

Terbit online pada laman web jurnal : <http://jurnal dampak.ft.unand.ac.id/>

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 | ISSN (Online) 2597-5129|



Artikel Penelitian

Pengaruh Penambahan Sekam Padi Pada Pembuatan Pelet Biomassa Eceng Gondok Menggunakan Metode TOSS

¹Fadjar Goembira, ¹Yommi Dewilda ^{*}, ¹Zalwa Andini Putri, ²Arief Noerhidayat.¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Andalas, Padang, Indonesia²PT Comestorarra Bentarra Noesantarra^{*}Koresponden: yommidewilda@eng.unand.ac.id

Diterima: 30 April 2025

Diperbaiki: 28 Mei 2025

Disetujui: 7 Juli 2025

A B S T R A C T

The Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS) method can be an alternative to reduce biomass waste such as water hyacinth. The TOSS method converts water hyacinth waste into biomass pellets through three stages: shredding process, biodrying process, and pelletization process. Water hyacinth waste has a low calorific value so it is necessary to add other materials with higher calorific values such as rice husks. This research was conducted using TOSS method, incorporating AR124 bioactivator in biodrying process and the addition of rice husk during the pelletization process. This research aims to analyze and evaluate the biodrying process of water hyacinth waste using AR124 bioactivator through measurements of moisture content, temperature, shrinkage, odor, and duration of the biodrying process. In addition, the study also analyzed and evaluated the quality of water hyacinth biomass pellets without and with the addition of rice husk based on proximate analysis and calorific value according to the quality standards of SNI 8966: 2021 about Refused Derived Fuel (RDF) for Power Plants. The 10-day biodrying process showed a moisture content of 20.1%, pH 7.0, shrinkage of 3 cm, highest temperature of 29°C on the first day, and no odor since day 5. Variations in the ratio between water hyacinth and rice husk, namely D (1:0), A1 (1:1), A2 (1:2), and A3 (1:3), were tested in triplicate. The results showed that all variations met the quality standards in accordance with SNI 8966:2021. A3 was the best variation with a moisture content of 3.11%, ash content of 17.83%, fixed carbon of 16.68%, volatile substances of 62.39%, and calorific value of 16.92 MJ/kg (4,041 kcal/kg). The addition of rice husk is proven to increase the calorific value of biomass pellets from standard class 3 to class 2 according to SNI 8966:2021.

Keyword: bioactivator AR124, biomass pellets, rice husks, teknologi olah sampah di sumbernya (TOSS), water hyacinth

A B S T R A K

Pengolahan sampah menggunakan metode Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS) dapat menjadi alternatif untuk mengurangi limbah biomassa seperti eceng gondok. Metode TOSS mengonversi limbah eceng gondok menjadi pelet biomassa melalui tiga tahapan yaitu proses pencacahan, proses *biodrying*, dan proses peletisasi. Limbah eceng gondok memiliki nilai kalor yang rendah sehingga diperlukan penambahan bahan lain dengan nilai kalor yang lebih tinggi seperti sekam padi. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode TOSS dengan menggunakan bioaktivator AR124 pada proses *biodrying* dan penambahan sekam padi pada proses peletisasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi proses *biodrying* limbah eceng gondok menggunakan bioaktivator AR124 melalui pengukuran kadar air, suhu, penyusutan, bau, serta durasi proses *biodrying*. Selain itu, penelitian ini menganalisis dan mengevaluasi kualitas pelet biomassa eceng gondok tanpa dan dengan penambahan sekam padi berdasarkan analisis proksimat dan nilai kalor sesuai baku mutu SNI 8966:2021 tentang Bahan Bakar Jumptan Padat. Proses *biodrying* selama 10 hari menunjukkan kadar air 20,1%, pH 7,0, penyusutan 3 cm, suhu tertinggi 29°C pada hari pertama, dan tidak berbau sejak hari ke-5. Variasi perbandingan antara eceng gondok dan sekam padi, yaitu D (1:0), A1 (1:1), A2 (1:2), dan A3 (1:3), pengujian pada penelitian dilakukan secara triplo. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variasi penelitian memenuhi baku mutu sesuai dengan SNI 8966:2021. Variasi A3 merupakan variasi terbaik dengan kadar air 3,11%, kadar abu 17,83%, karbon tetap 16,68%, zat mudah menguap 62,39%, dan nilai kalor 16,92 MJ/kg (4.041 kkal/kg). Penambahan sekam padi terbukti meningkatkan nilai kalor pelet biomassa dari standar kelas 3 menjadi kelas 2 sesuai SNI 8966:2021.

Kata Kunci: bioaktivator AR124, eceng gondok, pelet biomassa, sekam padi, teknologi olah sampah di sumbernya (TOSS)

1. PENDAHULUAN

Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) merupakan tumbuhan air invasif yang memiliki laju pertumbuhan tinggi akibat kandungan fosfat, nitrogen, dan kalium yang melimpah di lingkungan perairan. Dalam dua bulan, satu batang eceng gondok mampu berkembang hingga 1 m², menyebabkan berbagai dampak negatif seperti penurunan kelarutan oksigen, eutrofikasi, dan pendangkalan perairan (Kusumaningtyas dkk., 2022; Yuliyanto dkk., 2016). Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengolah limbah eceng gondok menjadi produk bernilai guna agar tidak menumpuk dan berdampak buruk terhadap lingkungan.

Salah satu solusi inovatif adalah pemanfaatan limbah eceng gondok sebagai bahan bakar alternatif dalam bentuk bahan bakar jumputan padat atau RDF (*Refuse Derived Fuel*). Eceng gondok memiliki kandungan selulosa tinggi, mencapai 60% sehingga berpotensi mendukung pengembangan energi terbarukan (Kusumaningtyas dkk., 2022). Pemanfaatan RDF di Indonesia telah didukung melalui penerapan SNI 8966:2021 yang mengatur standar kualitas bahan bakar jumputan padat. Hingga April 2021, pemerintah melaporkan bahwa uji coba *co-firing* biomassa dengan bahan biomassa telah dilakukan di 35 PLTU dari total 52 lokasi. Pelaksanaan *co-firing* biomassa sebesar 5% diseluruh PLTU dapat mengurangi penggunaan batu bara mencapai 4 juta ton/tahun (Kementerian ESDM RI, 2021).

Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS) merupakan metode inovatif untuk mengolah limbah eceng gondok menjadi bahan bakar biomassa. Metode ini dikembangkan oleh *Comestoarra Bentarra Noesantarra*, sebuah perusahaan rintisan (*start-up company*). Metode ini melibatkan tiga tahap utama, yaitu *biodrying*, pencacahan, dan peletisasi. Proses *biodrying* menggunakan bioaktivator seperti AR124 yang mengandung mikroorganisme *Bacillus sp.*, *Lactobacillus sp.*, *Azotobacter sp.*, serta fungi bersel tunggal yang berperan dalam penguraian bahan organik. Bioaktivator ini telah terbukti efektif dalam menurunkan kadar air limbah biomassa (Brunner dkk., 2021). Namun, nilai kalor pelet biomassa eceng gondok masih tergolong rendah, hanya mencapai 3.300 kkal/kg, yang memenuhi standar kelas 3 dalam SNI 8966:2021 (Brunner dkk., 2021).

