



Pengaruh Metode Pengarangan dan Ukuran Partikel Terhadap Kualitas Briket Cangkang Kelapa Sawit

Shintawati^{1,*}, Dewi Ermaya¹, Yeni Ria Wulandari¹, Yana Sukaryana², dan Riki Fernando¹

¹Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Lampung, 35141, Indonesia

²Jurusan Peternakan, Politeknik Negeri Lampung, 35141, Indonesia

*Penulis korespondensi : shintawati@polinela.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.rbaet.2024.008.01.03>

Abstract

Effect of Combustion Method and Particle Size on the Quality of Palm Shell Briquettes. One renewable energy source is biomass. Biomass is organic matter that generally comes from plants. Bio charcoal briquettes are solid fuels and come from the remnants of biomass that are charred. This study aims to examine the effect of authoring method and particle size on briquette quality. This study used the method of torrefaction authoring at temperatures of 200°C, 300°C and manual authoring. The particle size of charcoal varies by 20 and 40 mesh. The parameters tested are moisture content, calorific value, bound carbon content, vapor content, ash content, density and combustion rate. The results showed that the type of torrefaction authoring was able to improve the quality of briquettes through increasing calorific value, bound carbon content and reducing water content and evaporating substances and the production of liquid smoke products by 48.5%. The quality of briquettes from the temperature of 300°C charcoal size 20 mesh briquettes meet the quality I of SNI 01-6235-2000 with calorific values and water content of 6841 Cal/g, 3.52% respectively and the content of bound carbon, vaporizers, ash, density and combustion rate are 50.06%, 37.59%, 8.13%, 1.71 g/cm³, 0.076 g/min.

Keywords: *briquettes; palm oil; shell; torrefaction*

Abstrak

Salah satu sumber energi terbarukan adalah biomassa. Biomassa merupakan bahan organik yang umumnya berasal dari tanaman. Briket bioarang merupakan bahan bakar padat dan berasal dari biomassa yang diarang terlebih dahulu. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh metode pengarangan dan ukuran partikel terhadap kualitas briket. Penelitian ini menggunakan metode pengarangan torefaksi pada suhu 200°C, 300°C dan pengarangan manual. Ukuran partikel arang divariasikan 20 dan 40 mesh. Parameter yang uji adalah kadar air, nilai kalor, kadar karbon terikat, kadar zat menguap, kadar abu, densitas dan laju pembakaran. Hasil penelitian menunjukkan tipe pengarangan torefaksi mampu meningkatkan kualitas briket melalui peningkatan nilai kalor, kadar karbon terikat dan menurunkan kadar air serta zat menguap serta dihasilkannya produk asap cair sebanyak 48,5%. Kualitas briket hasil pengarangan torefaksi suhu 300°C ukuran arang 20 mesh memenuhi mutu I SNI 01-6235-2000 dengan nilai kalor, kadar air masing-masing adalah 6841 kal/g, 3,52 % dan kadar karbon terikat, zat menguap, abu, densitas serta laju pembakaran masing-masing adalah 50,06%, 37,59%, 8,13%, 1,71 g/cm³, 0,076 g/menit.

Kata kunci: briket; cangkang; kelapa sawit; torefaksi

Article History

Submitted:

October 19th, 2023

Accepted:

February 28th,
2024

Published:

