



KUALITAS BIOPELET TERHADAP VARIASI KOMPOSISI LIMBAH BIOMASSA DENGAN METODE TEKNOLOGI OLAH SAMPAH DI SUMBERNYA (TOSS)

HELVIA FEBRINA



**TEKNIK DAN MANAJEMEN LINGKUNGAN
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak mengulang kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI LAPORAN PROYEK AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa proyek akhir dengan judul “*Kualitas Biopelet Terhadap Variasi Komposisi Limbah Biomassa dengan Metode Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS)*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka dibagian akhir proyek akhir.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2024

Helvia Febrina
J0313201023

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak mengulang kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Helvia Febrina. Kualitas Biopelet Terhadap Variasi Komposisi Limbah Biomassa dengan Metode Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS). Dibimbing oleh Dimas Ardi Prasetya.

ABSTRAK

Krisis energi fosil dikhawatirkan habis dimasa mendatang sehingga diperlukannya alternatif energi. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan memanfaatkan limbah biomassa yang dapat menghasilkan energi ramah lingkungan dan melimpah. Limbah biomassa mempunyai kapasitas sebesar 12,3% dan belum terkelola secara nasional, sehingga pengolahan limbah tersebut menjadi bahan bakar dapat menjadi solusi pada krisis energi dan mengatasi permasalahan limbah nasional. Penelitian bertujuan menjabarkan proses *biodrying* pada metode TOSS dan mengevaluasi hasil pengujian kualitas biopelet dengan penelitian sebelumnya menggunakan standar SNI 8966:2021. Penelitian menggunakan metode Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS) dengan memanfaatkan tiga jenis limbah yaitu daun kerai payung, sekam padi, dan buah bintaro, yang menghasilkan *output* biopelet melalui pertimbangan aspek komposisi. Berdasarkan lima variasi komposisi yang digunakan dalam penelitian, menunjukkan semua variasi komposisi menghasilkan biopelet masuk kedalam kelas 1 untuk uji kadar air dan kelas 2 untuk uji kadar abu sesuai SNI 8966:2021. Hasil penelitian untuk parameter kadar air sudah sama bagus dengan semua penelitian sebelumnya, tetapi untuk parameter kadar abu belum sama bagus dengan semua penelitian sebelumnya.

Kata kunci: biopelet, biomassa, proses *biodrying*, toss

ABSTRACT

Helvia Febrina. Quality of Biopelets Against Variations in the Composition of Biomass Waste with the Waste Management Technology at the Source (TOSS) Method. Supervised by Dimas Ardi Prasetya.

The fossil energy crisis is feared to run out in the future, so alternative energy is needed. This problem can be solved by utilizing biomass waste, which can produce environmentally friendly and abundant energy. Biomass waste has a capacity of 12.3% and has not been managed nationally, so processing the waste into fuel can be a solution to the energy crisis and overcome national waste problems. The research aims to describe the results of the bio-drying process in the TOSS method and evaluate the results of bio-pellet quality testing with previous research using the SNI 8966: 2021 standard. The research used the Waste Management Technology at the Source (TOSS) method by utilizing three types of waste, namely umbrella sunshade leaves, rice husks, and bintaro fruit, which produced bio-pellet output through consideration of compositional aspects. Based on the five composition variations used in the study, it shows that all composition variations produce bio-pellet into class 1 for the water content test and class 2 for the ash content test according to SNI 8966: 2021. The research results for the water content parameter are as good as all previous studies, but for the ash content parameter, they are not as good as those of one previous study.

Keywords: biopellets, biomass, biodrying process, toss



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB. 13 Pelimpahan hak cipta atas karya tulis dari penelitian kerja sama dengan pihak luar IPB harus didasarkan pada perjanjian kerja sama yang terkait.



KUALITAS BIOPELET TERHADAP VARIASI KOMPOSISI LIMBAH BIOMASSA DENGAN METODE TEKNOLOGI OLAH SAMPAH DI SUMBERNYA (TOSS)

HELVIA FEBRINA

Proyek Akhir

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Terapan pada
Program Studi Teknik dan Manajemen Lingkungan

**TEKNIK DAN MANAJEMEN LINGKUNGAN
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak mengulang kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Tim Penguji Ujian Proyek Akhir
1. Ivone Wulandari Budiharto, S.Si., M.Si

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Proyek Akhir : Kualitas Biopelet Terhadap Variasi Komposisi Limbah Biomassa dengan Metode Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS)

Nama : Helvia Febrina
NIM : J0313201023

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, perulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing :

Dimas Ardi Prasetya S.T., M.Si

Diketahui oleh

Ketua Program Studi :

Dr. Beata Ratnawati S.T., M.Si
NPI. 201811198806252001

Dekan Sekolah Vokasi

Dr. Ir. Aceng Hidayat, M.T
NIP. 196607171992031003

Tanggal Ujian:
20 Juni 2024

Tanggal Lulus:

IPB University



PRAKATA

Alhamdulillahi Rabbil 'Aalamiin. Terima kasih, segala puji hanya milik Allah Subhanahu wa ta'ala. Atas ridho, segala kelimpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga Laporan Proyek Akhir yang berjudul "**Kualitas Biopelet Terhadap Variasi Komposisi Limbah Biomassa dengan Metode Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS)**" dapat berhasil diselesaikan dengan baik dan lancar.

Terima kasih diucapkan kepada Bapak Dimas Ardi Prasetya, S.T., M.Si selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan selama penelitian dan penyusunan Laporan Proyek Akhir. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Ibu Ivone Wulandari Budiharto, S.Si., M.Si selaku penguji ujian sidang Proyek Akhir dan terima kasih juga disampaikan kepada Ibu Dr. Beata Ratnawati, S.T., M.Si selaku Ketua Program Studi Teknik dan Manajemen Lingkungan dan kepada Ibu Ir. Nurul Jannah, MM., Ph.D selaku dosen pembimbing akademik, serta kepada seluruh jajaran dosen Program Studi Teknik dan Manajemen Lingkungan yang telah memberikan ilmu pengetahuan selama berkuliahan di Fakultas Sekolah Vokasi, IPB University.

Laporan Proyek Akhir, dipersembahkan kepada yang terhormat dan tersayang yaitu Bapak Nasril dan Ibu Darmani selaku orangtua atas do'a, kasih sayang dan dukungan yang tidak terkira sehingga dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir. Satu hal yang ingin disampaikan kepada ayah dan ibu "Anak bungsu Ayah dan Ibu sudah berhasil memenuhi salah satu harapan dan keinginanmu". Laporan Proyek Akhir juga dipersembahkan kepada Yuli Damri selaku abang, Ifra Yenti selaku kakak pertama, dan Revi Muzia Darna selaku kakak kedua, yang telah memberi dukungan dan sponsor. Sangat bangga dan terima kasih juga disampaikan kepada diri sendiri yaitu Helvia Febrina, yang telah berhasil menguatkan, meyakinkan diri, dan berjuang sampai saat sekarang sehingga sudah sangat banyak sekali memperoleh pencapaian yang luar biasa. Terima kasih juga diucapkan kepada seluruh teman-teman LNK 57 dan kakak PKL SP yang sudah membantu selama perkuliahan dan penelitian serta kepada para sahabat yang sudah setia dan bersedia mendengarkan keluh kesah, yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu. Pengujung ucapan terima kasih dipersembahkan kepada seseorang yang sangat banyak membantu baik didalam dan diluar Proyek Akhir yaitu Muhammad Azmi, S.T yang telah meneman, selalu mendukung, membuka pikiran, mengingatkan untuk berfikir jernih dan positif, mengingatkan untuk selalu bersabar, mengoreksi Laporan Proyek Akhir, dan banyak hal baik lainnya.

Bogor, Juni 2024

Helvia Febrina



DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>Literature Review</i>	3
2.2 Biomassa	4
2.2.1 Daun Kerai Payung	4
2.2.2 Buah Bintaro	4
2.2.3 Sekam Padi	5
2.3 Perbandingan pengolahan Sampah Organik Secara Biologis	5
2.4 Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS)	6
2.4.1 <i>Eco Enzyme</i>	6
2.4.2 Boks keramik	7
2.5 Biopelet	8
2.6 Uji kualitas Biopelet	8
III METODOLOGI PENELITIAN	9
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	9
3.2 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data	9
3.2.1 Teknik Pengumpulan Data	9
3.2.2 Analisis Data	10
3.3 Diagram Alir Penelitian	10
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	11
3.4.1 Alat	11
3.4.2 Bahan	11
3.5 Prosedur Kerja	11
3.5.1 Pembuatan Bioaktivator AR124	11
3.5.2 Pembuatan Boks Keramik	12
3.5.3 Pengaturan Rasio dari Variasi Komposisi Limbah Biomassa	12
3.6 Pembuatan Biopelet dengan Metode TOSS	13
3.6.1 Pengumpulan dan pemilahan limbah biomassa	13
3.6.2 Proses Pencacahan	14
3.6.3 Proses <i>Biodrying</i>	14
3.6.4 Proses Peletisasi	16
3.6.5 Proses Penjemuran	16
3.7 Uji Kualitas Biopelet	17
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



4.1	Hasil Penjabaran Proses <i>Biodrying</i>	18
4.1.1	Fermentasi Bioaktivator AR124	18
4.1.2	Hasil Proses <i>Biodrying</i>	19
4.2	Hasil Uji dan Evaluasi Kualitas Biopelet	29
4.2.1	Kadar Air	29
4.2.2	Kadar Abu	30
4.2.3	Perbandingan Hasil Penelitian Terhadap Penelitian Sebelumnya	31
V	PENUTUP	33
5.1	Kesimpulan	33
5.2	Saran	33
DAFTAR PUSTAKA		34
LAMPIRAN		37
RIWAYAT HIDUP		56

DAFTAR GAMBAR

1	Desain boks bambu	7
2	Diagram alir penelitian	10
3	Proses pembuatan Bioaktivator AR124	11
4	Pembuatan boks keramik	12
5	Pengumpulan (a) Daun Kerai Payung (b) Sekam Padi (c) Buah Bintaro	13
6	Pemilahan (a) Daun Kerai Payung (b) Buah Bintaro	14
7	Pencacahan (a) Daun Kerai Payung (b) Sekam Padi (c) Buah bintaro	14
8	Proses <i>biodrying</i>	15
9	(a) proses peletisasi (b) biopelet	16
10	Penjemuran biopelet	16
11	Perubahan warna fermentasi Bioaktivator AR124 (a) Hari 0 dan (b) Hari 7	19
12	Temperatur variasi perlakuan dari proses <i>biodrying</i>	20
13	Temperatur variasi kontrol dari proses <i>biodrying</i>	21
14	pH variasi perlakuan dari proses <i>biodrying</i>	22
15	pH variasi kontrol dari proses <i>biodrying</i>	23
16	Penyusutan variasi perlakuan proses <i>biodrying</i>	24
17	Penyusutan variasi kontrol proses <i>biodrying</i>	25
18	Laju penurunan kadar air variasi perlakuan	26
19	Laju penurunan kadar air variasi kontrol	28
20	Uji kadar air biopelet	29
21	Uji kadar abu biopelet	30

DAFTAR TABEL

1	Kualitas biopelet penelitian (M. Brunner <i>et al.</i> 2021a)	3
---	---	---

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak mengulang kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



2 Kualitas biopelet penelitian (Putri 2023)	3
3 Jenis-jenis pengolahan sampah biologis	5
4 Resep pembuatan Bioaktivator AR124	7
5 Pengaturan variasi rasio komposisi limbah biomassa	13
6 Hasil pengukuran fermentasi Bioaktivator AR124	18
7 Pengukuran bau proses <i>biodrying</i>	25
8 Perbandingan hasil penelitian terhadap penelitian sebelumnya	32

DAFTAR LAMPIRAN

1 Pengukuran temperatur ulangan 1 proses <i>biodrying</i>	37
2 Pengukuran temperatur ulangan 2 proses <i>biodrying</i>	38
3 Pengukuran temperatur ulangan 3 proses <i>biodrying</i>	40
4 Pengukuran pH proses <i>biodrying</i>	41
5 Pengukuran penyusutan proses <i>biodrying</i>	42
6 Laju penurunan kadar air ulangan 1	42
7 Laju penurunan kadar air ulangan 2	45
8 Laju penurunan kadar air ulangan 3	47
9 Uji kualitas kadar air biopelet	49
10 Uji kualitas kadar abu biopelet	50
11 Alat-alat penelitian	51
12 Bahan-bahan penelitian	52
13 Prosedur uji kadar air	54
14 Prosedur uji kadar abu	55

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak mengulang kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan bentuk tenaga yang diperlukan untuk melangsungkan sebuah kegiatan. Kebutuhan energi yang tinggi dan berkesinambungan menyebabkan pasokan energi yang semakin menipis dan berpotensi habis dimasa mendatang. Bahan bakar merupakan energi yang berfungsi sebagai penopang berbagai kegiatan seperti, ekonomi, industri, rumah tangga, transportasi dan lainnya. Sumber energi alami yang tidak dapat diperbarui, seperti batu bara, energi nuklir, gas alam, dan minyak bumi merupakan jenis bahan bakar fosil yang paling banyak digunakan (Saifudin *et al.* 2020). Energi fosil berasal dari pembusukan organisme ratusan tahun lalu dan mempunyai sejumlah dampak buruk terhadap lingkungan, seperti emisi gas rumah kaca (Delasta *et al.* 2023). Pemanfaatan limbah biomassa dapat dijadikan sebagai energi alternatif yang ramah lingkungan dan melimpah. Biomassa merupakan sumber energi alami yang berasal dari hayati, dapat diperbarui, melimpah dan ramah lingkungan serta energi yang menghasilkan atau memiliki jumlah bersih CO₂ sama dengan nol sehingga bebas dari emisi gas rumah kaca (Herlambang *et al.* 2017).

Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2023 menyatakan terdapat sebesar 12,3% limbah biomassa belum terkelola secara nasional. Limbah biomassa mempunyai sifat yang dapat terdekomposisi dengan sendirinya, namun penguraian sampah organik termasuk biomassa oleh dekomposer alami membutuhkan waktu 6 -12 bulan sehingga jika dibiarkan akan menimbulkan tumpukan limbah biomassa (Subula *et al.* 2022). Limbah biomassa dapat dimanfaatkan sebagai alternatif bahan bakar yang salah satunya berbentuk bahan bakar padat yaitu biopelet. Pemanfaatan limbah biomassa menggunakan metode yang sederhana dan ramah lingkungan dicetuskan oleh sebuah perusahaan rintisan (*startup company*) yang bernama Comestoarra Bentara Noesantarra atau comestoarra.com. Metode TOSS merupakan metode pengolahan limbah biomassa langsung dari sumbernya yang disebut dengan Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS). *Output* pengolahan limbah biomassa tersebut dijadikan bahan bakar padat berbentuk biopelet untuk berbagai keperluan termasuk sebagai *co-firing* batu bara untuk pembangkit listrik. Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS) merupakan metode pengolahan limbah organik dan biomassa yang memanfaatkan teknik *biodrying* dengan bantuan boks yang terbuat dari bambu dan bioaktivator AR124 dengan *output* bahan bakar padat berbentuk pelet (M. Brunner *et al.* 2021a).