Upaya untuk meningkatkan kualitas pelet biomassa dapat dilakukan dengan menambahkan sekam padi sebagai bahan campuran. Sekam padi memiliki kandungan kalori tinggi hingga 4.177 kkal/kg dan dapat meningkatkan densitas serta stabilitas pelet biomassa (Brand dkk., 2021). Kombinasi eceng gondok dan sekam padi dalam penelitian terdahulu terbukti mampu meningkatkan nilai kalor hingga 73% (Akbari dkk., 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan sekam padi pada pembuatan pelet biomassa eceng gondok menggunakan metode TOSS. Diharapkan, penelitian ini dapat mendukung pengembangan bahan bakar alternatif yang lebih efisien serta menjadi solusi dalam pengelolaan limbah biomassa secara berkelanjutan.

2. METODOLOGI

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai dengan Agustus 2024. Penelitian ini difokuskan pada limbah eceng gondok yang diambil dari salah satu rawa-rawa yang berlokasi di Parupuk Tabing, Kec. Koto Tengah, Kota Padang dan sekam padi yang diambil dari salah satu penggilingan padi (heler) yang berada di Kecamatan Pauh, Kota Padang. Pengukuran suhu, pH, penyusutan, evaluasi bau, lama proses *biodrying*, dan analisis proksimat dilakukan di Laboratorium Limbah Padat, Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas. Pengujian nilai kalor dilakukan di Laboratorium Batu Bara, Universitas Negeri Padang.

2.2. Prosedur Penelitian

2.2.1. Pembuatan Bioaktivator AR124

Bahan-bahan yang digunakan pada pembuatan bioaktivator AR124 memiliki peran sebagai sumber mikroorganisme dan nutrisi bagi bioaktivator. Komposisi bahan yang digunakan dalam pembuatan bioaktivator AR124 dapat dilihat pada **Tabel 1.**

Tabel 1. Komposisi Bioaktivator AR124

Bahan	Kuantitas
Molase	500 ml
Air kelapa	1.500 ml
Nanas segar (ditumbuk)	2 kg
Ragi (ditumbuk)	4 butir
Bekatul atau dedak	300 g
Air	20 l

Sumber: Brunner dkk., 2021

Berikut merupakan proses pembuatan bioaktivator AR124:

1. Wadah dengan kapasitas 20-25 liter dimasukkan air;
2. Bersihkan biji dan haluskan buah nanas madu sebanyak 2 kg;
3. Wadah berisi air dimasukkan buah nanas yang telah dihaluskan dan diaduk 50 kali ke arah kiri dan 50 kali ke arah kanan;
4. Wadah dimasukkan molase sebanyak 500 ml dan diaduk 50 kali ke arah kiri dan 50 kali ke arah kanan;
5. Wadah dimasukkan ragi sebanyak 4 butir yang telah dihaluskan dan diaduk 50 kali ke arah kiri dan 50 kali ke arah kanan;
6. Wadah dimasukkan air kelapa sebanyak 1.500 ml dan diaduk 50 kali ke arah kiri dan 50 kali ke arah kanan;
7. Wadah dimasukkan dedak sebanyak 300 g dan diaduk 50 kali ke arah kiri dan 50 kali ke arah kanan;
8. Wadah ditutup dan dibiarkan selama 7 hari, buka tutup wadah setiap 24 jam selama 5 menit.

Jumlah bioaktivator yang akan digunakan dalam proses *biodrying* dihitung berdasarkan pedoman pengenceran dalam Pedoman Pelaksanaan TOSS. Berdasarkan pedoman tersebut 250 kg sampah menggunakan satu liter bioaktivator AR124. Dalam penelitian ini, limbah eceng gondok yang disiapkan untuk *biodrying* sebanyak 11 kg. Dengan demikian, jumlah bioaktivator yang dibutuhkan untuk penelitian ini untuk proses *biodrying* adalah 44 ml, dan diencerkan dengan perbandingan 1:20 (1 liter konsentrat diencerkan dengan 20 liter air). Dengan demikian, larutan AR124 dan MOL yang diencerkan untuk aplikasi dalam proses *biodrying* berjumlah 924 ml/boks.

2.2.2. Proses pengolahan limbah eceng gondok menggunakan metode Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS)

Proses pengolahan limbah eceng gondok menggunakan metode TOSS dilakukan dengan tiga kali pengulangan dan tahapan proses berdasarkan penelitian oleh Brunner dkk. (2021). Tahapan proses pada penelitian ini yaitu, pencacahan, pengeringan hasil cacah selama 3 hari menggunakan sinar matahari, *biodrying* selama 10 hari, peletisasi, dan pengeringan pelet menggunakan sinar matahari selama 3 hari. Terdapat empat variasi penelitian pada proses peletisasi limbah eceng gondok, yaitu tanpa penambahan sekam padi serta dengan penambahan sekam padi menggunakan perbandingan 1:1, 1:2, dan 1:3. Variasi Peletisasi Limbah Eceng Gondok dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Variasi Peletisasi Limbah Eceng Gondok

Variasi	Perbandingan	Berat Sampah (kg)	
		Eceng Gondok	Sekam Padi
D	1:0	6	0
A1	1:1	3	3
A2	1:2	2	4
A3	1:3	1,5	4,5

2.3. Analisis Data

2.3.1. Kualitas Bioaktivator AR124

Pengukuran kualitas bioaktivator AR124 meliputi parameter suhu, pH, warna, bau, dan lama fermentasi. Pengamatan suhu, pH, warna, dan bau dilakukan setiap hari selama proses fermentasi. Pengukuran suhu dilakukan dengan termometer digital, pengukuran pH menggunakan pH meter digital, pengamatan warna dan bau dilakukan secara visual.

2.3.2. Pengukuran Selama Proses *Biodrying*

Proses *biodrying* dilakukan selama 4-10 hari. Pengukuran meliputi kadar air, suhu, pH, penyusutan, bau, dan lama proses *biodrying*. Pengukuran kadar air dilakukan dengan memanaskan 10 gram limbah eceng gondok di dalam oven selama satu jam dengan suhu 105°C. Pengukuran suhu dilakukan di lima titik berbeda menggunakan *environment metter*. Pengukuran pH dilakukan di bagian tengah boks menggunakan alat *soil pH meter*. Perubahan bau diamati secara visual.