May 31th, 2024

© 2024 Universitas
Brawijaya



PENDAHULUAN

Peningkatan harga bahan bakar fosil dan isu lingkungan sebagai dampak penggunaannya memacu pencarian dan penerapan sumber energi terbarukan yang berbasis sumber daya lokal. Salah satu sumber energi terbarukan adalah biomassa. Biomassa merupakan bahan organik yang umumnya berasal dari tanaman [1]. Potensi biomassa di Indonesia cukup besar yaitu 146,7 juta ton/tahun dengan potensi energi 470 GJ/tahun [2]. Biomassa padat, seperti cangkang kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit, serpihan kayu, bagasse tebu dan jerami padi memiliki kandungan karbon cukup tinggi yaitu 49,79% [1] dengan kadar air menengah sehingga berpotensi dijadikan bahan bakar padat [2]. Keunggulan penggunaan biomassa sebagai bahan bakar adalah dihasilkannya gas CO₂ netral, gas tersebut digunakan oleh tanaman untuk fotosintesis dan tanaman melepaskan kembali ke udara bebas dalam bentuk oksigen yang dibutuhkan makhluk hidup [3]. Biomassa padat yang dihasilkan dari industri pengolahan kelapa sawit (PKS) antara lain cangkang sawit dengan potensi energi terbesar yaitu 70 kwh/ton, serabut mesocarp dan tandan kosong [4]. Karakteristik cangkang sawit terdiri dari 50% unsur karbon dengan kadar sulfur yang rendah yaitu 0,19% [3], memiliki nilai kalor yang tinggi yaitu 3.800 kal/g[4]. Hal ini menjadikan cangkang sebagai salah satu sumber bahan baku bahan bakar terbarukan yang potensial dan ramah lingkungan. Selain itu penggunaan sisa kegiatan industri seperti cangkang kelapa sawit sebagai bahan bakar juga meminimumkan penggunaan kayu yang umumnya berasal dari hutan yang berfungsi sebagai pencegah erosi dan pengikat air [5]. Permasalahan aplikasi biomassa secara langsung sebagai bahan baku sumber energi adalah sifat hidrofilik dari bahan alam [6], sehingga cenderung memiliki kadar air tinggi [7], mudah terkontaminasi jamur dan mengalami kerusakan biologis [9] serta memiliki densitas rendah yang mengakibatkan nilai panas yang dihasilkan rendah dan berasap [5].

Briket bioarang merupakan bahan bakar yang berbentuk padat dan berasal dari sisa-sisa bahan organik yang diarangkan terlebih dahulu [8]. Pengarangan bahan baku briket bertujuan untuk menurunkan kadar air dan zat terbang serta meningkatkan kepadatan yang guna meningkatkan nilai kalor briket yang dihasilkan [8]. Proses pengarangan juga mampu menghasilkan briket

biomassa seperti cangkang sawit yang bebas sulfur [9][10]. Bentuk briket yang padat [11] ini memudahkannya dalam penanganan, transportasi serta memiliki energi per volume yang lebih tinggi. Proses pembuatan briket bioarang relatif sederhana, namun proses pengarangan akan mempengaruhi kualitas briket yang dihasilkan.

Torefaksi merupakan salah satu metode pengarangan pada suhu 200°C-300°C [12][1] dengan oksigen terbatas [13] dan secara termokimia mengubah biomassa menjadi bahan yang lebih mudah ditangani, digiling dan arang yang dihasilkan merupakan sumber energi bersih [7]. Penelitian terdahulu menunjukkan kadar air pellet bioarang hasil torefaksi tandan kosong kelapa sawit lebih rendah 4,88% dari pellet tanpa torefaksi. Rendahnya kadar air akan meningkatkan umur simpan pellet bioarang [13]. Torefaksi kayu karet pada 200°C–300°C mampu meningkatkan nilai kalor 1,71-18,32% [14]. Dibandingkan pembakaran manual, keunggulan lain dari metode pembuatan arang dengan proses torefaksi adalah dihasilkannya asap cair yang dapat digunakan sebagai desinfektan, pengganti formalin dalam pengawetan makanan, koagulan lateks dan biopestisida [15], namun metode pembuatan arang secara manual dilakukan dengan alat dan cara yang relatif sederhana. Kajian pembuatan briket bioarang dari cangkang kelapa sawit dengan membandingkan metode pembuatan arang secara manual dan torefaksi masih terbatas.

Selain metode dan suhu pengarangan, faktor lain yang mempengaruhi kualitas briket bioarang yaitu jenis bahan baku arang yang digunakan, ukuran partikel arang, jenis dan jumlah perekat [16] serta tekanan saat dilakukan pencetakan [17]. Standar mutu briket arang tercantum pada SNI 01-6235-2000 sebagaimana **Tabel 1**.