Pemanfaatan metode tersebut diharapkan 12,3% timbulan sampah biomassa diharapkan dapat terkelola langsung dari sumbernya sehingga persentase sampah yang belum terkelola secara nasional dapat teratasi sekaligus dapat menjadi alternatif bahan bakar yang ramah lingkungan dan melimpah. Kampus IPB University dan sekitaran wilayah kota Bogor merupakan salah satu tempat yang menghasilkan limbah biomassa yang pengelolaannya belum maksimal. Jenis limbah biomassa yang cukup dominan yang dihasilkan dari kampus IPB University adalah sampah daun dan buah bintaro serta sekitaran wilayah kota bogor berupa sekam padi, sehingga fokus penelitian adalah kualitas bahan bakar yang dihasilkan dari pengolahan limbah biomassa menggunakan metode TOSS dengan





memanfaatkan tiga jenis limbah biomassa yaitu sampah Daun Kerai Payung (DK), Sekam Padi (SP) dan Buah Bintaro (BB) dengan mempertimbangkan aspek komposisi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian adalah variasi komposisi dari sampah Daun Kerai Payung (DK), Sekam Padi (SP), dan Buah Bintaro (BB) dapat menghasilkan biopelet berkualitas unggul dengan metode TOSS dan penggunaan metode TOSS dapat menurunkan kadar air material pada salah satu prosesnya yaitu proses *biodrying*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian adalah:

1. Menjabarkan proses *biodrying* pada metode TOSS
2. Mengevaluasi kualitas biopelet dengan penelitian sebelumnya menggunakan standar SNI 8966:2021 tentang Bahan Bakar Jumputan Padat untuk Pembangkit Listrik.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian terdiri atas batasan-batasan sebagai berikut:

1. Pemanfaatan tiga jenis limbah biomassa yaitu sampah Daun Kerai Payung (DK), Sekam Padi (SP) dan Buah Bintaro (BB) yang diperoleh dari kampus IPB dan sekitaran wilayah Kota Bogor
2. Pengaturan komposisi menggunakan persen berat dengan berat total 800 gram, yang terdiri dari lima rasio perbandingan DK:SP:BB meliputi 50:40:10, 60:30:10, 70:20:10, 80:10:10, 90:0:10. Pengaturan rasio komposisi disesuaikan dengan kapasitas limbah yang diperoleh.
3. Metode TOSS menggunakan boks keramik ukuran (20 x 20 x 20) cm³ dan bantuan bioaktivator AR124. Pada metode TOSS, hasil fermentasi bioaktivator akan dianalisis berdasarkan parameter temperatur, pH, bau dan warna dan proses *biodrying* akan dianalisis berdasarkan parameter temperatur, pH, penyusutan, bau dan laju penurunan kadar air serta uji kualitas biopelet dibatasi pada dua parameter yaitu kadar air dan kadar abu.
4. Hasil pengujian kualitas biopelet akan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yaitu atas pemanfaatan metode TOSS pada sampah daun ranting kering sebagai biopelet (Putri 2023), sekam padi (M. Brunner *et al.* 2021a) dan buah bintaro (Mudia *et al.* 2020).



II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Literature Review*

Penelitian berlandaskan kepada penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi dan pembanding terhadap hasil yang diperoleh. Penelitian juga bertujuan untuk membantu melakukan ekspansi terhadap metode yang digunakan dan bidang ilmu energi alternatif terutama pada bahan bakar padat biopelet.

Pemanfaatan metode TOSS dalam pengolahan limbah biomassa telah diaplikasikan pada penelitian sebelumnya yaitu oleh (M. Brunner *et al.* 2021a), yang melakukan penerapan metode TOSS dilakukan pada beberapa wilayah dalam pengolahan limbah organik dan biomassa yang menghasilkan biopelet dengan kualitas biopelet (Tabel 1), yang menggunakan standar SNI 8966:2021 tentang Bahan Bakar Jumputan Padat untuk Pembangkit listrik.

Tabel 1 Kualitas biopelet penelitian (M. Brunner *et al.* 2021a)

Limbah Biomassa	Kadar air (%)	Kadar Abu (%)
Lokasi TOSS Klungkung		
1. Sampah domestik (Ds. Akah)	15,24	31,01
2. Sampah domestik (Ds. Sampalan)	14,66	23,33
Lokasi TOSS Jepara		
1. Ilalang	12,32	14,57
2. Rerumputan	12,59	17,55
3. Serbuk halus kayu jati	5,99	1,54
4. Sekam	7,16	24,57
Lokasi TOSS Yon Armed Bekasi		
1. Sampah domestik	5,59	37,45
2. Kelapa	8,66	15,21
3. Bambu	6,50	26,68
Lokasi TOSS TPA Kebon Kongok Lombok, NTB		
1. Mangga (ranting dan daun)	9,02	18,81
2. Eceng gondok	9,19	15,73
Lokasi TOSS Ende, NTT		
1. Limbah biomassa campuran	10,35	9,05

Penerapan metode TOSS juga dilakukan oleh (Putri 2023) pada penelitiannya, yang melakukan perbandingan dari pemanfaatan Mikroorganisme Lokal (MOL) dari keong mas dan kulit nanas dengan bioaktivator AR124 terhadap pengolahan sampah daun ranting kering menjadi biopelet yang menghasilkan kualitas biopelet (Tabel 2), sesuai standar SNI 8966:2021 tentang Bahan Bakar Jumputan Padat untuk Pembangkit listrik dan hasil penelitian menunjukkan biopelet memiliki kualitas lebih baik dari penelitian (M. Brunner *et al.* 2021a)

Tabel 2 Kualitas biopelet penelitian (Putri 2023)

Variasi	Parameter	
	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)
Kontrol (tanpa bioaktivator)	11,3±2,1	13,7±4,5
Bioaktivator AR124	8,0±0	13,7±4,9
Mikroorganisme Lokal (MOL)	5,0±0	16,7±4,2

Pemanfaatan biji buah bintaro sebagai biopelet yang dilakukan pada penelitian (Mudia *et al.* 2020) dari hasil residu ekstrasi biji bintaro untuk pembuatan biodiesel. Pada penelitian tersebut biji bintaro dijemur selama tiga hari dibawah sinar matahari dan kemudian ukurannya diperkecil sebagai preparasi sampel.

Sampel yang sudah dipreparasi dimasukkan kedalam *Screw Oil Press Machine* untuk di *press* dan dilumatkan dengan 5 variasi temperatur yang digunakan pada *heater* yaitu 159, 170, 190, 210, dan 230 ($^{\circ}\text{C}$) yang diputar dengan kecepatan putaran *screw* 10 Hz. Pengujian kualitas biopelet terdiri dari dua parameter yaitu kadar air sesuai standar SNI 8021:2014 dengan hasil pengujian kualitas biopelet pada parameter kadar air yaitu 2%, 2,5%, 3%, 3,5% dan 4%.

2.2 Biomassa

Biomassa merupakan material organik yang berasal dari hayati seperti tumbuhan, pepohonan, rumput, limbah pertanian, limbah hutan, tinja, kotoran ternak dan sejenisnya. Biomassa yang mempunyai kandungan energi yang berpotensi menjadi energi alternatif pengganti energi fosil, yang pada umumnya biomassa sudah dimanfaatkan sebagai bahan pakan ternak, bahan bangunan dan bahan bakar secara tradisional. Biomassa mempunyai sifat ramah lingkungan karena pada saat biomassa menyerap energi matahari untuk berfotosintesis, ketika biomassa diubah menjadi energi CO₂ yang akan dilepaskan ke atmosfer, siklus CO₂ akan menjadi lebih sempit dibandingkan dari hasil pembakaran minyak bumi atau gas alam sehingga CO₂ yang dihasilkan limbah biomassa tidak mempengaruhi keseimbangan CO₂ di atmosfer (Parinduri dan Parinduri 2020) serta sifat dari energi biomassa yang relatif tidak mengandung sulfur sehingga mendukung terciptanya energi bersih, ramah lingkungan dan berkelanjutan (Sugiharto dan Firdaus 2021).

2.2.1 Daun Kerai Payung

Kerai Payung atau *Filicium Desipiens* merupakan tanaman Asia tropis dan Afrika yang banyak tumbuh di Indonesia. Tanaman kerai payung mempunyai tinggi pohon sekitar 25 m, mempunyai batang bulat berwarna cokelat mudah terkelupas dengan tipe percabangan simpodial. Tanaman tersebut banyak digunakan sebagai pohon penghias taman karena memiliki keestetikan dengan khas daun yang rimbun dan memiliki kemampuan transpirasi yang rendah dan mampu menyerap polusi dengan daya reduksi tinggi atas timbal (Pb) dari kendaraan bermotor sehingga banyak ditanam pada ruang terbuka hijau (Yani et al. 2023). Kerai payung mempunyai kandungan zat aktif yaitu metabolit sekunder seperti alkaloid tanin, steroid, flavonoid, terpenoid, dan saponin yang dapat dikonversikan menjadi antiinflamasi, antijamur, antioksidan dan antibakteri yang berpotensi sebagai obat serta dapat dimanfaatkan pada berbagai bidang seperti lingkungan, pertanian, kesehatan, dan pangan (Wildani et al. 2022).

2.2.2 Buah Bintaro

Tanaman Bintaro atau *Cerbera odollam Gaerthn* merupakan buah berbiji dengan daging buah berbentuk serat lignoselulosa yang sangat keras menyerupai daging buah kelapa. Tanaman bintaro merupakan salah satu tanaman bakau yang tumbuh ditanah dengan kekurangan nutrisi dan dapat tumbuh diseluruh Indonesia dengan tinggi tanaman mencapai 12 m dan memiliki buah lonjong berwarna hijau berdiameter sekitar 5-10 cm. Tanaman bintaro terdiri dari 8% biji dan 92% daging buah berbentuk serat, pada biji terdapat cangkang biji sekitar 14% dan daging biji sekitar 86% (Susanti *et al.* 2021). Tanaman bintaro biasanya digunakan untuk penghijauan dan dimanfaatkan untuk pengusir hama yaitu



serangan tikus dan banyak dikembangkan sebagai biopestisida, sebab tanaman bintaro mengandung racun toksik pada seluruh bagian tanamannya dan terdapat kandungan senyawa golongan alkaloid bersifat *repellent* dan *antifeedant* serta pada bijinya mengandung cerberin yang dapat menghambat kerja otot jantung sehingga menjadikan tanaman bintaro menjadi tanaman yang mematikan jika terkonsumsi (Rahim *et al.* 2020). Biji tanaman bintaro juga mengandung minyak sekitar 35-50% sehingga juga dapat dijadikan sebagai salah satu penyumbang energi biomassa seperti biodiesel (Aini *et al.* 2020).

2.2.3 Sekam Padi

Padi merupakan tanaman pangan yang menghasilkan beras yang berfungsi sebagai makanan pokok dan memiliki kulit pelindung buat yang disebut sekam padi. Sekam padi mempunyai lapisan keras yang disebut kariopsis yang terdiri dari dua belahan yaitu lemma dan palea dengan saling bertaut. Sekam padi dihasilkan dari hasil produksi beras yang menyisakan sekam padi sekitar 20-30% dari bobot gabah dan menjadi salah satu jenis limbah biomassa (Udjianto *et al.* 2021). Sekam padi merupakan limbah yang mempunyai manfaat sebagai energi alternatif dan dapat dijadikan arang sebagai bahan pembenah tanah sebagai upaya memperbaiki sifat-sifat tanah dalam rehabilitasi lahan dan mempunyai kemampuan membenahi pertumbuhan tanaman serta dapat meningkatkan kandungan C organik yang dapat meningkatkan produktivitas tanaman. Sekam padi juga banyak dimanfaatkan sebagai briket, biopelet, pupuk organik, alas pakan ternak, dan media tanam atau media. Sekam padi mempunyai kandungan mineral silikat (Si) dengan kadar abu 17,90% berat kering yang terbukti resisten terhadap serangan hama dan patogen tanah (Listiana *et al.* 2021).

2.3 Perbandingan pengolahan Sampah Organik Secara Biologis

Pengolahan sampah organik secara biologis merupakan pengolahan yang memanfaatkan kemampuan mikroorganisme dalam perombakan bahan organik yang dapat menghasilkan produk tertentu. Terdapat beberapa metode pengolahan sampah organik yang memanfaatkan kemampuan bioaktivator dalam penguraian bahan organik menjadi produk-produk yang bermanfaat seperti metode komposting, biodigester dan TOSS (Tabel 3).

Tabel 3 Jenis-jenis pengolahan sampah biologis

	Jenis Pengolahan		
	Komposting	Biodigester	TOSS
Waktu Proses	20 – 30 hari	14 – 21 hari	4 – 10 hari
Proses biologis	Aerobik	Anaerobik	Aerobik
Tahapan Proses	Empat fase (mesofilik, termofilik, pendinginan, dan maturasi)	Tiga tahapan hidrolisa, pembentukan asam (acetogenesis), dan tahap pembentukan metana (metanogenesis)	Satu fase yaitu fase mesofilik
Output	Pupuk kompos/ tanah humus, CO ₂ dan H ₂ O	CH ₄ , CO ₂ , gas campuran dan sludge sebagai pupuk	Bahan bakar padat yaitu biopelet
Tujuan	Pengurangan sampah	Pengurangan sampah dan generasi energi	Pengurangan sampah dan generasi energi

2.4 Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS)

Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS) merupakan metode pengolahan sampah langsung dari sumbernya yang menghasilkan *output* bahan bakar padat berbentuk biopelet. Pengolahan sampah organik dan limbah biomassa pada metode TOSS terdiri dari proses pemilahan, pencacahan, *biodrying*, peletisasi dan finalisasi. Metode TOSS sebagai salah satu pengolahan sampah organik dan biomassa secara biologis menawarkan solusi pengurangan waktu pengolahan sehingga dapat menghemat ruang dan bentuk produk akhir berupa bahan bakar padat dalam bentuk biopelet. Metode TOSS tergolong baru yang dikeluarkan oleh salah satu perusahaan rintisan comestoorra.com yang diperuntukan untuk *co-firing* batu bara untuk industri pembangkit listrik. Teknik *biodrying* pada metode TOSS memanfaatkan mikroorganisme yang tersimpan pada cairan bioaktivator, yang secara aerobik akan melangsungkan aktivitas perombakan material organik yang menyebabkan terjadi pelepasan panas atau kalor yang dapat mengurangi kandungan kadar air dan tetap menjaga nilai kalor pada material.

2.4.1 Eco Enzyme

Eco Enzyme merupakan cairan multifungsi yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan organik, molase, dan air bersih. Pembuatan *Eco Enzyme* bertujuan untuk pengolahan sampah organik dengan mengubah sampah organik menjadi cairan sebagai pembersih organik yang menggunakan bahan seperti air, gula sebagai sumber karbon dan sampah organik sayur dan buah serta bantuan sebuah wadah sebagai tempat untuk proses fermentasi berupa *container* yang terbuat dari plastik dan sebuah tutup yang terbuat dari kaca dengan tujuan agar tidak pecah oleh aktivitas mikroorganisme saat proses fermentasi (Prasetyo *et al.* 2021). Bioaktivator AR124 merupakan salah satu jenis *Eco Enzyme* yang dikembangkan dari perusahaan rintisan comestoorra.com yang terdiri dari beberapa bahan (Tabel 4), nama AR124 merupakan A.K.A dari nama perusahaan yaitu (CommeSTOARRA). Bioaktivator AR124 mengandung beberapa jenis mikroorganisme yaitu *Bacillus sp.*, *Lactobacillus sp.*, *Azotobacter sp.* dan ragi sebagai fungi bersel tunggal (M. Brunner *et al.* 2021b).

Ketiga jenis bakteri yang terdapat pada Bioaktivator AR124 merupakan jenis mikroorganisme mesofilik yang aktif bekerja pada temperatur 22 – 45°C. Sebagai bakteri dekomposer, mikroorganisme mesofilik mempunyai kemampuan mendegradasi bahan organik dengan cara melepaskan enzim untuk penguraian material organik dengan menghasilkan produk sampingan berupa karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), hidrogen (H₂) dan air (H₂O) (Nur Ananda Putri *et al.* 2024). Fermentasi merupakan segala macam proses metabolismik (proses mengubah makanan menjadi energi) dengan bantuan enzim dari mikroba dalam melakukan proses oksidasi (pelepasan elektron dari sebuah molekul), proses reduksi (penangkapan eletron oleh senyawa), proses hidrolisa (penguraian senyawa organik) dan reaksi kimia lainnya pada substrat organik dan menghasilkan produk tertentu dengan perubahan sifat bahan. Fermentasi Bioaktovator dipengaruhi oleh waktu fermentasi, jumlah starter, jenis substrat, temperatur, oksigen, pH, bau dan warna (Sarungu *et al.* 2020). Cairan bioaktivator yang digunakan adalah *Eco Enzyme* yang dikembangkan langsung oleh CommeSTOARRA.com yang diberi nama AR124 dengan resep (Tabel 4). Semua bahan pada resep diracik sesuai prosedur pembuatan bioaktivator AR124

dan dilakukan fermentasi secara anaerobik selama satu minggu dan diaplikasikan kepada material dengan konsentrasi yang dicairkan dengan perbandingan 1: 20.