2.3.3. Pengujian Kualitas Pelet Biomassa

Pengujian kualitas pelet biomassa dilakukan untuk mengetahui kualitas pelet berdasarkan SNI 8966:2021. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi kadar air berdasarkan SNI 01-1506-1989, kadar zat mudah

menguap berdasarkan SNI 06-3730-1995, kadar abu berdasarkan SNI 06-3730-1995, kadar karbon tetap berdasarkan SNI 06-3730-1995, dan nilai kalor berdasarkan SNI 01-6235-2000.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Fermentasi Bioaktivator AR124

Proses fermentasi bioaktivator AR124 dilakukan selama 7 hari. Parameter suhu, pH, bau, dan warna dipantau setiap hari selama proses fermentasi. Hasil pengamatan fermentasi bioaktivator AR124 dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Data Hasil Pengamatan Fermentasi Bioaktivator AR124

Hari	Suhu (°C)	pH	Warna	Bau
0	30,3	4,6	Coklat	Harum nanas
1	32,7	5,0	Coklat	Harum nanas
2	31,5	4,8	Coklat	Harum nanas
3	30,9	4,6	Coklat	Harum nanas
4	30,5	4,3	Coklat	Harum nanas
5	31,2	4,0	Coklat	Harum nanas
6	30,0	3,8	Kuning kecoklatan	Mulai harum tapai
7	29,6	3,9	Kuning kecoklatan	Harum tapai

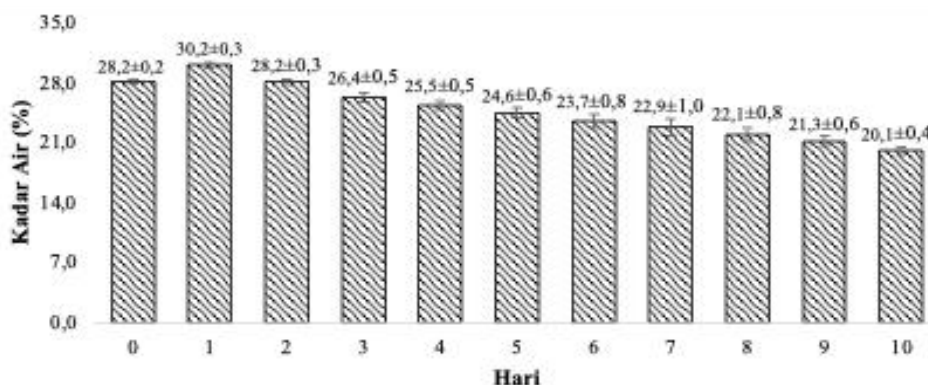
Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama proses fermentasi menggunakan bioaktivator AR124, suhu berada dalam rentang 29,6–32,7°C. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Putri (2023), suhu optimal bioaktivator AR124 berada pada 30–32°C. Mikroorganisme utama yang terkandung dalam bioaktivator ini adalah *Bacillus* sp. yang memiliki kemampuan memecah senyawa selulosa dan hemiselulosa sehingga dapat mendukung proses dekomposisi bahan organik (Sukma, 2023). Berdasarkan penelitian, *Bacillus* dapat tumbuh optimal dalam rentang suhu 25–35°C dan tetap bertahan pada suhu maksimum 40–45°C (Handayani dkk., 2023). Dengan demikian, suhu yang terpantau selama fermentasi mendukung kondisi optimal bagi pertumbuhan mikroba ini.

Selama proses fermentasi, pH bioaktivator AR124 terukur dalam rentang 3,8–5,0, sesuai dengan hasil penelitian Putri (2023) yang mencatat pH optimal bioaktivator berada pada kisaran 3–5. Penurunan pH ini berkaitan dengan aktivitas mikroorganisme dalam memecah karbohidrat menjadi asam organik. Produksi asam organik yang lebih tinggi berbanding lurus dengan meningkatnya aktivitas mikroba, menyebabkan pH medium menurun (Yunilas dkk., 2022). Selain itu, perubahan bau bioaktivator teramati dari wangi nanas menjadi aroma tapai. Hal ini disebabkan oleh aktivitas fermentasi yang dilakukan oleh *Bacillus* sp. (Putri, 2023). Secara visual, warna bioaktivator berubah dari coklat menjadi kuning kecoklatan pada hari keenam fermentasi. Perubahan warna terjadi karena terdekomposisinya bahan organik selama proses fermentasi (Hadi, 2019).

3.2. Hasil Proses Biodrying

3.2.1. Kadar Air

Salah satu tujuan utama pada proses *biodrying* adalah penurunan kadar air sampah. Pengujian kadar air dilakukan dengan memanaskan 10 gram contoh uji menggunakan oven dengan suhu 105°C selama 1 jam. Berikut data hasil pengujian kadar air selama proses *biodrying* dapat dilihat pada **Gambar 1**.



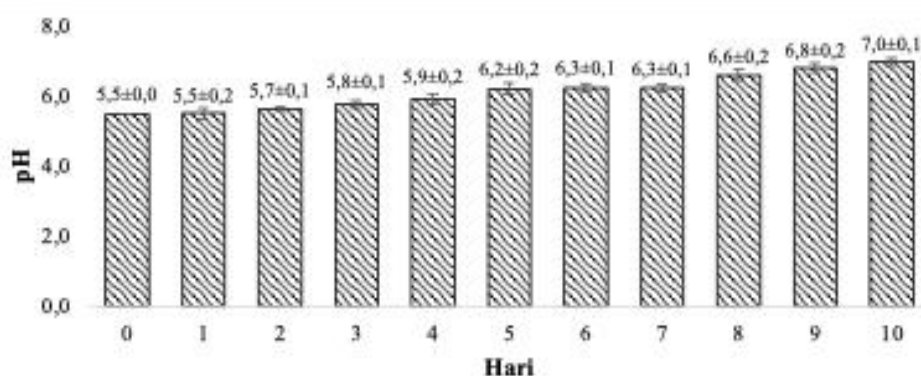
Gambar 1. Data Hasil Pengujian Kadar Air

Berdasarkan **Gambar 1.**, proses *biodrying* menunjukkan peningkatan kadar air pada hari pertama akibat penambahan bioaktivator AR124 yang menyebabkan cairan bioaktivator terserap ke dalam limbah eceng gondok. Pada hari ke-2 hingga terakhir kadar air terus menurun dari $28,2\pm0,2\%$ menjadi $20,1\pm0,4\%$ pada akhir proses. Penurunan ini terjadi karena aktivitas mikroorganisme dalam bioaktivator serta aerasi yang didukung oleh struktur boks *biodrying* berbahan bambu. Aktivitas mikroorganisme menghasilkan energi dari degradasi bahan organik, yang meningkatkan penguapan air selama proses berlangsung (Zaman dkk., 2021).

Komposisi fisik limbah, seperti ukuran partikel dan kepadatan akan memengaruhi permeabilitas dan efisiensi penguapan. Limbah dengan partikel kecil dan kepadatan rendah menghasilkan permeabilitas yang lebih baik, mendukung distribusi udara yang merata (Mohammed dkk., 2017). Namun, permeabilitas limbah eceng gondok yang rendah pada penelitian ini menjadi penghambat. Kondisi ini mengurangi efisiensi penguapan air dan menyebabkan durasi proses *biodrying* yang lebih lama.

