pada Variasi Suhu Waktu Torefaksi. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 4(1): 1–4.
- Misran, E. 2005. Industri Tebu Menuju. , 4(2): 6–10.
- Mustamu, S., Hermawan, D. & Pari, G. 2018. Karakteristik Biopellet dari Limbah Padat Kayu Putih dan Gondorukem. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*.
- Nasrin, A.B., Choo, Y.M., Lim, W.S., Joseph, L., Michael, Rohaya, M.H., Astimar, A.A. & Loh, S.K. 2011. Briquetting of Empty Fruit Bunch Fibre and Palm Shell as a Renewable Energy Fuel. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6(6): 446–451.
- Ni Ketut. 2009. *Produksi Bioethanol dari Rumput Gajah Secara Kimia*. UPN Veteran Jawa Timur. Surabaya.

- Nita, R. 2019. *Pengaruh Putaran dan Lama Waktu Torefaksi Terhadap Kualitas Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit*. Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Nunes, L.J.R., Matias, J.C.O. & Catalão, J.P.S. 2014. A review on torrefied biomass pellets as a sustainable alternative to coal in power generation. *Renewable and Sustainable Energy Rev*, 40: 153–160.
- Panwar, V., Prasad, P. & Wasewar, K.L. 2011. Biomass residue briquetting and characterization. *Journal of Energy Engineering*, 5(6): 108–114.
- Pratama, Y., Helwani, Z. & Komalasari. 2017. Pembuatan briket pelepah sawit menggunakan proses torefaksi pada variasi tekanan dan penambahan perekat tapioka. *Jurnal Fakultas Teknik*, 4(1): 1–6.
- Rahayu, E., A. 2001. *Perbandingan Daya Tumbuh Dan Kesempurnaan Tumbuh Stek Rumput Gajah (Pennisetum purpureum Schum) Yang Disimpan Dengan Metode Berbeda*. Fakultas Perternakan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Rhofita, E.I. 2016. Kajian Pemanfaatan Limbah Jerami Padi di Bagian Hulu. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(2): 74–79.
- Rubiyanti, T., Hidayat, W., Febryano, I.G. & Bakri, S. 2019. Karakteristik Pelet Kayu Karet (*Havea brasiliensis*) Hasil Torefaksi dengan Reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB). *Jurnal Sylva Lestari*, 7(3): 321–331.
- Rukmana, R. 2005. *Budi Daya Rumput Unggul*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Rulianah, Z. & Irfin, J.T. 2017. Produksi Crude Selulase dari Bahan Baku Ampas Tebu Menggunakan Kapang *Phanerochaete chrysosporium*. *Kimia, P. N. Malang, and J. S*, 1(9): 17–27.
- S. Winaya, I.N.D., Susila & I. B, A. 2010. Co-Firing System Fludized Bed Berbahan Bakar Batubara Dan Ampas Tebu. *Jurnal Energi dan Manufaktur*.
- Saha, B. 2004. *Lignocellulose Biodegradation and Applications in Biotechnology*. Washington DC: Lignocellulose Biodegradation. Saha BC, Hayashi K (Ed.). American Chemical Society,.
- Salca, E.A., Kobori, H., Inagaki, T., Kojima, Y. & Suzuki, S. 2016. Effect of Heat Treatment on Colour Changes of Black Alder and Beech Veneers. *Jurnal Wood Science*, 62(4): 297-304.
- Santoso. 2007. *Kelembaban Udara*. Erlangga. Jakarta.
- Saptoadi, H. 2006. *The Best Biobriquette Dimension and its Particle Size*. Bangkok, Thailand.: The 2 and Joint Internasional Conference on “Sustainable Energy and Evironmental (SEE 2006).

- Satmoko, M.E.A., Saputro, D.D. & Budiyo, A. 2013. Karakterisasi briket dari limbah pengelolaan kayu sengon dengan metode cetak panas. *Journal of Mechanical Engineering Learning*, 2(1): 66–77.
- Sidabutar, V.T.P. 2017. Kajian peningkatan potensi ekspor pelet kayu indonesia sebagai sumber energi biomassa yang terbarukan. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 12(2): 99–116.
- Sivamani, S., Chandrasekaran, A.P., Balajii, M., Shanmugaparakash, M., Hosseini-Bandegharaei, A. & Baskar, R. 2018. Evaluation of The Potential of Cassava-Based Residues For Biofuels Production. *Review Environment Science Biotechnology*, 17: 553–570.
- Stefanus & Malita. 2016. *Prarencana Pabrik Carbon Microspheres Dari Ampas Tebu*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Surabaya.
- Sumada, K., Tamara, P.E. & Alqani, F. 2011. Isolation study of efficient α -cellulose from waste plant stem manihot esculenta crantz. *Jurnal Teknik Kimia*, 5: 434–438.
- Supriyanto & Merry. 2010. *Studi Kasus Energi Alternatif Briket Sampah Lingkungan Kampus Polban Bandung*. Seminar Nasional Teknik Kimia. Yogyakarta.
- Syamsiro, M. 2016. Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Padat Biomassa dengan Proses Densifikasi dan Torrefaksi. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*, 1(1): 7–13.
- Tumuluru, J.S., Sokhansanj, S., Hess, J.R., Wright, C.T. & Boardman, R.D. 2011. A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications. *Biotechnol*, 7(5): 384–401.
- Valverde, J.C. & Moya, R. 2014. Correlation and Modeling between Color Variation and Quality of the Surface between Accelerated and Natural Tropical Weathering in Acacia mangium, Cedrela odorata and Tectona grandis Wood with Two Coating. *Color Research and Application*, 39(5): 519–529.
- Wibowo, T., Setyawati, D., Nurhaida & Diba, F. 2016. Kualitas biopellet dari limbah batang kelapa sawit dan limbah kayu penggergajian. *Jurnal Hutan Lestari*, 4(4): 409–417.
- Widarti, A. 2017. *Energi Terbarukan dari Batang Kelapa Sawit: Konversi Menggunakan Proses Torefaksi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Widodo, F., Wahyono & Sutrisno. 2012. Kecernaan Bahan Kering, Kecernaan Bahan Organik, Produksi Vfa Dan Nh3 Pakan Komplit Dengan Level Jerami Padi Berbeda Secara In Vitro. *Indonesian Journal Of Food Technology*, 1(1): 215-230.

- Zamirza, F. 2009. *Pembuatan biopellet dari bungkil jarak pagar (Jathropa curcas l.) dengan penambahan sludge dan perekat tapioka*. Departemen Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Zikri, A., Erlinawati & Rusnadi, I. 2015. Uji Kinerja Rotary Dryer Berdasarkan Efisiensi Termal Pengering Serbuk Kayu Untuk Pembuatan *Biopellet*. *Jurnal Teknik Kimia*, 2(21): 50-58.