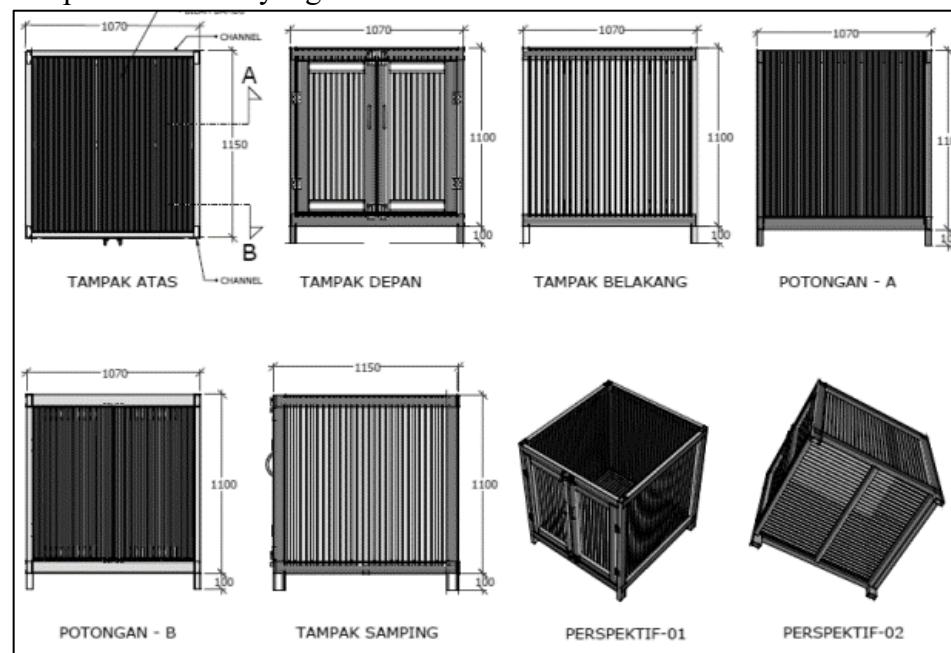
Tabel 4 Resep pembuatan Bioaktivator AR124

Bahan	Kuantitas	Unit
Molases	500	mL
Air kelapa	1500	mL
Nanas segar	2	kg
Ragi	4	Butir
Bekatul	300	mg
Air mineral	20	L

Sumber: (M. Brunner *et al.* 2021a)

2.4.2 Boks keramik

Pada proses teknik *biodrying* juga menggunakan wadah untuk proses pengeringan pada material yaitu memanfaatkan boks bambu (Gambar 1) berukuran (1x1x1) m³ yang mempunyai jarak antar bilah sekitar 1-1,5 cm. Bambu dipilih sebagai material untuk bagian dinding dan lantai boks karena mempunyai sifat melokal, terbarukan dan mudah dijadikan bilah-bilah serta mempunyai kemampuan menjaga stabilitas udara dan suhu sehingga dapat menciptakan kondisi yang cocok untuk aktivitas mikroba.



Gambar 1 Desain boks bambu

Sumber: (M. Brunner *et al.* 2021a)

Boks merupakan sebuah wadah yang mempunyai rangka balok dengan alas dan dindingnya dipasangkan bilah-bilah berukuran lebar sekitar 2-3 cm dan mempunyai jarak 1-1,5 cm antar bilahnya. Pada umumnya boks banyak diperuntukan untuk tempat tidur bayi dan tempat buah yang terdiri dari kerangka balok yang dipasangkan bilah-bilah pada sisi alas dan dindingnya. Bambu yang digunakan pada metode TOSS sebab sifatnya yang organik dan dapat menjaga kestabilan temperatur pada saat pengolahan sampah, namun boks bambu yang

tidak dapat digunakan dalam jangka panjang menyebabkan diperlukan pengembang atau ekspansi pada boks agar dapat digunakan dalam jangka panjang. Keramik merupakan material yang terbuat dari campuran mineral, metal dan non metal yang dibakar pada suhu tinggi sehingga terjadi sebuah proses glasisasi yang menghasilkan sifat yang permanen. Kelebihan yang dimiliki oleh keramik diantaranya ramah lingkungan, mudah dibentuk, tahan, mempunyai stabilisasi suhu dan multifungsi serta dapat digunakan dalam jangka panjang (Fatimah 2018). Sebagai material penutup lantai keramik mempunyai sifat dingin sehingga penggunaan keramik menyebabkan lantai menjadi dingin, walaupun keramik tidak dapat menyerap panas tetapi keramik dapat memaksimalkan fungsi antar elemen pada ruangan sehingga dapat menjaga suhu dingin pada ruangan (Nagara Prijatna *et al.* 2022). Pemanfaatan keramik sebagai material pembuatan boks diharapkan dapat membantu ekspansi pada reaktor pengolahan menggunakan metode TOSS.

2.5 Biopelet

Biopelet merupakan salah satu jenis bahan bakar padat yang terbentuk hasil pemanfaatan biomassa melalui teknik pengempaan dengan tekanan tinggi, yang menghasilkan bentuk yang seragam dengan ukuran diameter 6-12 mm dan panjang 10-20 mm serta mempunyai kandungan energi untuk bahan bakar. Ukuran biopelet lebih kecil dari briket, namun mempunyai manfaat yang sama yaitu sebagai bahan bakar untuk boiler, kompor, dan sebagai bahan bakar *co-firing* batu bara untuk penghangat ruangan perumahan dan industri pembangkit listrik (Rozi 2023).

2.6 Uji kualitas Biopelet

Kualitas merupakan kondisi dinamis yang berhubungan dengan mutu sebuah produk, jasa, manusia, proses dan lingkungan yang memenuhi suatu standar tertentu (Rumengen *et al.* 2020). Uji adalah tindakan yang dilakukan untuk mengukur mutu agar dapat memenuhi standar yang diinginkan dan menjadikan produk mempunyai nilai yang diakui. Kualitas biopelet pada penelitian akan diuji menggunakan dua parameter yaitu kadar air dan kadar abu sesuai standar SNI 8966:2021 tentang Bahan Bakar Jumputan Padat untuk Pembangkit Listrik. Kadar air merupakan persentase kandungan air pada suatu bahan yang dapat dinyatakan dalam berat basah dan berat kering dengan mempunyai batas maksimum 100% berdasarkan berat basah (Saleh 2021). Parameter lain yang penting diperhitungkan pada biopelet adalah abu. Abu merupakan zat organik dari hasil pembakaran suatu bahan yang erat kaitannya dengan kandungan zat mineral pada material sehingga kadar abu merupakan besarnya kandungan mineral pada suatu bahan. Mineral adalah zat organik yang tidak terbakar selama proses pembakaran sehingga kadar abu dipengaruhi oleh jenis bahan, umum bahan dan sejenisnya (Arianto *et al.* 2022). Pada perhitungannya kadar abu merupakan hasil dari perbandingan berat abu setelah pembakaran terhadap berat awal sampel sebelum pembakaran, kadar abu yang rendah menunjukkan bahwa kualitas bahan bakar padat semakin bagus dan begitu juga sebaliknya (Rozi 2023).

III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Cakupan lokasi penelitian adalah kawasan kampus IPB University, yang meliputi beberapa lokasi dan ruangan yaitu Rumah Kompos kampus IPB dramaga, Kelas Biotek gedung CB Sekolah Vokasi IPB, Lab. Mikrobiologi Sekolah Vokasi IPB, Lab. Lingkungan Program Studi Teknik dan Manajemen Lingkungan, Lab. Ilmu dan Teknologi Pakan (LITP) Fakultas Peternakan IPB dan Kelompok Pembudidaya Ikan (POKDAKAN) Lubuk Tempurung Indah, Kuranji Kota Padang. Kegiatan penelitian berlangsung selama 20 minggu, yang terhitung mulai dari pertengahan bulan Desember 2023 sampai dengan akhir bulan Maret 2024.

3.2 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Pada teknik pengumpulan dan analisis data diuraikan secara jelas dan merinci mengenai tata cara perolehan, pengolahan dan teknik analisis data yang sudah disesuaikan dengan ruang lingkup penelitian.

3.2.1 Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian meliputi data sekunder dan data primer. Data sekunder diperoleh dari studi literatur yang berupa data hasil penelitian sebelumnya yang dijadikan sebagai referensi dan pembanding dari hasil penelitian dan data primer diperoleh dari hasil pengukuran parameter-parameter sesuai ruang lingkup penelitian. Adapun cakupan data sekunder dan data primer pada penelitian sebagai berikut:

a. Data Primer

Data primer diperoleh dari hasil pengukuran pada penelitian. Data primer diambil mulai dari persiapan proses *biodrying* yaitu dari fermentasi bioaktivator AR124 meliputi temperatur, pH, warna, dan bau sebagai acuan dalam penentu keberhasilan fermentasi. Selanjutnya pada proses *biodrying* meliputi pengamatan penurunan kadar air dan beberapa faktor yang mempengaruhi proses *biodrying* seperti temperatur, pH, bau, dan penyusutan serta hasil uji kualitas biopelet yang meliputi uji kadar air dan kadar abu.

b. Data Sekunder

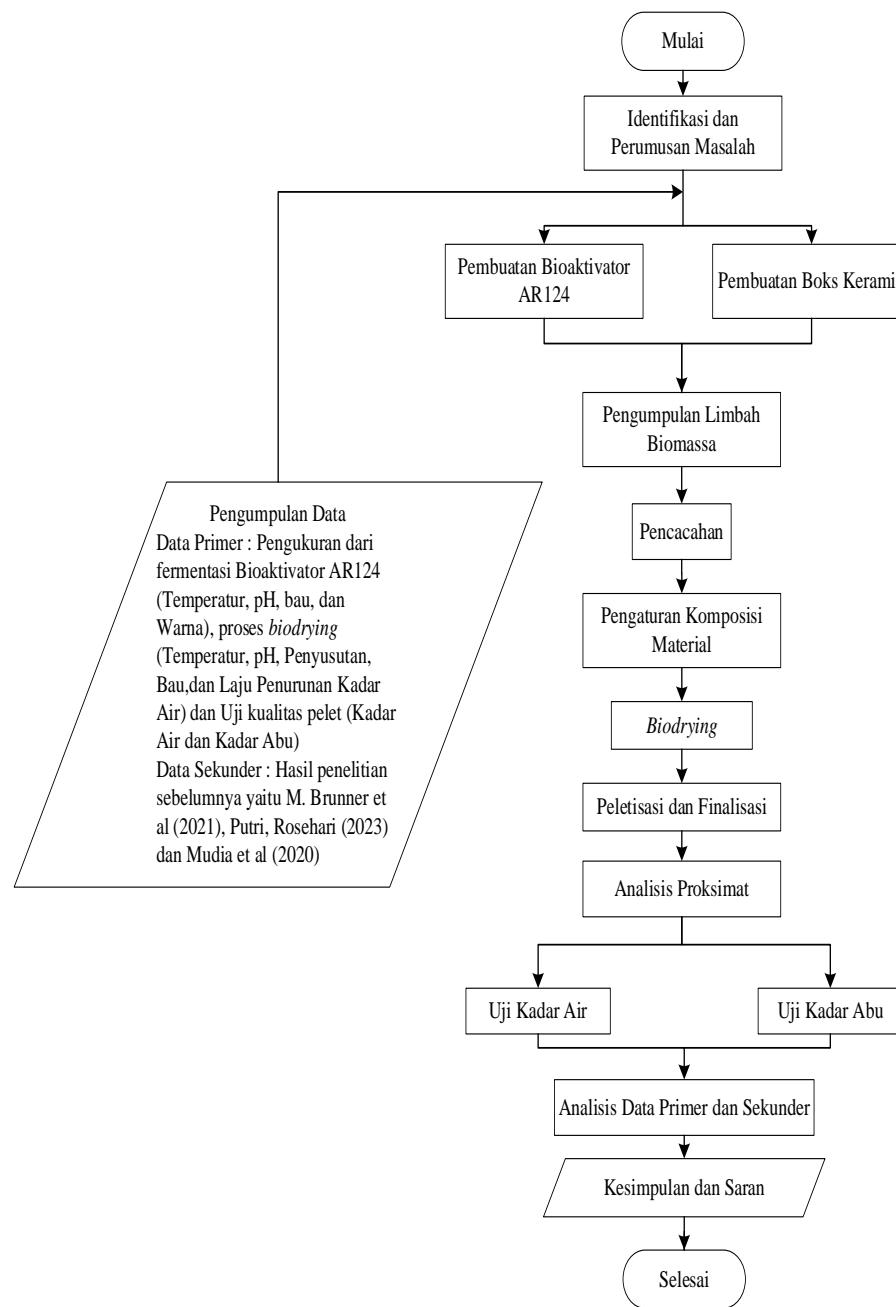
Data sekunder berupa acuan penelitian yang berasal dari hasil penelitian yang sudah ada sebelumnya. Data sekunder yang digunakan terdiri dari penelitian (M. Brunner *et al.* 2021a) dan (Putri 2023) atas penggunaan metode TOSS pada pengolahan limbah biomassa sampah daun ranting kering dan sekam padi, serta penelitian (Mudia *et al.* 2020) atas penelitiannya yang memanfaatkan buah bintaro sebagai biopelet serta SNI 8699:2021 tentang Bahan Bakar Jumputan Padat untuk Pembangkit Listrik sebagai standar acuan atas hasil uji kualitas biopelet.

3.2.2 Analisis Data

Teknik analisis data dilakukan dengan metode deskriptif, yaitu digunakan dalam menganalisis data primer dan sekunder yang diperoleh selama penelitian berlangsung yaitu data hasil proses fermentasi, proses *biodrying*, dan uji kualitas biopelet yang dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

Diagram Alir Penelitian

Prosedur penelitian dirangkum dalam sebuah diagram alir penelitian (Gambar 2), yang mencakup semua kegiatan dalam upaya memperoleh data dan mencapai tujuan dari penelitian, yang disajikan dalam sebagai berikut:



Gambar 2 Diagram alir penelitian

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat

Kegiatan penelitian melibatkan beberapa alat pendukung penelitian (Lampiran 11) yang meliputi wadah 25 L, gelas ukur, timbangan, termometer alkohol, kertas laksus, *soil pH meter*, penggaris, cawan penguap, timbangan analitik, tang krus, oven, desikator dan *furnace*.

3.4.2 Bahan

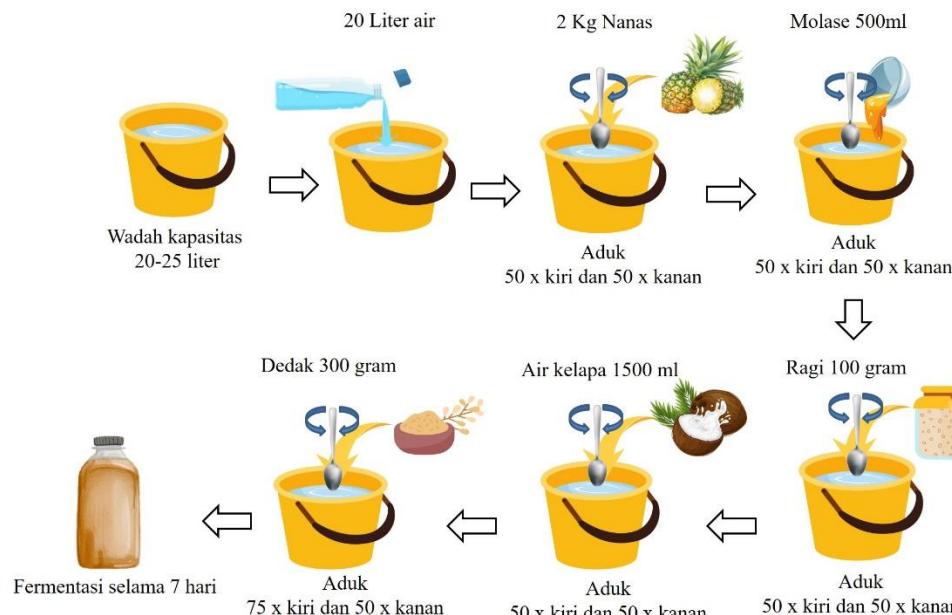
Kegiatan penelitian melibatkan beberapa bahan pendukung penelitian (Lampiran 12) yang meliputi air mineral, air kelapa, molase, dedak, nanas madu, ragi, keramik kuku 20 cm, besi siku lubang, baut mur, kabel ties, sampah daun kerai payung, buah bintaro, dan sekam padi.