3.2.2. Analisis pH

Pengukuran pH dilakukan menggunakan alat soil pH meter yang ditancapkan pada bagian tengah boks *biodrying*. Pada awal pengukuran pH menunjukkan sifat asam dan secara bertahap menuju keadaan netral. Berikut data hasil pengukuran pH selama proses *biodrying* dapat dilihat pada **Gambar 2.**

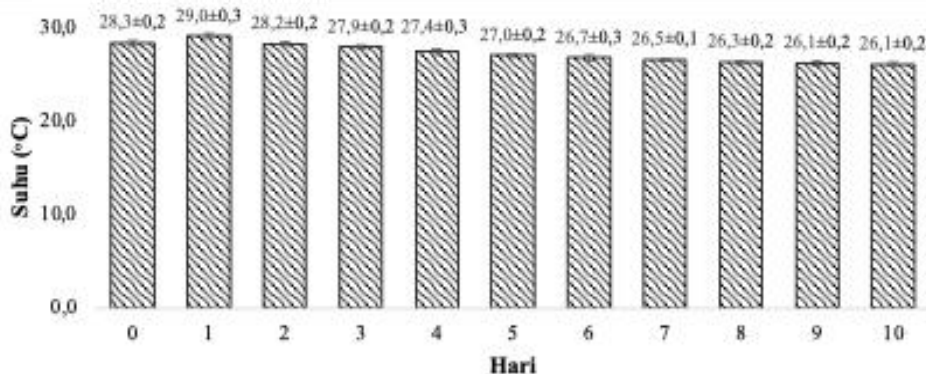


Gambar 2. Data Hasil Pengukuran pH

Berdasarkan **Gambar 2.**, nilai pH meningkat dari kondisi asam dengan nilai $5,5\pm0,0$ hingga $6,3\pm0,1$ pada hari pertama hingga hari ke-7 dan menuju netral dengan nilai $6,6\pm0,2$ hingga $7,0\pm0,1$ pada hari ke-8 hingga hari ke-10. Perubahan ini terjadi akibat aktivitas mikroorganisme yang menguraikan bahan organik menjadi asam organik, diikuti oleh pembentukan amonium dan ion hidroksida (OH^-) dari dekomposisi protein (Asri dkk., 2017). Stabilitas pH berperan penting dalam aktivitas mikroorganisme dan enzim. Pada pH netral, aktivitas enzim seperti selulase dan xilanase yang memecah lignoselulosa meningkat (Wang dkk., 2024). Mikroorganisme *Bacillus sp.* yang terdapat di dalam bioaktivator AR124 dapat mendukung proses dekomposisi ini melalui produksi enzim selulase yang efektif dalam memecah lignoselulosa (Sukma, 2023; Malik & Javed, 2021).

3.2.3. Suhu

Pengukuran suhu dilakukan menggunakan *environment metter* meter. Suhu diukur pada 5 titik di setiap boks untuk mendapatkan data suhu yang akurat dan suhu yang stabil di setiap boks *biodrying*. Berikut data hasil pengujian suhu selama proses *biodrying* dapat dilihat pada **Gambar 3.**

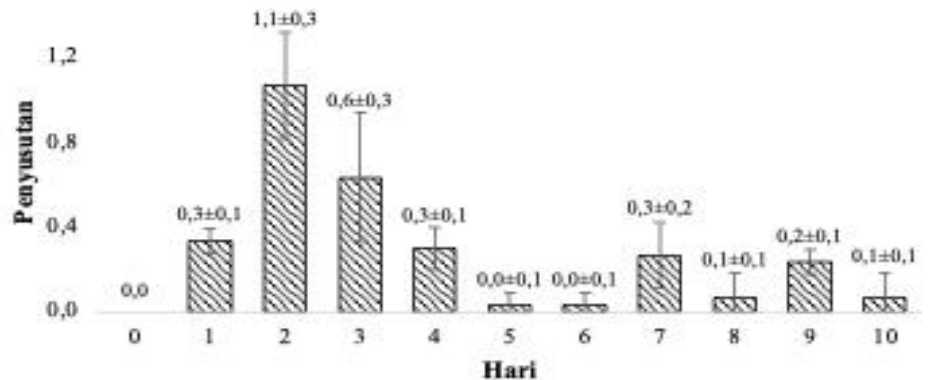


Gambar 3. Data Hasil Pengukuran Suhu

Berdasarkan **Gambar 3.**, suhu selama proses *biodrying* limbah eceng gondok berkisar antara $26,1\pm0,2^{\circ}\text{C}$ hingga $29,0\pm0,3^{\circ}\text{C}$. Peningkatan suhu pada hari pertama disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme dalam bioaktivator AR124. Penelitian Mohammed dkk. (2017) menyatakan bahwa suhu tertinggi dalam 24 jam pertama menunjukkan intensitas aktivitas mikroba. Periode awal proses *biodrying* sangat penting untuk mendukung dekomposisi awal. Namun, setelah hari kedua, suhu mengalami penurunan secara konstan hingga hari terakhir. Suhu yang relatif rendah selama proses ini dipengaruhi oleh sifat limbah eceng gondok yang lembab. Hal ini menyebabkan terhambatnya pencapaian suhu optimal yang dibutuhkan untuk aktivitas mikroba yang lebih intensif.

3.2.4. Penyusutan

Pengukuran penyusutan dilakukan menggunakan alat penggaris. Ketinggian penyusutan pada proses *biodrying* selama 10 hari adalah 3 cm. Berikut data hasil pengukuran penyusutan selama proses *biodrying* dapat dilihat pada **Gambar 4.**

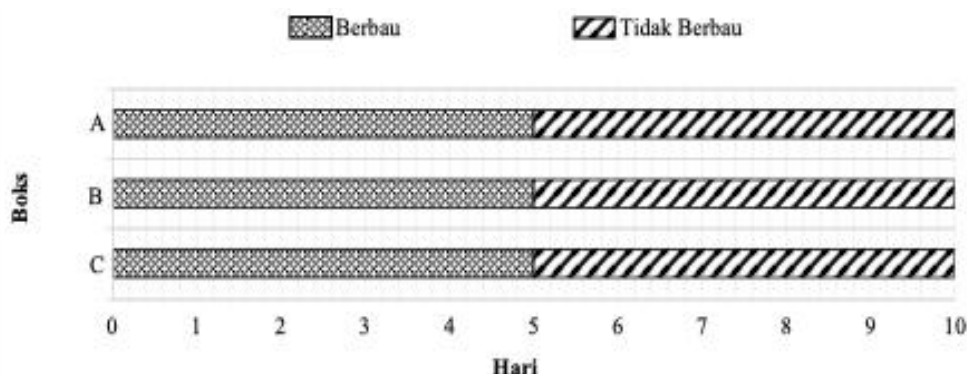


Gambar 4. Data Hasil Pengukuran Penyusutan

Berdasarkan **Gambar 4.**, penyusutan tertinggi terjadi pada hari pertama, yaitu sebesar $1,1\pm0,3$ cm. Kondisi ini disebabkan karena suhu proses *biodrying* yang mencapai puncaknya pada hari tersebut sehingga meningkatkan aktivitas mikroorganisme. Aktivitas mikroorganisme yang intensif mempercepat dekomposisi bahan organik dan proses penguapan sehingga penyusutan lebih besar. Berdasarkan penelitian Bilgin & Tulun (2015), suhu tinggi selama *biodrying* dapat mempercepat laju penguapan dan degradasi bahan organik sehingga menghasilkan penyusutan yang lebih besar. Faktor eksternal seperti cahaya, kelembapan, dan suhu dapat memengaruhi proses *biodrying* (Ab Jalil dkk., 2016). Pada hari ke-7 dan ke-9, terjadi fluktuasi penyusutan akibat perubahan suhu dan kelembapan yang disebabkan oleh kondisi cuaca di lokasi penelitian. Selama proses penelitian, suhu ruangan tercatat berada pada rentang 24°C – 26°C .

3.2.5. Analisis Bau

Analisis bau pada penelitian ini dilakukan secara subjektif menggunakan indra penciuman oleh peneliti. Penelitian ini menggunakan bahan baku dari limbah eceng gondok yang mengeluarkan bau busuk dan amis. Berikut data hasil analisis bau selama proses *biodrying* dapat dilihat pada **Gambar 5.**



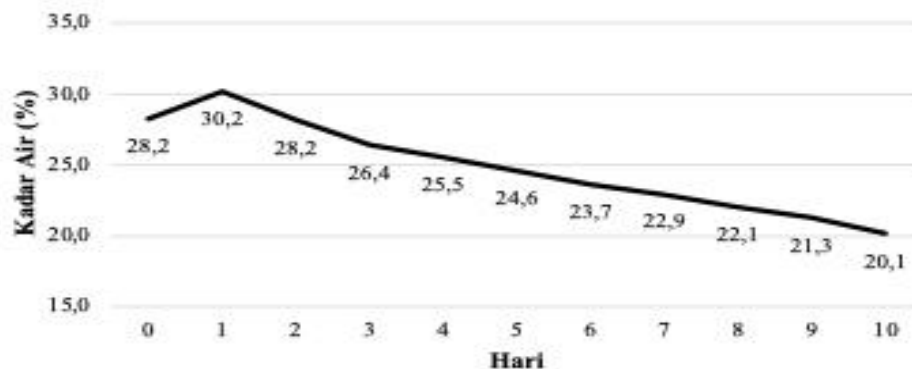
Gambar 5. Data Hasil Analisis Bau

Berdasarkan **Gambar 5.**, Emisi bau dari limbah eceng gondok selama proses *biodrying* terjadi pada hari pertama hingga hari kelima. Potensi emisi bau tertinggi terjadi pada fase jeda awal akibat tingginya tingkat degradasi limbah. Setelah fase jeda awal, emisi bau mulai berkurang. Faktor fisikokimia, seperti pH, aliran udara, dan komunitas mikroba, memiliki peran signifikan dalam emisi bau. Limbah eceng gondok memiliki kandungan nitrogen dan sulfur sehingga menghasilkan senyawa seperti amonia, hidrogen sulfida, senyawa organik volatil (VOCs), dan alkohol, yang berkontribusi terhadap bau tak sedap (Andraskar dkk., 2021). Mikroorganisme

Bacillus sp. dan jamur dari bahan baku ragi pada bioaktivator AR124 dapat mengurangi bau busuk dan amis limbah eceng gondok (Sukma, 2023; Andraskar dkk., 2021). Akibatnya, pada hari kelima hingga hari terakhir, limbah eceng gondok tidak lagi menghasilkan bau yang mengganggu.

3.2.6. Lama *Biodrying*

Proses *biodrying* dilakukan selama 10 hari, proses *biodrying* dihentikan setelah kadar air material mencapai $20,1 \pm 0,4\%$. Hal ini sejalan dengan panduan TOSS yang merekomendasikan durasi proses *biodrying* selama 4–10 hari. Proses yang terlalu lama berisiko menurunkan nilai kalor material dan meningkatkan kemungkinan perubahan material menjadi kompos. Berikut data penurunan kadar air selama proses *biodrying* dapat dilihat pada Gambar 6..



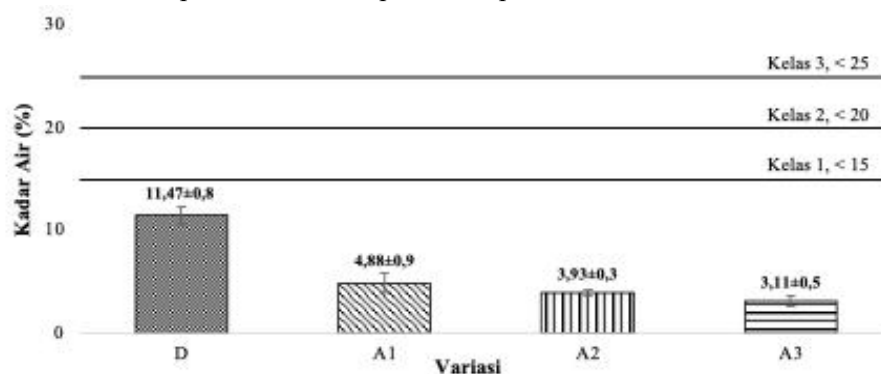
Gambar 6. Data Penurunan Kadar Air

Menurut penelitian Schilling dkk. (2015), kadar air optimal untuk produksi pelet adalah 15%. Kadar air dapat meningkatkan sifat mekanis dan mengurangi energi pada proses peletisasi. Dalam penelitian ini, proses *biodrying* limbah eceng gondok dihentikan dengan kadar air 20% karena akan dilakukan penambahan sekam padi yang hanya memiliki kadar air 10,2% pada proses peletisasi (Dahlan & Hariyanto, 2022). Kadar air yang terkandung sudah mencukupi untuk membantu pemadatan tanpa penambahan air sehingga menghasilkan pelet yang padat.