3.5 Prosedur Kerja

Kegiatan penelitian terdiri dari beberapa tahapan prosedur kerja yaitu mulai dari pembuatan bahan dan media pendukung penelitian, proses inti penelitian yaitu proses *biodrying* dan terakhir tahapan pengujian kualitas biopelet.

3.5.1 Pembuatan Bioaktivator AR124

Bioaktivator AR124 merupakan cairan yang digunakan pada proses *biodrying* yang berfungsi untuk mengeringkan material penelitian, dengan langkah-langkah pembuatan Bioaktivator AR124 (Gambar 3).



Gambar 3 Proses pembuatan Bioaktivator AR124

Fermentasi Bioaktivator AR124 dilakukan selama satu minggu yang difermentasi secara anaerobik menggunakan wadah plastik tertutup. Selama proses fermentasi, tutup wadah fermentasi dibuka selama lima menit/hari untuk mengeluarkan uap air dan CO₂ dari hasil proses dekomposisi bahan organik oleh mikroba serta mencegah timbulnya temperatur tinggi yang berlebihan sehingga

mikroorganisme mati dan wadah meledak. Pada keadaan tersebut dilakukan pengukuran empat parameter untuk melihat faktor keberhasilan fermentasi cairan bioaktuator yang meliputi parameter temperatur, pH, bau dan warna.

3.5.2 Pembuatan Boks Keramik

Boks keramik merupakan media yang digunakan sebagai wadah penelitian sebagai tempat material penelitian selama proses *biodrying*. Penggunaan boks keramik selama proses *biodrying* bertujuan agar wadah dapat digunakan dalam jangka panjang dan dapat menjaga kestabilan suhu sehingga laju penurunan kadar air dapat berjalan lancar. Boks keramik dibuat sesuai prosedur (Gambar 4) dan ukuran wadah disesuaikan dengan kapasitas limbah yang digunakan dalam penelitian. Pembuatan boks masih tergolong manual dan belum bisa digunakan untuk kapasitas limbah lebih dari 1 kg sebab ukuran material keramik yang diperoleh terbatas yaitu 20 cm sehingga diharapkan pada penelitian selanjutnya boks lebih dikembangkan kembali sehingga dapat digunakan untuk pengolahan limbah biomassa yang berkapasitas lebih besar.



Gambar 4 Pembuatan boks keramik

3.5.3 Pengaturan Rasio dari Variasi Komposisi Limbah Biomassa

Varisi komposisi yang digunakan pada penelitian terdiri dari tiga jenis limbah biomassa yang meliputi sampah daun kerai payung (DK), sekam padi (SP) dan buah bintaro (BB). Terdapat lima rasio komposisi yang diatur dari tiga jenis limbah biomassa tersebut yang terdiri dua variasi yaitu perlakuan dan kontrol (Tabel 5). Pengaturan rasio komposisi adalah menggunakan persen berat yang disesuaikan dengan kapasitas limbah biomassa yang tersedia. Limbah biomassa yang digunakan dalam penelitian merupakan limbah yang dominan berasal dari kampus IPB dan limbah yang mudah didapatkan di wilayah kota Bogor. Daun kerai payung dan buah bintaro merupakan limbah yang berasal dari

kampus IPB yang memiliki kapasitas yang besar dan kurang termanfaatkan, serta sekam padi merupakan limbah biomassa yang dihasilkan dari hasil pengolahan padi menjadi beras yang banyak ditemukan di wilayah kota Bogor.

Tabel 5 Pengaturan variasi rasio komposisi limbah biomassa

Variasi	Komposisi Limbah Biomassa (%)			Kode Sampel	Ulangan		
	DK	SP	BB		1	2	3
Penambahan Bioaktivator AR124 (Perlakuan)	50	40	10	A	1	2	3
	60	30	10	B	1	2	3
	70	20	10	C	1	2	3
	80	10	10	D	1	2	3
	90	0	10	E	1	2	3
Tanpa Bioaktivator AR124 (Kontrol)	50	40	10	a	1	2	3
	60	30	10	b	1	2	3
	70	20	10	c	1	2	3
	80	10	10	d	1	2	3
	90	0	10	e	1	2	3

Terdapat lima variasi rasio komposisi limbah biomassa yang digunakan dalam penelitian. Penelitian dilakukan secara triplo yaitu tiga kali pengulangan dengan dua variasi meliputi kode sampel huruf kapital “A, B, C, D, E (variasi perlakuan) dengan penambahan Bioaktivator AR124 dan kode sampel huruf kecil “a, b, c, d, e” (variasi kontrol) tanpa melakukan penambahan Bioaktivator AR124. Total berat limbah biomassa yang digunakan pada setiap sampel adalah 800 gram dengan perhitungan persen berat (Rumus 1).

$$X = \left(\frac{n}{100} \right) \times 800 \text{ gram} \quad (1)$$

Keterangan:

X = Banyak limbah biomassa yang dibutuhkan (gram)

n = Persen setiap jenis limbah biomassa (%)

3.6 Pembuatan Biopelet dengan Metode TOSS

Pembuatan biopelet dengan metode TOSS terbagi dengan beberapa tahapan yaitu pemilahan, pencacahan, *biodrying*, peletisasi dan finalisasi.

3.6.1 Pengumpulan dan pemilahan limbah biomassa

Tahapan pengumpulan limbah biomassa (Gambar 5) dilakukan di kampus IPB yang dilakukan secara manual dengan melibatkan bagian pengolahan limbah kampus IPB dengan kapasitas limbah dikumpulkan sekitar $\pm 18 \text{ kg/jenis}$ limbah.



(a)



(b)



(c)

Gambar 5 Pengumpulan (a) Daun Kerai Payung (b) Sekam Padi (c) Buah Bintaro

Kegiatan pemilahan (Gambar 6) dilakukan setelah semua limbah biomassa sudah dikumpulkan sesuai kapasitas yang dibutuhkan untuk penelitian. Jenis limbah biomassa kerai payung dipisahkan dengan rantingnya dan hanya diambil dominan bagian daun sekitar 90% dan untuk jenis limbah buah bintaro yang diambil bagian kulit beserta dagingnya sekitar 95% serta untuk sekam padi digunakan seluruh bagianya.



(a)



(b)

Gambar 6 Pemilahan (a) Daun Kerai Payung (b) Buah Bintaro

3.6.2 Proses Pencacahan

Limbah biomassa yang sudah dikumpulkan, dicacah menggunakan mesin pencacah yang berada di rumah kompos kampus IPB Dramaga. Pencacahan daun kerai payung sampai berukuran 1-1,5 cm, sekam padi dihaluskan menjadi bubuk dan buah bintaro diparut halus menjadi serbuk-serbuk dengan proses pemarutan (Gambar 7). Proses pencacahan bertujuan agar semua komponen material pada setiap variasi komposisi pada proses pencampuran material lebih mudah dan merata.



(a)



(b)



(c)

Gambar 7 Pencacahan (a) Daun Kerai Payung (b) Sekam Padi (c) Buah bintaro

3.6.3 Proses *Biodrying*

Proses *biodrying* merupakan proses pengeringan material dalam bentuk penurunan kadar air namun tetap menjaga nilai kalor pada material. Metode TOSS menggunakan bantuan boks keramik dan penambahan Bioaktivator AR124 yang sudah difermentasi sebelumnya. Proses *biodrying* (Gambar 8) berlangsung 5 hari, jangkauan waktu tersebut sudah mencukupi proses *biodrying* sebab pengeringan yang terlalu lama dapat menurunkan nilai kalor dan material penelitian akan berubah menjadi kompos (M. Brunner *et al.* 2021a). Material penelitian mempunyai berat total 800 gram dengan perbandingan rasio komposisi yang sudah diatur pada subbab sebelumnya dan diberikan



Bioaktivator AR124 pada variasi perlakuan dengan dosis 3,2 ml yang diencerkan dengan 64 ml air dengan perhitungan dosis Bioaktivator AR124 (Rumus 2)

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{x_1}{x_2} \quad (2)$$

Keterangan:

n₁ = Kapasitas material untuk boks ukuran 1 (m³), diketahui 250 kg

n₂ = Kapasitas material yang digunakan dalam penelitian (kg)

x₁ = Dosis Bioaktivator AR124 untuk material 250 kg, diketahui 1000 ml

x₂ = Dosis bioaktivator yang dibutuhkan dalam penelitian (ml)

Dosis bioaktivator yang sudah diatur sebelumnya ditambahkan pada setiap lapisan material dengan cara penyemprotan untuk variasi perlakuan. Sebelumnya setiap material pada setiap sampel dicek terlebih dahulu kadar air sebelum dilakukan proses *biodrying* dan selama proses *biodrying* diamati laju penurunan kadar air per sampel penelitian. Selain kadar air, terdapat beberapa parameter yang juga diamati selama proses *biodrying* seperti temperatur, pH, bau dan penyusutan yang dilakukan setiap hari untuk menganalisis hasil proses *biodrying* serta setelah proses *biodrying* selesai akan dilakukan proses peletisasi menggunakan mesin pelet dan dilakukan beberapa uji kualitas biopelet.



Gambar 8 Proses *biodrying*

Keterangan:

- Penimbangan material
- Pencampuran material
- Pengaturan dosis Bioaktivator AR124
- Penambahan Bioaktivator AR124 pada variasi perlakuan

- e) Material dimasukkan kedalam boks
- f) Proses *biodrying* selama 5 hari
- g) Pengukuran temperatur
- h) Pengukuran pH
- i) Pengukuran penyusutan
- j) Observasi bau
- k) Pengamatan laju penurunan kadar air pada material

3.6.4 Proses Peletisasi

Peletisasi merupakan proses pembentukan produk biopelet dengan menggunakan mesin pencetak pelet ikan, yang menggunakan bantuan air sebanyak 10% dari berat total sampel yang berfungsi agar pada saat proses pencetakan, biopelet keluar dengan mudah dan lancar. Peletisasi pada mesin pelet menggunakan sistem pengempaan dengan cara penekanan dan pemasakan material sehingga menghasilkan biopelet dengan kerapatan tinggi dan berbentuk selinder dengan volume yang seragam. Kegiatan peletisasi (Gambar 9) dilakukan di Pokdakan Lubuk Tempurung Indah, Kuranji, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat.



Gambar 9 (a) proses peletisasi (b) biopelet

3.6.5 Proses Penjemuran

Kegiatan penjemuran (Gambar 10) merupakan proses finalisasi produk biopelet, yang dilakukan sekitar 7 - 8 jam atau setengah hari yang bertujuan untuk mengurangi kelembapan dan kadar air yang tersisa pada biopelet serta menjaga ketahanan bahan bakar padat biopelet.



Gambar 10 Penjemuran biopelet



3.7 Uji Kualitas Biopelet

Uji kualitas biopelet merupakan proses terakhir yang dilakukan setelah proses finalisasi produk, terdapat dua parameter pengukuran untuk pengujian kualitas biopelet meliputi analisis proksimat yaitu uji kadar air dan kadar abu. Dua parameter pengujian kualitas biopelet tersebut merupakan batasan yang dibuat pada penelitian yang disesuaikan dengan ruang lingkup yang sudah ditetapkan sebelumnya. Prosedur uji kadar air (Lampiran 13) pada biopelet berpedoman pada standar pengujian kadar air yaitu SNI 01-1506-1989 dalam SNI 8966:2021 tentang Bahan Bakar Jumputan Padat untuk Pembangkit Listrik. Hasil pengujian kadar air akan menggunakan perhitungan kadar air (Rumus 3).

$$\% \text{ Kadar Air} = \frac{W_1}{W_2} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

W1 = Kehilangan bobot contoh (gram)

W2 = Bobot contoh (gram)

Prosedur uji kadar abu (Lampiran 14) pada biopelet berpedoman pada standar pengujian kadar abu yaitu SNI 06-3730-1995 dalam SNI 8966:2021 tentang Bahan Bakar Jumputan Padat untuk Pembangkit Listrik. Hasil pengujian kadar abu akan menggunakan perhitungan kadar abu (Rumus 4).

$$\% \text{ Kadar Abu} = \frac{W_1}{W_2} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

W1 = Sisa pijar contoh (gram)

W2 = Bobot contoh (gram)

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penjabaran Proses *Biodrying*

4.1.1 Fermentasi Bioaktivator AR124

Fermentasi Bioaktivator AR124 dilakukan secara aerobik selama satu minggu yang bertujuan untuk menghasilkan cairan bioaktivator yang siap digunakan untuk proses *biodrying*. Hasil pengamatan fermentasi bioaktivator (Tabel 6), mencakup data pengukuran temperatur menggunakan termometer alkohol, pH menggunakan kertas laksus, dan bau serta warna yang diobservasi melalui indra penciuman dan penglihatan.

Tabel 6 Hasil pengukuran fermentasi Bioaktivator AR124

Hari ke	Parameter			
	Temperature (°C)	pH	Bau	Warna
0	28,0	5	Nanas molase pekat	Cokelat
1	32,0	4	Nanas molase Pekat	Merah Kecokelatan
2	31,5	4	Nanas molase mulai asam	Orange Kecokelatan
3	30,0	4	Nanas molase mulai asam	Orange Kecokelatan
4	29,0	4	Nanas molase mulai asam	Orange Kecokelatan
5	29,0	4	Asam seperti tapai	Orange Terang
6	29,0	4	Asam seperti tapai	Orange Terang
7	29,0	4	Harum tapai	Orange Terang

Hasil pengamatan yang dilakukan selama fermentasi Bioaktivator AR124 (Tabel 6), menunjukkan bahwa cairan bioaktivator mempunyai temperatur 28°C pada hari ke-0, naik pada hari ke-1 menjadi 32°C, turun menjadi 31,5°C pada hari ke-2, kembali turun menjadi 30°C pada hari ke-3, tetapi turun menjadi 29°C pada hari ke-4 dan nilainya konstan hingga hari ke-7. Peningkatan temperatur yang terjadi pada hari ke-1, disebabkan oleh mikroorganisme yang mulai aktif melakukan perombakan organik selama proses fermentasi. Temperatur turun pada hari ke-2 hingga hari ke-4 disebabkan oleh kegiatan mikroorganisme yang masih aktif bekerja, namun bahan organik telah didegradasi maksimal pada hari sebelumnya, sehingga kegiatan perombakan mulai menurun pada hari selanjutnya dan menyebabkan penurunan temperatur terus-menerus sampai hari ke-4. Temperatur yang konstan pada hari ke-4 sampai hari ke-7, diduga disebabkan oleh degradasi bahan organik yang hampir selesai dilakukan oleh mikroorganisme.

pH merupakan parameter pengamatan tambahan selama proses fermentasi adalah pH. Hasil pengamatan pH menunjukkan bahwa cairan bioaktivator mempunyai pH asam yaitu pH 5 pada hari ke-0. Pada hari ke-1, pH mengalami penurunan menjadi 4 dan nilainya konstan hingga hari ke-7. pH yang asam pada awal pengukuran disebabkan oleh bahan-bahan organik yang digunakan untuk membuat cairan bioaktivator yang mempunyai pH asam, seperti nanas, molase, dan air kelapa serta aktivitas mikroorganisme yang aktif mendegradasi bahan organik pada proses fermentasi diduga menyebabkan pH akan semakin asam. Proses fermentasi juga mempengaruhi perubahan bau pada cairan bioaktivator.

Hasil observasi bau (Tabel 6) menunjukkan bahwa terdapat perubahan bau yaitu dari bau campuran molase nanas yang pekat pada hari ke-0 berubah sedikit demi sedikit hingga menjadi harum tapai pada hari ke-7. Kondisi perubahan bau yang terjadi selama proses fermentasi disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme dalam perombakan bahan organik yang diduga menghasilkan perubahan bau menjadi harum tapai. Dampak lain yang dihasilkan dari proses fermentasi adalah warna (Gambar 11).



Gambar 11 Perubahan warna fermentasi Bioaktivator AR124 (a) Hari 0 dan (b) Hari 7

Hasil pengamatan warna (Tabel 6) dan (Gambar 11) menunjukkan bahwa cairan bioaktivator mengalami perubahan warna dari warna coklat pada hari ke-0 (Gambar 11a) berubah menjadi warna orange terang pada hari ke-7 (Gambar 11b). Aktivitas mikroorganisme yang sedang aktif mendegradasi bahan organik menyebabkan terjadi perubahan warna pada cairan bioaktivator. Hasil fermentasi bioaktivator dalam penelitian sejalan dengan penelitian sebelumnya, bahwa fermentasi bioaktivator menunjukkan peningkatan dan perubahan temperatur yang menandakan mikroorganisme aktif dalam perombakan bahan organik pada rentang temperatur 22 – 55°C, dan selama proses fermentasi aktivitas mikroorganisme menghasilkan lebih banyak ion H⁺ sehingga semakin lama proses fermentasi pH akan semakin asam, rentang pH selama fermentasi adalah 4 - 9 serta selama proses fermentasi akan menghasilkan perubahan bau menjadi harum asam tapai atau alkohol yang diikuti dengan perubahan warna pada cairan bioaktivator (Abidin *et al.* 2022). Kesesuaian hasil pengukuran empat parameter selama proses fermentasi dengan standar fermentasi pada penelitian sebelumnya, menunjukkan bahwa kegiatan fermentasi Bioaktivator AR124 disimpulkan berhasil dan sudah dapat diaplikasikan dalam proses *biodrying* pada metode TOSS.

4.1.2 Hasil Proses *Biodrying*

Proses *biodrying* dilakukan di ruangan kelas CB Biotek, Sekolah Vokasi IPB Cilibende. Penggunaan ruangan kelas bertujuan untuk menghindari kontaminasi lingkungan seperti air hujan, yang dapat mengganggu proses penurunan kadar air pada material penelitian.

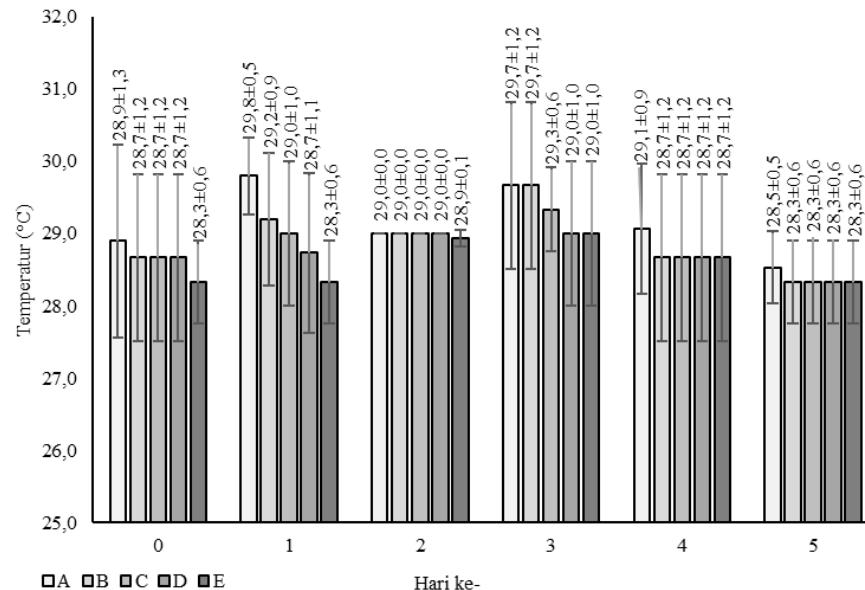
a. Temperatur

Pengukuran temperatur selama proses *biodrying* menggunakan alat *Soil pH Meter*, yang berfungsi untuk mengamati temperatur yang dihasilkan selama proses *biodrying*. Pengukuran temperatur dilakukan pada lima titik

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak mengulang kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

pengukuran yaitu titik tengah, kiri bawah, kiri atas, kanan bawah dan kanan atas. Hasil pengukuran dirata-ratakan untuk menghasilkan nilai temperatur yang akurat yang dihasilkan oleh media material penelitian selama proses *biodrying*. Hasil pengukuran parameter temperatur variasi perlakuan selama proses *biodrying* (Gambar 12).



Keterangan:

DK:SP:BB dalam persen berat (%)

A = 50:40:10 B = 60:30:10 C = 70:20:10 D = 80:10:10 E = 90:0:10

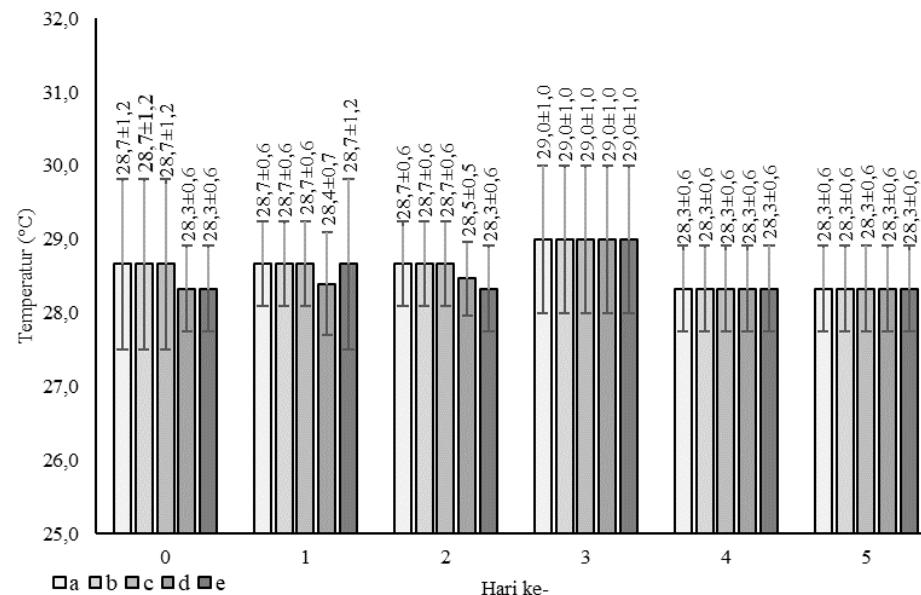
Gambar 12 Temperatur variasi perlakuan dari proses *biodrying*

Hasil pengukuran temperatur variasi perlakuan (Gambar 12) menunjukkan bahwa temperatur yang beragam, yaitu nilai temperatur yang hampir mengalami perubahan setiap harinya dan hanya beberapa variasi komposisi yang mempunyai nilai temperatur yang sama dalam waktu yang singkat (dua hari berturut-turut) selama proses *biodrying*. Temperatur yang beragam dilihat pada variasi komposisi A, mempunyai temperatur 28,9°C pada hari ke-0, naik menjadi 29,8°C pada hari ke-1, turun menjadi 29,0°C pada hari ke-2, naik kembali menjadi 29,7°C pada hari ke-3, kembali turun menjadi 29,1°C pada hari ke-4, dan turun menjadi 28,5 °C pada hari ke-5. Variasi komposisi B juga mengalami hal yang sama yaitu mempunyai temperatur 28,7°C pada hari ke-0, naik menjadi 29,2°C pada hari ke-1, turun menjadi 29,0°C pada hari ke-2, naik kembali menjadi 29,7°C pada hari ke-3, kembali turun menjadi 28,7°C pada hari ke-4 dan turun menjadi 28,3°C pada hari ke-5. Variasi komposisi C menunjukkan temperatur 28,7°C pada hari ke-0, naik menjadi 29,0°C pada hari ke-1, pada hari ke-2 mempunyai temperatur sama dengan hari sebelumnya, naik menjadi 29,3°C pada hari ke-3, turun menjadi 28,7°C pada hari ke-4 dan turun menjadi 28,3°C pada hari ke-5. Variasi komposisi D menunjukkan pada hari ke-0 dan hari ke-1 mempunyai temperatur konstan yaitu 28,7°C, pada hari ke-2 mengalami kenaikan menjadi 29,0°C dan nilainya konstan hingga hari ke-3, turun menjadi 28,7°C pada hari ke-4 dan turun menjadi 28,3°C pada hari ke-5. Variasi komposisi E menunjukkan temperatur konstan pada hari ke-0 dan hari ke-1 yaitu 28,3°C, naik menjadi 28,9°C

pada hari ke-2, naik menjadi 29,0°C pada hari ke-3 dan turun menjadi 28,7°C pada hari ke-4 serta turun hingga hari ke-5 menjadi 28,3°C.

Variasi perlakuan menghasilkan rentang temperatur antara 28,3 – 29,8°C dan nilai temperatur mengalami perubahan yang beragam selama proses *biodrying*. Temperatur yang beragam, dihasilkan oleh bakteri bakteri mesofilik melalui aktivitas perombakan material organik, yang menghasilkan peningkatan dan perubahan temperatur. Temperatur pada variasi perlakuan, menghasilkan temperatur yang masih berada direntang normal (22 – 45°C) atau tidak menghasilkan temperatur yang lebih tinggi, yang diduga disebabkan oleh ketinggian dari tumpukan material yang terlalu rendah yaitu 20 cm sehingga menyebabkan kapasitas material penelitian tidak mampu menahan laju perpindahan panas dan material lebih cepat kehilangan panas. Sejalan dengan penelitian sebelumnya, bahwa ketinggian tumpukan material yang dapat menahan laju perpindahan panas dan menghasilkan suhu tinggi adalah 1 – 2,2 meter dengan tinggi maksimum wadah yang digunakan adalah 1,5 – 1,8 meter (Kartika 2022).

Selama proses *biodrying*, pengamatan temperatur juga dilakukan pada variasi kontrol dengan hasil pengukuran temperatur (Gambar 13).



Keterangan:

DK:SP:BB dalam persen berat (%)

a = 50:40:10 b = 60:30:10 c = 70:20:10 d = 80:10:10 e = 90:0:10

Gambar 13 Temperatur variasi kontrol dari proses *biodrying*

Hasil pengukuran temperatur variasi kontrol (Gambar 13) menunjukkan bahwa perubahan temperatur kurang beragam dibandingkan variasi perlakuan (Gambar 12) yaitu terdapat nilai temperatur yang konstan dalam jangka waktu cukup lama (lebih dari dua hari berturut-turut) dan perubahan temperatur yang cenderung sedikit. Perubahan temperatur yang cenderung sedikit pada variasi kontrol, dapat dilihat pada variasi komposisi a, b, dan c yang mempunyai temperatur konstan dari hari ke-0 hingga hari ke-2 yaitu 28,7°C, naik menjadi 29,0°C pada hari ke-3, turun menjadi 28,3°C pada hari ke-4 dan nilainya konstan hingga hari ke-

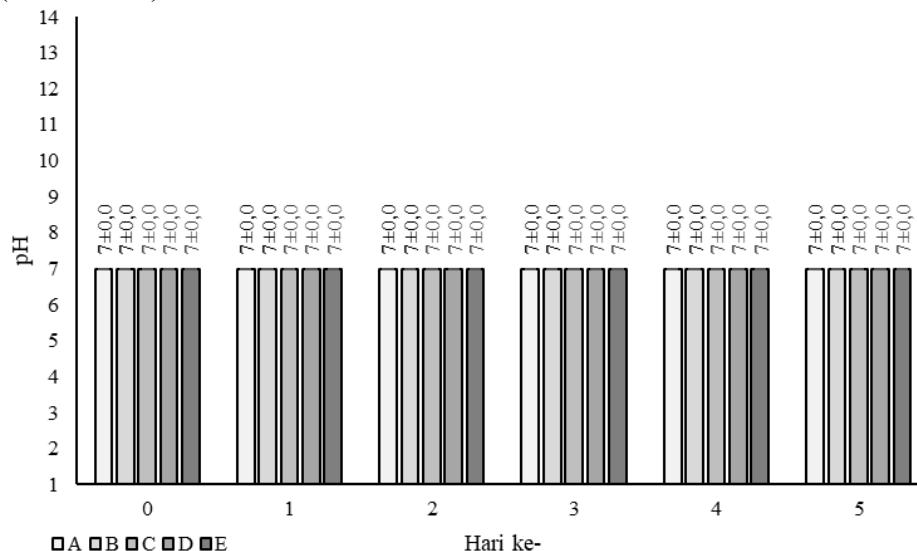
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak mengulang kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

5. Variasi komposisi d mempunyai temperatur 28,3°C pada hari ke-0, naik menjadi 28,4 °C pada hari ke-1, naik menjadi 28,5 °C pada hari ke-2, kembali naik pada hari ke-3 menjadi 29,0°C, turun pada hari ke-4 menjadi 28,3 °C dan nilainya konstan hingga hari ke-5. Variasi komposisi e mempunyai temperatur 28,3°C pada hari ke-0, naik pada hari ke-1 menjadi 28,7°C, turun pada hari ke-2 menjadi 28,3°C, kembali naik pada hari ke-3 menjadi 29,0°C, turun pada hari ke-4 menjadi 28,3 °C dan nilainya konstan hingga hari ke-5. Temperatur variasi kontrol mengalami perubahan pada rentang 28,3 – 29°C dengan perubahan yang kurang beragam dan sedikit, yang disebabkan pada variasi kontrol yang tidak ditambahkan Bioaktivator AR124 sehingga tidak terjadi aktivitas perombakan material organik oleh mikroorganisme dan kondisi tumpukan material penelitian yang rendah.

b. Derajat Keasaman (pH)

Pengukuran pH menggunakan *Soil pH Meter*, yang bertujuan untuk mengamati kondisi pH material penelitian selama proses *biodrying*. Hasil pengukuran parameter pH variasi perlakuan selama proses *biodrying* (Gambar 14).