3.3. Hasil Uji Kualitas Pelet Biomassa

3.3.1. Kadar Air

Kadar air merupakan parameter penting dalam menentukan kualitas pelet karena memengaruhi nilai kalor, efisiensi pembakaran, sifat mudah terbakar, serta jumlah asap yang dihasilkan selama proses pembakaran. Berikut data hasil pengukuran kadar air pelet biomassa dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Kadar Air Pelet Biomassa

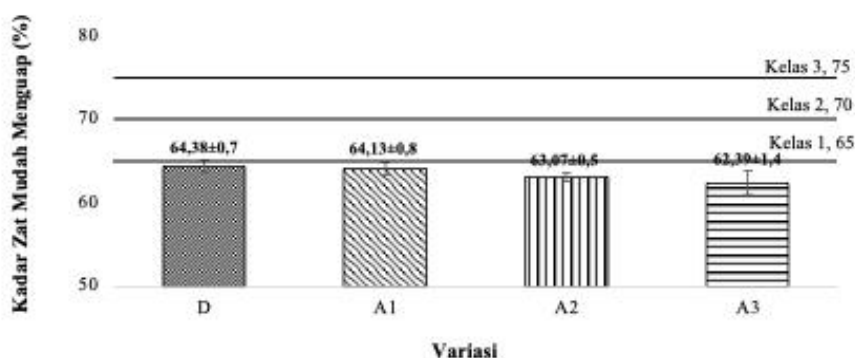
Berdasarkan grafik pada Gambar 7., seluruh variasi memenuhi standar kadar air pelet biomassa kelas 1 menurut SNI 8966:2021, yaitu $<15\%$. Terjadi penurunan kadar air pada variasi D dari $20,1 \pm 0,4\%$ saat setelah proses *biodrying* menjadi $11,47 \pm 0,8\%$ saat setelah peletisasi. Hal ini menunjukkan bahwa proses peletisasi berkontribusi signifikan terhadap pengurangan kadar air. Proses ini melibatkan tekanan tinggi dan panas yang dihasilkan oleh mesin saat memadatkan biomassa sehingga sisa air keluar dalam bentuk uap atau cairan (Haryanto dkk., 2023).

Variasi A3 memiliki kadar air terendah, yaitu sebesar $3,11 \pm 0,5\%$. Hal ini disebabkan oleh dominasi sekam padi dalam komposisi bahan dengan rasio eceng gondok dan sekam padi sebesar 1:3. Penambahan sekam padi terbukti menurunkan kadar air hingga 72,89% pada variasi A3. Hal ini dikarenakan sifat sekam padi yang lebih kering dan higroskopis sehingga mampu menyerap air dan menurunkan total kadar air pada pelet biomassa. Sifat higroskopis

ini disebabkan oleh gugus hidroksil pada struktur selulosa serta jaringan parenkim sekam padi yang menyerupai spons (Milawarni dkk., 2023).

3.3.2. Kadar Zat Mudah Menguap

Kadar zat mudah menguap merupakan komponen yang menguap akibat dekomposisi senyawa dalam pelet biomassa selain kadar air. Kandungan zat ini memengaruhi efisiensi pembakaran, semakin tinggi kadar zat mudah menguap, maka efisiensi pembakaran menurun dan jumlah asap yang dihasilkan meningkat (Mustamu & Pattiruhu, 2018). Menurut penelitian Paris dkk. (2022), kadar air yang tinggi dalam biomassa dapat meningkatkan kandungan zat mudah menguap sehingga menghambat pembakaran optimal. Berikut data hasil pengukuran kadar zat mudah menguap pelet biomassa dapat dilihat pada **Gambar 8**.

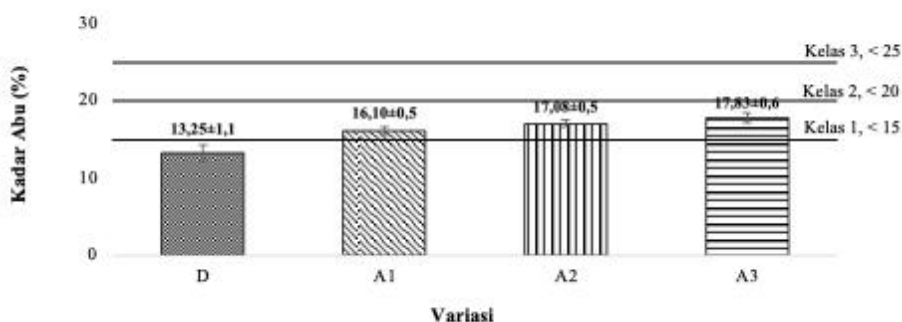


Gambar 8. Kadar Zat Mudah Menguap Pelet Biomassa

Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.8**, kadar zat mudah menguap pelet biomassa yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: variasi D sebesar $64,38 \pm 0,7\%$, variasi A1 sebesar $64,13 \pm 0,8\%$, variasi A2 sebesar $63,07 \pm 0,5\%$, dan variasi A3 sebesar $62,39 \pm 1,4\%$. Seluruh variasi pada penelitian ini telah memenuhi persyaratan zat mudah menguap pelet biomassa kelas 1 pada SNI 8966:202 yaitu $\leq 65\%$. Variasi A3 menunjukkan kadar zat mudah menguap terbaik karena memiliki kadar air paling rendah sehingga mendukung proses pembakaran yang lebih optimal.

3.3.3. Kadar Abu

Kadar abu merupakan residu yang tersisa setelah proses pembakaran yang tidak lagi memiliki nilai kalor maupun unsur karbon. Nilai kadar abu dipengaruhi oleh jenis bahan yang digunakan, biomassa dengan kandungan silika tinggi cenderung menghasilkan kadar abu yang lebih besar. Kadar abu yang tinggi dapat menurunkan efisiensi pembakaran karena akumulasi abu selama proses tersebut akan mengurangi panas yang dihasilkan (Fatriani dkk., 2018). Berikut data hasil pengukuran kadar abu pelet biomassa dapat dilihat pada **Gambar 9**.

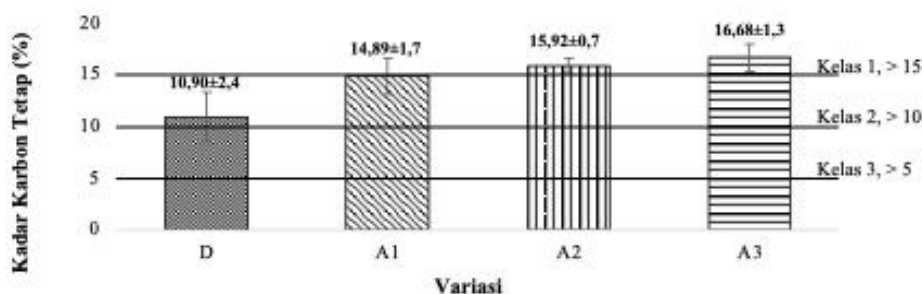


Gambar 9. Kadar Abu Pelet Biomassa

Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.9**, kadar abu pelet biomassa yang dihasilkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: variasi D sebesar $13,25 \pm 1,1\%$, variasi A1 sebesar $16,10 \pm 0,5\%$, variasi A2 sebesar $17,08 \pm 0,5\%$, dan variasi A3 sebesar $17,83 \pm 0,6\%$. Seluruh variasi telah memenuhi persyaratan kadar abu berdasarkan SNI 8966:2021, di mana variasi D termasuk dalam kelas 1 ($<15\%$), sementara variasi A1, A2, dan A3 termasuk dalam kelas 2 ($<20\%$). Kandungan silika pada sekam padi yang mencapai 15–20% menyebabkan peningkatan kadar abu pada pelet biomassa dengan proporsi sekam padi yang lebih tinggi (Dahlan&Hariyanto, 2022). Selain itu, berdasarkan penelitian Putri (2023), kadar air yang lebih rendah pada pelet biomassa dapat meningkatkan kadar abu yang dihasilkan karena air yang cepat menguap meninggalkan residu abu yang lebih banyak.