Keterangan:

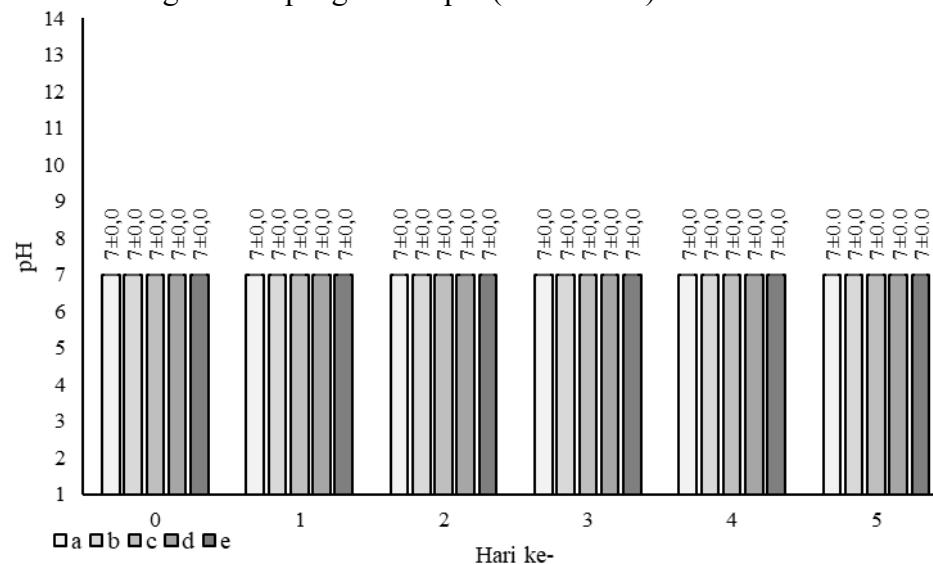
DK:SP:BB dalam persen berat (%)
 A = 50:40:10 B = 60:30:10 C = 70:20:10 D = 80:10:10 E = 90:0:10

Gambar 14 pH variasi perlakuan dari proses *biodrying*

Hasil pengukuran pH variasi perlakuan (Gambar 14) menunjukkan bahwa kondisi pH material penelitian sejak hari ke-0 hingga hari ke-5 menghasilkan pH 7 atau netral. Penambahan cairan Bioaktivator AR124 pada hari ke-0, menunjukkan tidak mempengaruhi kondisi pH pada material penelitian yang memiliki pH 7 dan setelah proses *biodrying* berlangsung mulai hari ke-1 hingga hari ke-5 menunjukkan bahwa aktivitas perombakan material organik tidak mempengaruhi kondisi pH material penelitian sehingga kondisi pH tidak mengalami perubahan dan nilainya tetap 7. pH variasi perlakuan dipengaruhi oleh temperatur yang dihasilkan selama proses *biodrying* yang masih berada dalam rentang

temperatur fase mesofilik sehingga aktivitas perombakan organik belum dapat digantikan oleh bakteri termofilik yang dapat menyebabkan kondisi pH mengalami peningkatan menjadi basa. Sejalan dengan penelitian sebelumnya, bahwa ketika temperatur yang dihasilkan sudah diatas 45°C maka aktivitas bakteri mesofilik akan terhenti dan digantikan oleh bakteri temofilik sampai temperatur 60°C. Perombakan material organik oleh bakteri termofilik akan menghasilkan amoniak dan nitrogen, yang menyebabkan pH meningkat dan berubah menjadi basa (Zaman *et al.* 2018).

Selama proses *biodrying*, pengamatan pH juga dilakukan pada variasi kontrol dengan hasil pengukuran pH (Gambar 15).



Keterangan:

DK:SP:BB dalam persen berat (%)
 a = 50:40:10 b = 60:30:10 c = 70:20:10 d = 80:10:10 e = 90:0:10

Gambar 15 pH variasi kontrol dari proses *biodrying*

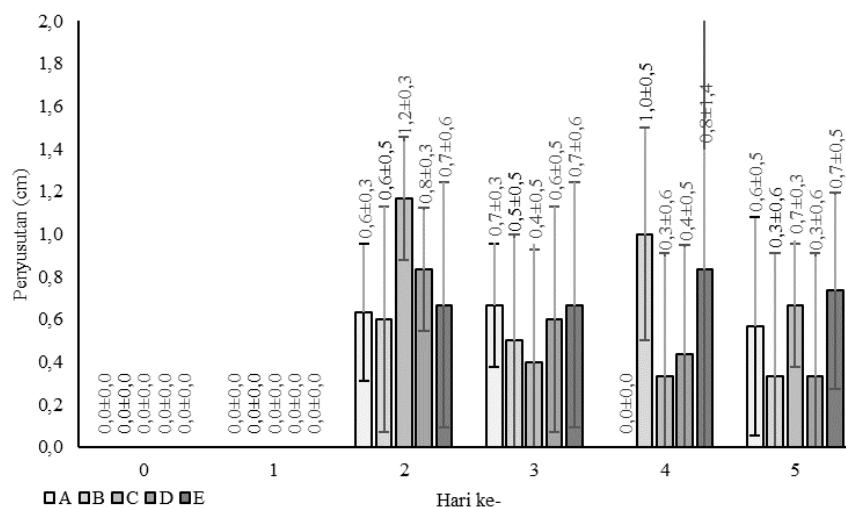
Hasil pengukuran pH pada variasi kontrol (Gambar 15) menunjukkan bahwa kondisi pH material penelitian mempunyai pH konstan sejak hari ke-0 hingga hari ke- 5 yaitu 7 atau netral. Keadaan pH pada variasi kontrol yang konstan selama proses *biodrying* disebabkan karena tidak perlakuan apapun sehingga tidak terjadi reaksi perubahan pH.

c. Penyusutan

Pengukuran penyusutan menggunakan alat penggaris, dengan tujuan untuk mengamati kondisi penyusutan material penelitian yang terjadi selama proses *biodrying*. Pada boks material diberi tanda menggunakan spidol dan ketika penyusutan terjadi ketinggian tumpukan material akan berkurang. Hasil pengukuran penyusutan variasi perlakuan selama proses *biodrying* (Gambar 16).



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak mengulang kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Keterangan:

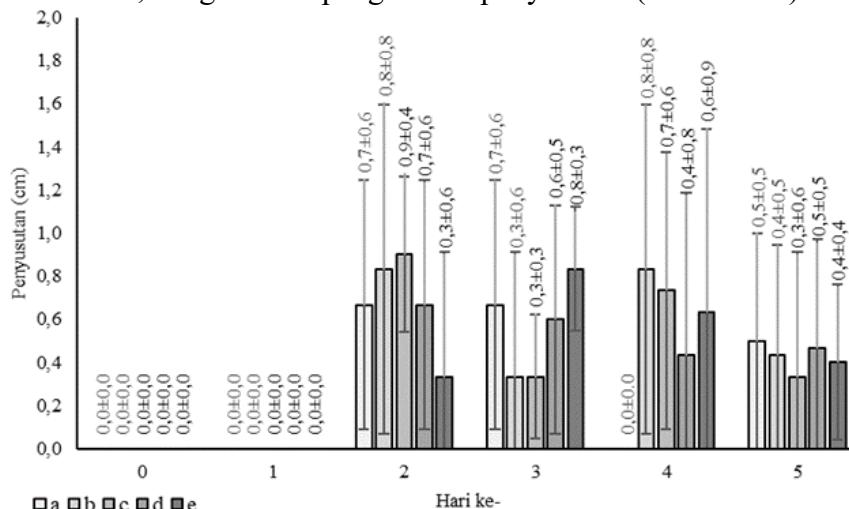
DK:SP:BB dalam persen berat (%)

A = 50:40:10 B = 60:30:10 C = 70:20:10 D = 80:10:10 E = 90:0:10

Gambar 16 Penyusutan variasi perlakuan proses *biodrying*

Hasil pengukuran penyusutan variasi perlakuan (Gambar 16), menunjukkan penyusutan yang terjadi pada variasi perlakuan mempunyai nilai penyusutan yang cukup besar dengan penyusutan terendah sebesar 0,3 cm dan penyusutan tertinggi 1,2 cm. Berdasarkan grafik diketahui penyusutan mulai terjadi pada hari ke-2 dan nilai penyusutan beragam setiap harinya selama proses *biodrying*. Penyusutan yang terjadi pada hari ke-2 disebabkan oleh temperatur yang dihasilkan pada hari ke-1 masih dalam proses pelepasan panas sehingga diduga penyusutan baru terlihat pada hari ke-2 dan pelepasan panas yang terjadi akibat temperatur, disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme dalam perombakan material organik. Sejalan dengan penelitian sebelumnya, bahwa temperatur selama pengeringan menyebabkan tekanan uap air pada material lebih tinggi daripada tekanan uap air di udara sehingga terjadi perpindahan uap air dari material ke udara sehingga terjadi penurunan kadar air dan menyebabkan penyusutan (Safrina *et al.* 2023).

Pengamatan penyusutan selama proses *biodrying* juga dilakukan pada variasi kontrol, dengan hasil pengukuran penyusutan (Gambar 17).



Keterangan:

DK:SP:BB dalam persen berat (%)

a = 50:40:10 b = 60:30:10 c = 70:20:10 d = 80:10:10 e = 90:0:10

Gambar 17 Penyusutan variasi kontrol proses *biodrying*

Hasil pengukuran penyusutan variasi kontrol (Gambar 17), menunjukkan penyusutan yang terjadi pada variasi kontrol mempunyai nilai penyusutan yang lebih kecil dari variasi perlakuan (Gambar 16), yaitu dengan nilai penyusutan paling rendah 0,3 cm dan penyusutan paling tinggi 8 cm serta berdasarkan grafik dapat dilihat penyusutan juga terjadi pada hari ke-2. Penyusutan yang lebih sedikit pada variasi kontrol dibandingkan variasi perlakuan, dipengaruhi oleh temperatur yang dihasilkan pada variasi kontrol yang mempunyai perubahan temperatur yang tidak begitu beragam selama proses *biodrying* sehingga menyebabkan nilai penyusutan yang dihasilkan juga lebih kecil dari variasi perlakuan. Selama proses *biodrying* diketahui bahwa temperatur variasi perlakuan (Gambar 12) dan kontrol (Gambar 13) mempunyai memiliki perbedaan yang tidak begitu jauh yaitu variasi perlakuan berkisar 28,3 – 29,8°C dan kontrol berkisar 28,3 – 29°C sehingga diduga berdasarkan rentang temperatur tersebut, penyusutan material baru dapat terjadi pada hari ke-2.

d. Bau

Parameter bau diukur melalui metode observasi menggunakan indra penciuman untuk mengamati perubahan bau yang dihasilkan selama proses *biodrying*. yang diamati selama proses *biodrying* berlangsung. Hasil pengukuran parameter bau selama proses *biodrying* (Tabel 7).

Tabel 7 Pengukuran bau proses *biodrying*

Variasi	KS	Hari					
		0	1	2	3	4	5
Perlakuan	A	Bau daun & sekam padi	Bau daun & sekam padi	Bau daun & sekam padi	Bau daun	Bau daun	Bau daun
	B	Bau daun & sekam padi	Bau daun & sekam padi	Bau daun & sekam padi	Bau daun	Bau daun	Bau daun
	C	Bau daun & sekam padi	Bau daun & sekam padi	Bau daun & sekam padi	Bau daun	Bau daun	Bau daun
	D	Bau daun					
	E	Bau daun					
Kontrol	a	Bau daun & sekam padi					
	b	Bau daun & sekam padi					
	c	Bau daun & sekam padi					
	d	Bau daun					
	e	Bau daun					

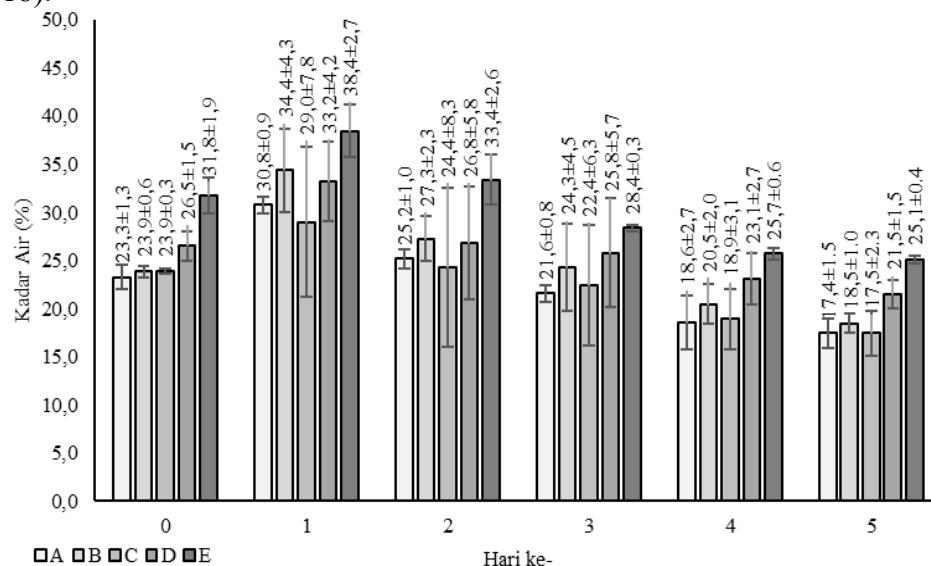
Keterangan: KS (Kode Sampel)

Data pengukuran parameter bau pada variasi perlakuan dan kontrol (Tabel 7) menunjukkan bahwa variasi komposisi A, B, dan C perlakuan mengalami perubahan bau, dari bau campuran dari daun dan sekam padi berubah menjadi bau daun pada hari ke-3 dan bau tersebut yang konstan hingga hari ke-5. Variasi komposisi D dan E yang tidak mengalami

perubahan bau selama proses *biodrying*, yang disebabkan oleh presentase sekam padi pada variasi komposisi A, B, dan C lebih besar sehingga ketika perubah bau terjadi dapat langsung terdeteksi oleh indra penciuman dengan mudah tetapi pada variasi komposisi D yang mempunyai presentase sekam padi yang kecil dan variasi komposisi E yang tidak ada penambahan sekam padi sehingga ketika adanya perubahan bau tidak terdeteksi dengan jelas karena komposisi didominasi oleh daun. Kondisi perubahan bau pada variasi perlakuan disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme dalam perombakan material organik, yang menghasilkan perubahan bau yaitu menjadi bau daun. Sejalan dengan penelitian sebelumnya, bahwa aktivitas mikroorganisme dalam perombakan bahan organik dapat menghasilkan gas sehingga mempengaruhi bau (Hamidah *et al.* 2023). Data pengukuran bau menunjukkan bahwa variasi kontrol tidak mengalami perubahan bau, karena tidak dilakukan penambahan bioaktivator pada variasi kontrol sehingga tidak ada aktivitas mikroorganisme yang dapat menyebabkan perubahan bau.

e. Laju Penurunan kadar Air

Persentase kadar air yang dimiliki material menjadi tolak ukur dari keberhasilan proses *biodrying* pada metode TOSS. Pengukuran kadar air dilakukan setiap hari selama proses *biodrying* dengan menggunakan metode pengukuran SNI 01-1506-1989, yang bertujuan untuk mengamati laju penurunan kadar air selama proses *biodrying*. Hasil pengukuran laju penurunan kadar air variasi perlakuan selama proses *biodrying* (Gambar 18).



Keterangan:

DK:SP:BB dalam persen berat (%)

A = 50:40:10 B = 60:30:10 C = 70:20:10 D = 80:10:10 E = 90:0:10

Gambar 18 Laju penurunan kadar air variasi perlakuan

Hasil pengukuran laju penurunan kadar air variasi perlakuan (Gambar 18), menunjukkan semua variasi komposisi perlakuan (A, B, C, D, dan E) mengalami penurunan kadar air yang signifikan yaitu kadar air material selalu turun selama proses *biodrying*. Penurunan yang signifikan pada variasi perlakuan, dapat dilihat pada variasi komposisi A mempunyai kadar



air 23,3 % pada hari ke-0 dan mengalami kenaikan pada hari ke-1 menjadi 30,8%, turun menjadi 25,2% pada hari ke-2, turun menjadi 21,6% pada hari ke-3, turun menjadi 18,6% pada hari ke-4 dan turun sampai hari ke-5 menjadi 17,4%. Variasi komposisi B juga mengalami hal yang sama yaitu mempunyai kadar air sebesar 23,9% pada hari ke-0, naik menjadi 34,4% pada hari ke-1, turun menjadi 27,3% pada hari ke-2, turun menjadi 24,3% pada hari ke-3, turun menjadi 20,5% pada hari ke-4 dan turun sampai hari 5 menjadi 18,5%. Variasi komposisi C mempunyai kadar air sebesar 23,9% pada hari ke-0, naik menjadi 29,0% pada hari ke-1, turun menjadi 24,4% pada hari ke-2 dan nilainya konstan hingga hari ke-3, turun pada hari ke-4 menjadi 18,9% dan turun sampai hari ke-5 menjadi 17,5%. Variasi komposisi D mempunyai kadar air sebesar 26,5% pada hari ke-0, naik menjadi 32,2% pada hari ke-1, turun menjadi 26,8% pada hari ke-2, turun menjadi 25,8% pada hari ke-3, turun menjadi 23,1% pada hari ke-4 dan turun sampai hari ke-5 menjadi 21,5%. Variasi komposisi E mempunyai kadar air sebesar 31,8% pada hari ke-0, naik menjadi 38,4% pada hari ke-1, turun menjadi 33,4% pada hari ke-2, turun menjadi 28,4% pada hari ke-3, turun menjadi 25,7% pada hari ke-4 dan turun sampai hari ke-5 menjadi 25,1%.

Berdasarkan data, penurunan kadar air yang signifikan mulai terjadi pada hari ke-2, setelah adanya kenaikan kadar air pada material pada hari ke-1. Kenaikan kadar air pada hari ke-1 disebabkan oleh penambahan Bioaktivator AR124 yang berbentuk cairan sehingga terjadi kenaikan kadar air pada material, namun pada hari ke-2 hingga hari ke-5 terus terjadi penurunan yang menunjukkan terjadinya aktivitas mikroorganisme sehingga kadar air material terus menurun selama proses *biodrying*. Penurunan kadar air dipengaruhi oleh temperatur yang dihasilkan selama proses *biodrying* (Gambar 13) yang mempunyai temperatur beragam dan menandakan mikroorganisme aktif bekerja selama proses *biodrying* sehingga menyebabkan penurunan kadar air. Sejalan dengan pernyataan penelitian sebelumnya, bahwa peningkatan atau keragaman temperatur terjadi selama proses *biodrying* dapat mempengaruhi tekanan uap air pada material lebih tinggi daripada tekanan uap air diudara sehingga terjadi perpindahan uap air dari material ke udara yang menghasilkan penurunan kadar air (Safrina *et al.* 2023).

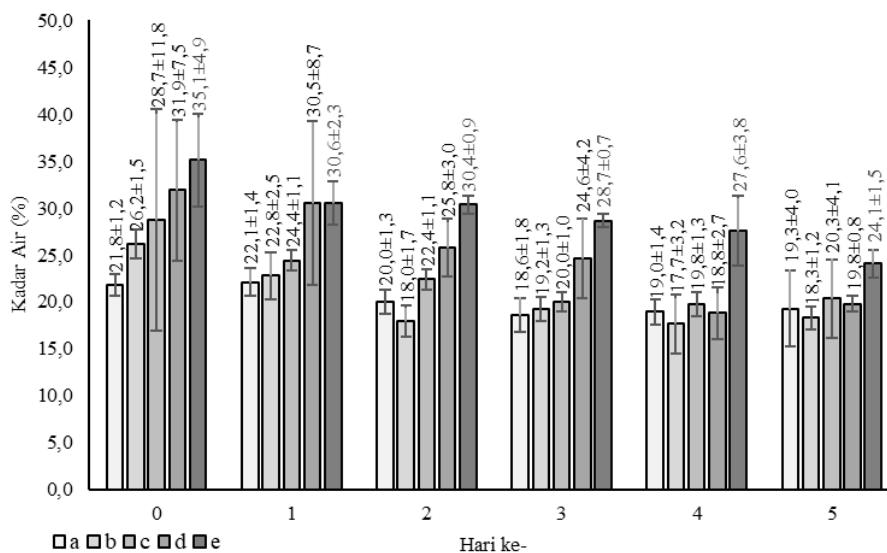
Pengamatan laju penurunan kadar air selama proses *biodrying* juga dilakukan pada variasi kontrol, dengan hasil pengukuran laju penurunan kadar air (Gambar 19).

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak mengulang kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Keterangan:

DK:SP:BB dalam persen berat (%)

a = 50:40:10 b = 60:30:10 c = 70:20:10 d = 80:10:10 e = 90:0:10

Gambar 19 Laju penurunan kadar air variasi kontrol

Grafik pengukuran laju penurunan kadar air variasi kontrol (Gambar 19), menunjukkan laju penurunan kadar air pada sebagian besar variasi komposisi (a, b, c, dan d) mengalami penurunan kadar air tidak stabil dan penurunan yang tidak begitu besar pada variasi komposisi e selama proses *biodrying*. Penurunan kadar air pada variasi kontrol, dapat dilihat pada variasi komposisi a yang mempunyai kadar air 21,8% pada hari ke-0, naik kadar air menjadi 22,1% pada hari ke-1, turun menjadi 20,0% pada hari ke-2, turun menjadi 18,6% pada hari ke-3, naik menjadi 19,0% pada hari ke-4 dan naik menjadi 19,3% pada hari ke-5. Variasi komposisi b juga mengalami hal yang sama yaitu mempunyai kadar air sebesar 26,2% pada hari ke-0, turun menjadi 22,8% pada hari ke-1, turun menjadi 18,0% pada hari ke-2, naik menjadi 19,2% pada hari ke-3, turun menjadi 17,7% pada hari ke-4 dan naik menjadi 18,3% pada hari ke-5. Variasi komposisi c mempunyai kadar air sebesar 28,7% pada hari ke-0, turun menjadi 24,4% pada hari ke-1, turun menjadi 22,4% pada hari ke-2, turun menjadi 20,0% pada hari ke-3, turun menjadi 19,8% pada hari ke-4 dan naik menjadi 20,3% pada hari ke-5. Variasi komposisi d mempunyai kadar air sebesar 31,9% pada hari ke-0, turun menjadi 30,5% pada hari ke-1, turun menjadi 25,8% pada hari ke-2, turun menjadi 24,6% pada hari ke-3, turun menjadi 18,8% pada hari ke-4 dan naik menjadi 19,8% pada hari ke-5. Variasi komposisi e mempunyai kadar air sebesar 35,1% pada hari ke-0, turun menjadi 30,6% pada hari ke-1, turun menjadi 30,4% pada hari ke-2, turun menjadi 28,7% pada hari ke-3, turun menjadi 27,6% pada hari ke-4 dan turun menjadi 24,1% pada hari ke-5.

Berdasarkan data semua variasi komposisi kontrol kecuali e mengalami penurunan kadar air yang tidak stabil dan dilihat dari nilai penurunannya komposisi e tidak menghasilkan penurunan kadar air yang begitu besar, kondisi tersebut disebabkan oleh tidak ada aktivitas mikroorganisme karena tidak ada penambahan bioaktivator pada proses *biodrying* sehingga

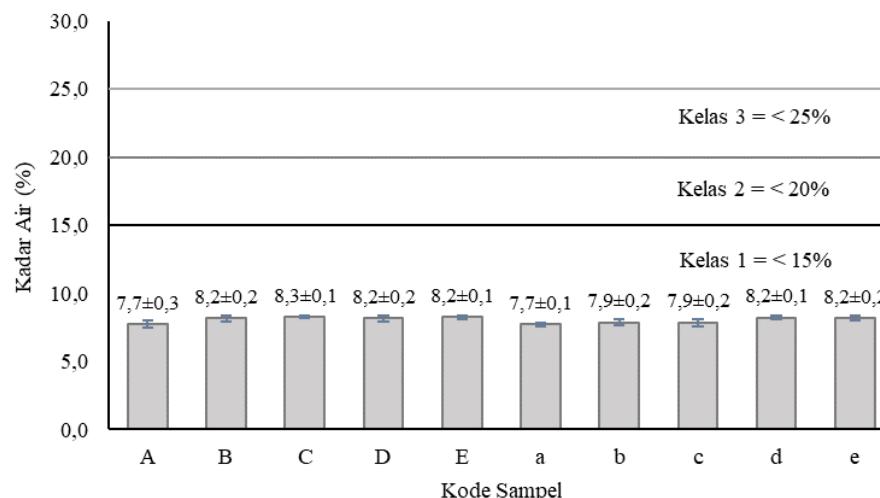
penurunan kadar air pada material tidak merata dan tidak begitu besar serta menyebabkan hasil pengukuran kadar air tidak stabil.

4.2 Hasil Uji dan Evaluasi Kualitas Biopelet

Uji kualitas biopelet terdiri dari dua pengujian yaitu uji kadar air yang dilakukan sesuai prosedur pengujian berdasarkan SNI 01-1506-1989 dan uji kadar abu yang dilakukan sesuai prosedur pengujian berdasarkan SNI 06-3730-1995. Hasil pengujian kemudian disandingkan dengan standar kualitas biopelet sesuai SNI 8966:2021 tentang Bahan Bakar Jumputan untuk Pembangkit Listrik. Pada SNI 8966:2021 untuk kadar air dan kadar abu terdapat tiga kelas yang menjadi klasifikasi baku mutu kualitas biopelet yaitu kelas 1 untuk hasil uji yang mempunyai nilai $< 15\%$, kelas 2 untuk hasil uji yang mempunyai nilai $< 20\%$ dan kelas 3 untuk hasil uji yang mempunyai nilai $< 25\%$. Berdasarkan SNI 8966:2021 untuk parameter uji kadar air dan kadar abu, semakin rendah nilai hasil pengujian atau semakin rendah kriteria kelas yang diperoleh menandakan kualitas biopelet semakin bagus.

4.2.1 Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan di Lab. Mikrobiologi Sekolah Vokasi IPB dengan menggunakan prosedur SNI 01-1506-1989. Hasil pengujian parameter kadar air biopelet (Gambar 20).



Keterangan:

DK:SP:BB dalam persen berat (%)

A atau a = 50:40:10 B atau b = 60:30:10 C atau c = 70:20:10 D atau d = 80:10:10 E atau e = 90:0:10

Gambar 20 Uji kadar air biopelet

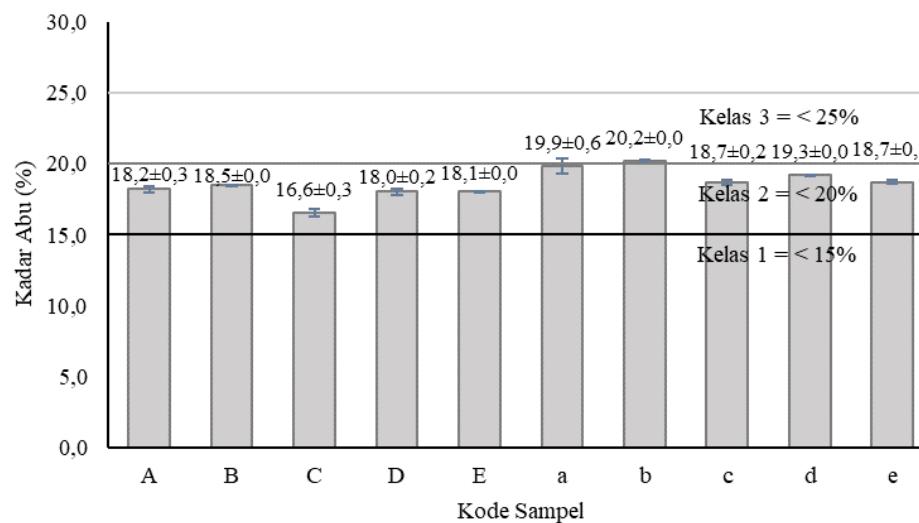
Hasil pengujian kadar air biopelet (Gambar 20), menunjukkan semua variasi komposisi baik perlakuan dan kontrol masuk kedalam kelas 1 SNI 8966:2021 tentang Bahan Bakar Padat untuk Pembangkit Listrik yaitu kadar air yang berada dibawah 15% yaitu variasi komposisi perlakuan A menghasilkan kadar air sebesar 7,7%, variasi komposisi perlakuan B, C, D, dan E menghasilkan kadar air sebesar 8,2%, 8,3%, 8,2% dan 8,2%. Selanjutnya pada variasi komposisi kontrol a menghasilkan kadar air sebesar 7,7%, variasi komposisi kontrol b, c, d, dan e menghasilkan kadar air sebesar 7,9%, 7,9%,

8,2% dan 8,2%. Perbedaan nilai pengujian kadar air antara variasi perlakuan dan kontrol tidak mengalami perbedaan yang begitu besar atau mempunyai nilai kadar air yang hampir sama.

Teknik pengempaan dengan tekanan tinggi pada mesin pelet menghasilkan biopelet yang mempunyai kerapatan tinggi dan bentuk yang seragam yang menyebabkan pori-pori pada biopelet semakin kecil sehingga tidak ada ruang bagi molekul air, kemudian kegiatan penjemuran selama setengah hari dibawah sinar matahari yang dilakukan untuk finalisasi produk menyebabkan kandungan air yang tersisa pada biopelet diserap oleh matahari sehingga menghasilkan nilai kadar air yang hampir sama. Sejalan dengan penelitian sebelumnya, bahwa tingginya gaya tekan saat pengempaan pada proses pencetakan biopelet menyebabkan kadar air yang tersisa didalam biopelet akan mengalami penurunan cukup signifikan karena terjadi pemampatan volume akibat naiknya gaya tekan yang diberikan terhadap suatu benda (Yayi *et al.* 2022) dan kemudian kegiatan penjemuran biopelet selama 7 – 8 jam di bawah sinar matahari yang dapat mengangkat kandungan air yang tersisa dan menjadikan produk biopelet tahan lama (M. Brunner *et al.* 2021a). Rendahnya presentase kadar air pada bahan bakar biopelet, menandakan bahwa bahan bakar biopelet mempunyai nilai kalor yang tinggi. Sejalan dengan penelitian sebelumnya, bahwa presentase kadar air pada bahan bakar padat biomassa dapat mempengaruhi kualitas nilai kalor pembakaran, kemudahan menyala, daya pembakaran, dan jumlah asap yang dihasilkan selama pembakaran. Presentase kadar air yang tinggi menandakan bahan bakar mempunyai nilai kalor rendah (Damayanti *et al.* 2017).

4.2.2 Kadar Abu

Pengujian kadar air dilakukan di Lab. Ilmu dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan IPB dengan menggunakan prosedur SNI 06-3730-1995. Hasil pengujian parameter kadar abu biopelet (Gambar 21).



Keterangan:

DK:SP:BB dalam persen berat (%)

A atau a = 50:40:10 B atau b = 60:30:10 C atau c = 70:20:10 D atau d = 80:10:10 E atau e = 90:0:10

Gambar 21 Uji kadar abu biopelet



Hasil pengujian kadar abu biopelet (Gambar 21), menunjukkan semua variasi komposisi perlakuan dan kontrol masuk kedalam kelas 2 SNI 8966:2021 yaitu < 20%. Variasi komposisi perlakuan mempunyai nilai kadar abu lebih rendah daripada variasi kontrol. Hal tersebut dapat dilihat pada variasi komposisi perlakuan A yang menghasilkan nilai kadar abu sebesar 18,2%, variasi komposisi perlakuan B, C, D dan menghasilkan nilai kadar abu sebesar 18,5%, 16,6%, 18,0% dan 18,1%. Variasi komposisi kontrol a menghasilkan kadar abu sebesar 19,9%, variasi komposisi kontrol b, c, d, dan e menghasilkan kadar abu sebesar 20,2%, 18,7%, 19,3% dan 18,7%. Hasil pengujian kadar abu menunjukkan variasi perlakuan dengan penambahan Bioaktivator AR124 menghasilkan biopelet dengan kadar abu yang lebih baik dari variasi komposisi kontrol sebab mempunyai nilai kadar abu lebih rendah. Kadar abu merupakan sisa pembakaran yang sudah tidak memiliki karbon dan presentase kadar abu dipengaruhi oleh kandungan mineral pada material organik. Sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan, kandungan mineral pada material organik yang dapat menghambat dan menyebabkan timbulnya asap pada pembakaran sehingga menyisakan abu pembakaran yang cukup besar (Yayi et al. 2022).