3.3.4. Kadar Karbon Tetap

Karbon tetap merupakan sisa karbon dalam biomassa setelah air, abu, dan zat mudah menguap dieliminasi. Karbon tetap mencerminkan jumlah bahan padat yang dapat terbakar setelah komponen zat mudah menguap dihilangkan sehingga berperan penting dalam menentukan kualitas bahan bakar. Semakin tinggi kadar karbon tetap, semakin besar nilai kalor yang dihasilkan oleh pelet biomassa (Wibowo, 2022). Tingginya kadar karbon tetap berkorelasi dengan rendahnya kadar air, zat mudah menguap, dan abu pada pelet biomassa yang secara keseluruhan dapat meningkatkan efisiensi pembakaran. Berikut data hasil pengukuran kadar karbon tetap pelet biomassa dapat dilihat pada **Gambar 10.**

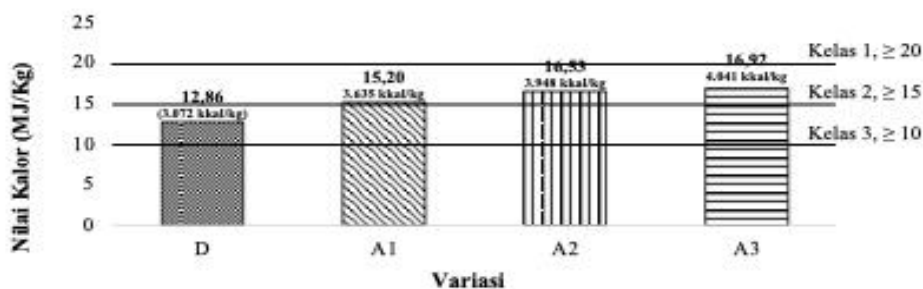


Gambar 10. Kadar Karbon Tetap Pelet Biomassa

Berdasarkan grafik pada **Gambar 10.**, kadar karbon tetap pelet biomassa yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: variasi D sebesar 10,90±2,4%, variasi A1 sebesar 14,89±1,7%, variasi A2 sebesar 15,92±0,7%, dan variasi A3 sebesar 16,68±1,3%. Seluruh variasi pada penelitian ini telah memenuhi persyaratan kadar karbon tetap biomassa pada SNI 8966:2021. Variasi A2 dan A3 memenuhi kelas 1 yaitu >15%, sedangkan variasi D dan A1 memenuhi kelas 2 yaitu >10%. Variasi A3 memiliki kadar air dan kadar zat mudah menguap yang lebih rendah dibandingkan dengan variasi lainnya sehingga memiliki kadar karbon tetap terbaik.

3.3.5. Nilai Kalor

Nilai kalor bahan bakar adalah total energi panas yang dihasilkan dari pembakaran sempurna per satuan massa atau volume bahan bakar. Pelet biomassa dengan nilai kalor yang tinggi menghasilkan pembakaran yang lebih efisien sehingga meningkatkan efektivitas energi yang dilepaskan selama proses pembakaran. Berikut data hasil pengukuran nilai kalor pelet biomassa dapat dilihat pada **Gambar 11.**



Gambar 10. Nilai Kalor Pelet Biomassa

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kalor pelet biomassa yang dihasilkan adalah sebagai berikut: variasi D sebesar 12,86 MJ/kg (3.072 kkal/kg), variasi A1 sebesar 15,20 MJ/kg (3.635 kkal/kg), variasi A2 sebesar 16,53 MJ/kg (3.948 kkal/kg), dan variasi A3 sebesar 16,92 MJ/kg (4.041 kkal/kg). Semua variasi memenuhi standar SNI 8966:2021. Variasi A1, A2, dan A3 termasuk kelas 2 (≥ 15 MJ/kg atau 3.538 kkal/kg), sedangkan variasi D masuk kelas 3 (≥ 10 MJ/kg atau 2.388 kkal/kg).

Penambahan sekam padi terbukti meningkatkan nilai kalor hingga 31,5% pada variasi A3. Hal ini dipengaruhi oleh kadar karbon tetap yang tinggi dan kadar air yang lebih rendah sehingga pembakaran pelet biomassa lebih optimal. Penelitian oleh Putri (2023) menggunakan bahan daun dan ranting dengan metode serupa, didapatkan kadar air 8% dan nilai kalor 14,7 MJ/kg (3.521 kkal/kg), biomassa eceng gondok tanpa sekam padi dalam penelitian ini memiliki kadar air 11,47% hanya menghasilkan nilai kalor 12,86 MJ/kg (3.072 kkal/kg). Hal ini menunjukkan bahwa kadar air yang rendah dapat meningkatkan nilai kalor dari pelet biomassa.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa proses biodrying selama 10 hari menghasilkan kadar air sebesar $20,1 \pm 0,4\%$, pH sebesar $7,0 \pm 0,0$, dan penyusutan setinggi 3 cm pada hari ke-10. Suhu tertinggi yang tercatat adalah $29,0 \pm 0,3^\circ\text{C}$ pada hari pertama, dan bau tidak terdeteksi mulai hari ke-5. Selain itu, hasil uji kualitas pelet biomassa eceng gondok yang dianalisis menggunakan uji proksimat dan pengukuran nilai kalor menunjukkan bahwa variasi pelet tanpa penambahan sekam padi serta dengan penambahan sekam padi dalam rasio 1:1, 1:2, dan 1:3 telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh SNI 8966:2021 untuk bahan bakar jumputan padat pembangkit listrik. Penambahan sekam padi pada pembuatan pelet biomassa eceng gondok menggunakan metode TOSS terbukti dapat meningkatkan nilai kalor pelet dari standar kelas 3 menjadi kelas 2. Pelet biomassa dengan penambahan sekam padi dalam rasio 1:3 menunjukkan kualitas terbaik dengan kadar air sebesar $3,11 \pm 0,5\%$, kadar zat mudah menguap $62,39 \pm 1,4\%$, kadar abu $17,83 \pm 0,6\%$, kadar karbon tetap $16,68 \pm 1,3\%$, dan nilai kalor sebesar $16,92 \text{ MJ/kg}$ (4.041 kkal/kg).