Pada penelitian, sekam padi dijadikan sebagai salah satu bahan untuk variasi komposisi material penelitian yang diketahui mempunyai kandungan mineral silika yang dapat mempengaruhi kadar abu pada biopelet yang dihasilkan. Berdasarkan hasil pengujian kadar abu biopelet (Gambar 21), kandungan abu paling tinggi terdapat pada variasi komposisi perlakuan ($B = 18,5\%$) dan kontrol ($b = 20,2\%$) yaitu dengan presentase sekam padi 30%, lalu pada urutan kedua terdapat variasi komposisi perlakuan ($A = 18,2\%$) dan kontrol ($a = 19,9\%$) yang memiliki presentase sekam padi 40%, urutan ketiga terdapat pada variasi komposisi perlakuan ($E = 18,1\%$) dan kontrol ($d = 19,3\%$) yang memiliki presentase sekam padi 0% dan 10%, urutan ke empat terdapat pada variasi komposisi perlakuan ($D = 18,0\%$) dan kontrol (c dan $e = 18,7\%$) yang memiliki presentase sekam padi 10%, 20%, 0% dan urutan terakhir yaitu dengan kadar abu terendah terdapat pada variasi komposisi perlakuan ($C = 16,6\%$) yang memiliki presentase sekam padi 20%. Berdasarkan nilai hasil pengujian kadar abu, diketahui terdapat ketidakpastian terhadap nilai kadar abu terhadap presentase sekam padi karena asumsinya semakin banyak presentase sekam padi maka kadar abu yang dihasilkan tinggi. Pada penelitian, tidak ada dilakukannya pengujian dan analisis lebih lanjut terhadap kandungan mineral yang dapat mempengaruhi nilai kadar abu pada biopelet hasil penelitian sehingga tidak diketahui pasti penyebab tinggi dan rendahnya hasil nilai uji kadar abu. Oleh karena itu penelitian selanjutnya, dapat dilakukan analisis lebih lanjut terhadap kandungan silika atau kandungan mineral lainnya pada biopelet sehingga dapat diketahui faktor yang mempengaruhi tinggi dan rendahnya nilai kadar abu pada biopelet.

4.2.3 Perbandingan Hasil Penelitian Terhadap Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian yaitu berupa hasil uji kualitas biopelet pada parameter kadar air dan kadar abu dilakukan perbandingan dengan hasil uji kualitas

biopelet penelitian sebelumnya (Tabel 8). Hasil kualitas biopelet pada penelitian dan penelitian sebelumnya dievaluasi berdasarkan nilai parameter yang masuk kedalam kualifikasi kelas yang ada pada SNI 8966:2021 tentang Bahan Bakar Jumputan Padat untuk Pembangkit Listrik yaitu kelas 1 untuk parameter dengan nilai <15%, kelas 2 untuk parameter dengan nilai <20%, dan kelas 3 untuk parameter dengan nilai <25%. Standar kualifikasi untuk parameter uji kadar air dan kadar abu pada SNI 8966:2021 sama yaitu semakin rendah nilai pengujian atau kriteria kelas yang diperoleh maka biopelet yang dihasilkan semakin bagus.

Tabel 8 Perbandingan hasil penelitian terhadap penelitian sebelumnya

Param eter	Hasil penelitian										Hasil penelitian sebelumnya		
	A	B	C	D	E	a	b	c	d	e	(M. Brun ner et al. 2021 a)	(Mu (Pu dia et al. 202 3) 202 0)	
Kadar air (%)	7,7 %	8,2 %	8,3 %	8,2 %	8,2 %	7,7 %	7,9 %	7,9 %	8,2 %	8,2 %	7,16 %	8%	4%
Kadar abu (%)	18, 2%	18, 5%	16, 6%	18, 0%	18, 1%	19, 9%	20, 2%	18, 7%	19, 3%	18, 7%	24,5 7%	13, 7%	-

Keterangan:

Kode sampel huruf kapital (perlakuan) dan huruf kecil (kontrol)

Berdasarkan nilai hasil perbandingan nilai kualitas biopelet dari hasil penelitian dan penelitian sebelumnya (Tabel 8), menunjukkan bahwa hasil penelitian mempunyai kualitas yang sama bagus dengan semua penelitian sebelumnya pada parameter kadar air yang sudah masuk kedalam kelas 1. Pada parameter kadar abu hasil penelitian masih berada pada kelas 2 yaitu nilainya belum sama bagus dari penelitian Putri (2023) yang masuk kedalam kelas 1, tetapi sudah lebih bagus dari penelitian sebelumnya yaitu penelitian M. Brunner *et al.* (2021) yang masuk kedalam kelas 3. Perbandingan kualitas biopelet pada penelitian terbatas pada dua parameter uji sehingga diperlukan kelanjutan uji kualitas biopelet pada penelitian selanjutnya agar hasil dari kualitas biopelet lebih akurat.

V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan:

1. Hasil persiapan proses *biodrying*, mulai dari kegiatan fermentasi Bioaktivator AR124 menunjukkan aktivitas mikroorganisme dalam perombakan bahan organik yang baik selama kegiatan fermentasi bioaktivator sehingga proses fermentasi Bioaktivator AR124 berhasil, yang diketahui berdasarkan tolak ukur temperatur, pH, bau, dan warna. Kegiatan proses *biodrying* juga menunjukkan aktivitas mikroorganisme dalam perombakan material organik yang baik selama proses *biodrying*, yang diketahui berdasarkan tolak ukur temperatur, pH, bau, penyusutan dan menghasilkan penurunan kadar air material penelitian yaitu pada variasi komposisi perlakuan (A, B, C, D dan E) yang awalnya mempunyai kadar air sebesar (30,8%, 34,4%, 29,0%, 33,2%, dan 38,4%) turun menjadi (17,4%, 18,5%, 17,5%, 21,5% dan 25,1%).
2. Hasil kegiatan evaluasi perbandingan kualitas biopelet terhadap penelitian sebelumnya menggunakan standar evaluasi sesuai nilai parameter pada kriteria kelas di SNI 8966:2021 tentang Bahan Bakar Jumputan Padat untuk Pembangkit Listrik, menunjukkan bahwa hasil penelitian untuk semua variasi komposisi baik perlakuan dan kontrol mempunyai kualitas bagus pada dua parameter uji kadar air dan kadar abu, sebab sudah memenuhi kriteria kelas yang ada pada SNI 8966:2021, dan hasil penelitian menunjukkan kualitas biopelet yang sama bagus dengan semua penelitian sebelumnya untuk parameter kadar air. Pada kadar abu, hasil penelitian belum bisa sama bagus dengan penelitian Putri (2023) tetapi sudah bisa lebih bagus dari penelitian M. Brunner *et al* (2021).

5.2 Saran

Terdapat beberapa saran yang dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya:

1. Perlu dilakukannya pengembangan terhadap boks keramik agar dapat digunakan untuk pengolahan limbah dalam skala besar.
2. Perlu dilakukan pengujian kandungan mineral pada biopelet untuk mengetahui unsur-unsur mineral yang mempengaruhi nilai kadar abu pada biopelet.
3. Perlu dilakukan pengujian kualitas biopelet dengan analisis proksimat lainnya seperti uji kadar volatil, *fixed carbon*, nilai kalor serta parameter lainnya sesuai dengan parameter uji kualitas biopelet yang berada pada SNI 8966:2021 agar hasil kualitas biopelet lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin Z, Rusmini R, Manullang RR, Daryono D. 2022. Kualitas mikroorganisme lokal dari keong mas dengan berbagai jumlah bahan yang berbeda. *Agrosaintifika*. 5(1):31–38. doi:10.32764/agrosaintifika.v5i1.3189.
- Aini AN, Al-Muttaqii M, Roesyadi A, Kurniawansyah F. 2020. Kinerja katalis Ni-Cu/HZSM-5 dalam pembuatan biogasoil dari minyak bintaro (Cerbera Manghas) dengan proses *hydrocracking*. *Berk Sainstek*. 8(3):84. doi:10.19184/bst.v8i3.17937.
- Arianto R, Nani Nurbaeti S, Nugraha F, Fajriaty I, Kurniawan H, Pramudio A. 2022. Pengaruh isolasi cangkang telur ayam ras petelur terhadap kadar abu. *J Syifa Sci Clin Res*. 4(2):247–252. doi:10.37311/jsscr.v4i2.13982.
- Damayanti R, Lusiana N, Prasetyo J. 2017. Studi pengaruh ukuran partikel dan penambahan perekat tapioka terhadap karakteristik biopelet dari kulit coklat (*Theobroma Cacao L.*) sebagai bahan bakar alternatif terbarukan. *J Teknotan*. 11(1). doi:10.24198/jt.vol11n1.6.
- Delasta FG, Ismail R, Muchammad. 2023. Pengujian konversi sepeda motor berbahan bakar bensin dengan transmisi CvT menjadi bertenaga listrik. *J Tek Mesin S-1 Univ Diponegoro*. 11(3):219–222.
- Fatimah AS. 2018. Pengaruh penambahan cangkang telur dan abu sekam padi dengan variasi suhu sinter terhadap densitas dan kekerasan pada keramik.[Skripsi]: Malang. Universitas Brawijaya
- Hamidah N, Sinthia C, Anshori M. 2023. Pengaplikasian komposter sampah organik untuk pemenuhan kebutuhan pupuk di desa palengaan dajah kecamatan palengaan kabupaten pamekasan. *Community Dev J*. 04(04):7980–7991.
- Herlambang S, Rina S, Santoso P, Sutiono HT. 2017. *Biomassa sebagai sumber energi masa depan*. Ed ke-1. Yogyakarta. Gerbang Media Aksara.
- Kartika W. 2022. Limbah buah pisang sebagai bioaktivator alternatif pada pengomposan sampah organik. *J Poli-Teknologi*. 20(3):239–249. doi:10.32722/pt.v20i3.4433.
- Listiana I, Bursan R, Widayastuti R, Rahmat A, Jimad H. 2021. Pemanfaatan limbah sekam padi dalam pembuatan arang sekam di pekon bulurejo, kecamatan gadingrejo, kabupaten pringsewu. *Interv Komunitas*. 3(1):1–5. doi:10.32546/ik.v3i1.1118.
- M. Brunner IMI, Norhidayat A, M. Brunner S. 2021a. Pengolahan sampah organik dan limbah biomassa dengan teknologi olah sampah di sumbernya. *J Serambi Eng*. 6(3):2085–2095. doi:10.32672/jse.v6i3.3120.
- M. Brunner IMI, Norhidayat A, M. Brunner S. 2021b. *Panduan pelaksanaan pengelolaan sampah dengan Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS)*. Ed ke-1. Jakarta. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Mudia FRN, Sapta F, Supriyanto S, Zikri,A, Rusnandi I. 2020. Pemanfaatan biji bintaro (Cerbera mangas L.) sebagai bahan baku pembuatan biodiesel dan biopelet untuk pengembangan energi baru terbarukan. *Pros Semin Mhs Tek*



Kim. 01(01):41–47.

- Nagara Prijatna P, Wayan Sriyaya I, Palipi Titasari C, Studi Arkeologi P. 2022. Adaptasi arsitektur kolonial terhadap iklim tropis (Analisis Fasad Gedung SMA Negeri 2 Purwokerto). *J Ilm Multidisiplin.* 1(1):3698–3706.
- Nur Ananda Putri K, Alfatika Sari C, Afrivania Lukito S, Naura Nur Gusfianti P, Kartika Cahya D, Sausan M, Nabila Berlianti A. 2024. Penelitian mikroba pada masakan tumis tahu di suhu ruang selama lebih dari 6 Jam. *J Anal.* 3(1):66–076. <http://jurnalilmiah.org/journal/index.php/Analis>.
- Parinduri L, Parinduri T. 2020. Konversi Biomassa sebagai sumber energi terbarukan. *J Electr Technol.* 5(2):88–92. <https://www.dosenpendidikan>.
- Prasetyo VM, Ristiawati T, Philiyanti F. 2021. Manfaat *eco enzyme* pada lingkungan hidup serta *workshop* pembuatan *eco enzyme*. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat.* 1:21–29.
- Putri R. 2023. Pemanfaatan mikroorganisme lokal (MOL) dari keong mas dan kulit nanas pada pengolahan sampah daun dan ranting dengan teknologi olah sampah di sumbernya (TOSS).[Skripsi]: Padang. Universitas Andalas.
- Rahim AR, Fauziyah N, Sukaris, Kustiantoro B, Novianto PI. 2020. Pemanfaatan buah bintaro sebagai pestisida pengusir hama tikus desa karanggeneng kecamatan karanggeneng. *J Community Serv.* 2(2):286–297. <http://journal.umg.ac.id/index.php/dedikasimu/article/view/1425>.
- Rozi MF. 2023. Karakteristik biopelet berbahan limbah kelapa muda dengan penambahan variasi seolit alam. *Journal of Engineering Science and Technology.* 1(3):282.
- Rumengan BS, Tumbel A, Mandagie Y. 2020. Analisis pengaruh pemasaran holistik dan kualitas pelayanan terhadap keputusan pembelian di the mukaruma cafe. *JEMBA J Ris Ekon Manajemen, Bisnis dan Akunt.* 8(1):166–174.
- Safrina D, Susanti D, Khotimah AN. 2023. Analisis konstanta laju pengeringan dan karakter simplisia bunga kamilem (*Matricaria chamomilla L.*) dengan beberapa metode pengeringan. *J Teknol Ind Pertan.* 17(2):423–432. doi:10.21107/agrointek.v17i2.10681.
- Saifudin M, Susilaningsih S, Wedi A. 2020. Pengembangan multimedia interaktif materi sumber energi untuk memudahkan belajar siswa sd. *JKTP J Kaji Teknol Pendidik.* 3(1):68–77. doi:10.17977/um038v3i12019p068.
- Saleh S. 2021. Identifikasi Kadar Air, Tingkat kecerahan dan citarasa kopi robusta dengan variasi lama perendaman. *J Teknol Pangan Dan Ilmu Pertan.* 2(1):41–48. doi:10.36526/jipang.v2i1.1215.
- Sarungu YT, Ngatin A, Sihombing RP. 2020. Fermentasi jerami sebagai pakan tambahan ternak ruminansia. *Fluida.* 13(1):24–29. doi:10.35313/fluida.v13i1.1852.
- Subula R, Uno WD, Abdul A. 2022. Kajian tentang kualitas kompos yang menggunakan bioaktivator Em4 (Effective Microorganism) dan MOL (Mikroorganisme Lokal) dari keong mas. *Jambura Edu Biosf J.* 4(2):54–64. doi:10.34312/jebj.v4i2.7753.
- Sugiharto A, Firdaus Z ‘Ilma. 2021. Pembuatan briket ampas tebu dan sekam padi

menggunakan metode pirolisis sebagai energi alternatif. *J Inov Tek Kim.* 6(1):17–22. doi:10.31942/inteka.v6i1.4449.

Susanti R, Risnawati, Fadhillah W. 2021. Primary metabolite qualitative test of bintaro plant (*CarberaodollamGaertn*) as a pest biopesticide *rattus argentiventer*. *J Pertan Trop.* 7(3):312–316. doi:10.32734/jpt.v7i3.4998.

Udjianto T, Sasono T, Manunggal BP. 2021. Potensi sekam padi sebagai bahan bakar alternatif PLTBm di sumatera barat. *J Tek Energi.* 11(1):11–18. doi:10.35313/energi.v11i1.3499.

Wildani W, Karo RM br, Tanjung WF, Abdiansyah A. 2022. Skrining fitokimia dan kaktivitas antibakteri fraksi N-Heksan ekstrak metanol daun kerai payung (*Filicium decipiens*) terhadap *staphylococcus epidermidis*. *Pharm J Islam Pharm.* 6(1):01. doi:10.21111/pharmasipha.v6i1.7382.

Yani, N, Athiah R, Maghpiroh A, Sunarsih T. 2023. Uji toksisitas ekstrak etanol daun kerai payung (*Filicium Decipiens*) dengan metode brine shrimp lethality Test (Bslt). *Spin.* 5(1):27–36. doi:10.20414/spin.v5i1.6676.

Yayi M, Setyono P, Purnomo YS. 2022. Teknologi analisis kadar air dan kadar abu briket lumpur IPAL dan fly ash dengan penambahan serbuk gergaji kayu. *Media Cetak).* 1(6):696–703. doi:10.55123/insologi.v1i6.1047.

Zaman B, Oktiawan W, Hadiwidodo M, Sutrisno E, Purwono P. 2018. Desentralisasi pengolahan limbah padat rumah tangga menggunakan teknologi biodrying. *J Pengelolaan Lingkung Berkelaanjutan (Journal Environ Sustain Manag.* September:18–24. doi:10.36813/jplb.1.3.18-24.