DAFTAR PUSTAKA

- Ab Jalil, N. A., Basri, H., Basri, N. E., & Abushammala, M. F. (2016). Biodrying Of Municipal Solid Waste Under Different Ventilation Periods. *Environmental Engineering Research*, 21(2), 145-151
- Akbari, T., Rosyidah, E., Haryanta, D., & Javandra, A. C. (2018). Determination of calorific value and firmness of water hyacinth (*Eichornia crassipes*)-rice husk briquette. *Article in Asian Journal of Microbiology Biotechnology and Environmental Sciences*, 20(4), 1089-1092. Diakses dari <https://www.researchgate.net/publication/332266673>.
- Andraskar, J., Yadav, S., & Kapley, A. (2021). Challenges and Control Strategies of Odor Emission from Composting Operation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 193(7), 2331–2356. <https://doi.org/10.1007/s12010-021-03490-3>.
- Asri, D., Ratna, P., Samudro, G., & Sumiyati, S. (2017). Pengaruh Kadar Air Terhadap Proses Pengomposan Sampah Organik Dengan Metode Takakura. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 124-128.
- Badan Standardisasi Nasional. (1989). *SNI 01-1506-1989 tentang Arang Kayu Peleburan Logam*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1995). *SNI 06-3730-1995 tentang Arang Aktif Teknis*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 01-6235-2000 tentang Briket Arang Kayu*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2021). *SNI 01-8966-2021 tentang Bahan Bakar Jumputan Padat untuk Pembangkit Listrik*.
- Bilgin, M., & Tulun, Ş. (2015). Biodrying for municipal solid waste: Volume and weight reduction. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 36(13), 1691–1697. <https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1006262>.
- Brunner, I. M. I. M., Noerhidayat, A., & Muttaqin, A. R. (2021). *Panduan Pelaksanaan Pengelolaan Sampah dengan Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS)*. Jakarta, PT Comestoorra Bentarra Noesantarra.
- Brunner, I. M. I. M., Norhidayat, A., & Brunner, S. M. (2021). Pengolahan Sampah Organik dan Limbah Biomassa dengan Teknologi Olah Sampah di Sumbernya. *Serambi Engineering*, 6(3), 2085- 2095.
- Dahlan, M., & Hariyanto. (2022). Pengaruh Kadar Air Sekam Padi Terhadap Efisiensi Pembakaran Kompor Gasifikasi. *Journal of Energy, Materials, & Manufacturing Technology (JEMMTEC)*, 1(1), 7-11.
- Fatriani, Sunardi, & Arfianti. (2018). Kadar Air, Kerapatan, Dan Kadar Abu Wood Pellet Serbuk Gergaji Kayu Galam (*Melaleuca cajuputi* Roxb) Dan Kayu Akasia (*Acacia mangium* Wild). *EnviroScientiae*, 14(1), 77–81.
- Hadi, R. A. (2019). Pemanfaatan MOL (Mikroorganisme Lokal) dari Materi yang Tersedia di Sekitar Lingkungan. *Agroscience*, 9(1), 93-104.
- Handayani, K., Royanti, V., & Ekowati, C. N. (2023). Indeks Keanekaragaman Bakteri *Bacillus* Sp. Dari Tanah Kebun Raya Liwa. *Gunung Djati Conference Series*. pp. 46-52.
- Haryanto, A., Waluyo, S., Utami, A. P., & Triyono, S. (2023). Pengaruh Gaya Tekan Dan Waktu Penekanan Terhadap Karakteristik Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 11(1), 89-101.

- Kementerian ESDM RI. (2021). *PLTU di 35 Lokasi di Indonesia Siap Implementasikan Cofiring Biomassa*. Diperoleh 05 Mei 2023 dari <https://www.esdm.go.id/en/berita-unit/directorate-general-ebtke/pltu-di-35-lokasi-di-indonesia-siap-implementasikan-cofiring-biomassa>.
- Kusumaningtyas, R. D., Prajanti, S. D. W., & Triwibowo, B. (2022). *Studi Kelayakan Pilot Plant Biopellet Eceng Gondok Semarang*, LPPM Universitas Negeri Semarang.
- Malik, W. A., & Javed, S. (2021). Biochemical Characterization of Cellulase From *Bacillus subtilis* Strain and its Effect on Digestibility and Structural Modifications of Lignocellulose Rich Biomass. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.800265>.
- Milawarni, M., Fahmi, F., Zulfadli, T., Hayati, R., & Fauziah, A. (2024). Karakteristik Fisis dan Mekanis Komposit Hybrid Serat Jerami Padi/Gelas dengan Matrik Epoxy. *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 7(1), 62-67.
- Mohammed, M., Ozbay, I., & Durmusoglu, E. (2017). Bio-drying of green waste with high moisture content. *Process Safety and Environmental Protection*, 111, 420–427. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.08.002>.
- Mustamu, S., & Pattiruhu, G. (2018). Pembuatan Biopellet Dari Kayu Putih Dengan Penambahan Gondorukem Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, 2(1), 91–100. <https://doi.org/10.30598/jhpk.2018.2.1.91>.
- Paris, E., Carnevale, M., Vincenti, B., Palma, A., Guerriero, E., Borello, D., & Gallucci, F. (2022). Evaluation of VOCs Emitted from Biomass Combustion in a Small CHP Plant: Difference between Dry and Wet Poplar Woodchips. *Molecules*, 27(3). <https://doi.org/10.3390/molecules27030955>
- 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)*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas.
- Schilling, C., Lee, J. S., Ghiasi, B., Tajilrou, M., Wöhler, M., Lim, C. J., Bi, X. T., Lau, A., Pelz, S., Tabil, L., & Sokhansanj, S. (2015). *The Canadian Society for Bioengineering La Société Canadienne de Génie Agroalimentaire et de Bioingénierie Towards manufacturing the “ideal pellet” Written for presentation at the CSBE*.
- Sukma, F. A. (2023). *Aplikasi Mikroorganisme Lokal dari Ampas Tebu dan Limbah Ikan Tongkol Pada Pengolahan Sampah dengan Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS)*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas.
- Wang, Y., Chen, Y., Gao, X., Wang, Q., Cui, M., Zhang, D., & Guo, P. (2024). Unveiling the driving role of pH on community stability and function during lignocellulose degradation in paddy soil. *Frontiers in Microbiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1338842>.
- Wibowo, S. (2022). Pengaruh Penambahan Tepung Tapioka Pada Karakteristik Pelet Kayu dari Limbah Cabang Kayu Jati Perhutani Plus (JPP). *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 16(1), 50–63. <https://doi.org/10.22146/jik.v16i1.1807>.
- Yuliyanto, E., Puji Astuti, A., & Agustin Rahmawati, A. (2016). Potensi Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Rawa Pening untuk Budidaya Jamur *Campignon* Perspektif Desa Ekowisata Asinan. *Prosiding Seminar Nasional & Internasional*, 1(1). Diakses dari <http://static.republika.co.id/>.
- Yunilas, Y., Siregar, A. Z., Mirwhandhono, E., Purba, A., Fati, N., & Malvin, T. (2022). Potensi dan Karakteristik Larutan Mikroorganisme Lokal (MOL) Berbasis Limbah Sayur sebagai Bioaktivator dalam Fermentasi. *Journal of Livestock and Animal Health*, 5(2), 53–59. <https://doi.org/10.32530/jlah.v5i2.540>.
- Zaman, B., Samadikun, B. P., Hardyanti, N., & Purwono, P. (2021). Waste to Energy Calorific Improvement of Municipal Solid Waste through Biodrying. *Environmental and Climate Technologies*, 25(1), 176–187.