Tabel 1. SNI 01-6235-2000 Briket Arang Kayu

No	Parameter	Persyaratan
1	Kadar Air (%)	Maksimum 8
2	Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C (%)	Maksimum 15
3	Kadar Abu (%)	Maksimum 8
4	Kalori (Kal/g)	Minimum 5000

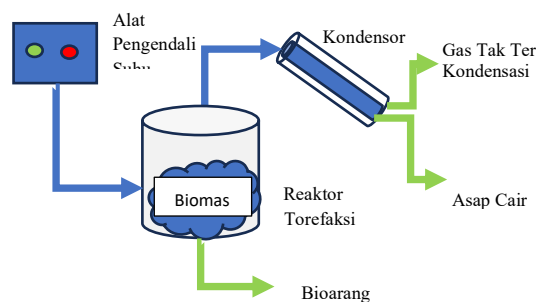
Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh metode pembuatan arang yaitu manual dan torefaksi pada suhu 200°C–300°C serta ukuran

partikel arang terhadap karakteristik briket bioarang cangkang kelapa sawit antara lain kadar air, nilai kalor, kadar zat menguap, kadar abu, kadar karbon terikat, densitas briket dan laju pembakaran.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan utama penelitian adalah cangkang kelapa sawit dari PTPN VII Bekri Kabupaten Lampung Tengah, asam benzoat, *fuse fire* dan tapioka sebagai perekat. Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain *diskmill*, ayakan 20 dan 40 mesh, drum, reaktor torefaksi yang dilengkapi dengan alat pengendali suhu (**Gambar 1**), oven, *bomb calorimeter*, *stopwatch*, *furnace* serta alat pencetak briket.



Gambar 1. Reaktor Torefaksi

Prosedur Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Rekayasa Kimia Industri Politeknik Negeri Lampung.

a. Penyiapan Bahan Baku dan Perekat

Preparasi sampel dengan mengeringkan cangkang dalam oven pada 50°C selama 24 jam. Perekat dibuat dengan melarutkan tapioka sebanyak 15 g dalam 150 ml air lalu dipanaskan dan diaduk hingga kental [11].

b. Pembuatan Arang Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang yang telah dikeringkan diarangkan secara manual dan torefaksi. Metode pembuatan arang manual dilakukan dengan membakar cangkang di dalam drum tanpa pengendalian suhu selama 3 jam. Metode pembuatan arang dengan torefaksi dilakukan dalam reaktor torefaksi pada suhu 200°C dan 300°C selama 1 jam. Setelah proses torefaksi, arang yang terdapat didalam reaktor torefaksi ditimbang dan dihitung rendemennya dengan persamaan 1 [18].

Asap cair yang dihasilkan ditampung dan diakhir proses dihitung rendemennya dengan persamaan 2. Gas tak terkondensasi yang dihasilkan dihitung dengan persamaan 3.

$$\text{Bioarang (\%)} = \frac{\text{Masa Bioarang}}{\text{Masa Sebelum Pengarangan}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{Asap Cair (\%)} = \frac{\text{Volume Asap Cair} \times \text{Densitas Asap Cair}}{\text{Masa Cangkang Sebelum Pengarangan}} \times 100\% \dots \dots (2)$$

$$\text{Gas tak terkondensasi (\%)} = 100\% - \% \text{bioarang} - \% \text{asap cair} \dots \dots (3)$$

c. Pembuatan Briket

Arang hasil pembakaran manual dan torefaksi masing-masing digiling menggunakan *diskmill* kemudian diayak dengan ayakan 20 mesh dan 40 mesh. Kemudian serbuk arang dicampur dengan perekat tapioka yang telah disiapkan. Rasio berat serbuk arang terhadap perekat tapioka yang dicampurkan adalah 4 : 1. Campuran arang dan perekat lalu dicetak dalam alat cetak briket. Ukuran diameter dan panjang briket masing-masing 2,5 cm dan 8 cm. Briket yang telah dicetak dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama 24 jam. **Tabel 1** menunjukkan variasi pengarangan dan ukuran partikel arang yang digunakan dalam pembuatan briket.

Tabel 2. Variasi Pembuatan Briket Bioarang Cangkang Kelapa Sawit

No	Metode Pembuatan	
	Arang	Ukuran Arang
1	Manual	20 mesh
2	Manual	40 mesh
3	Torefaksi 200°C	20 mesh
4	Torefaksi 200°C	40 mesh
5	Torefaksi 300°C	20 mesh
6	Torefaksi 300°C	40 mesh

d. Pengujian Kualitas Briket

Pengujian produk briket bioarang antara lain nilai kalor, analisa proksimat dengan parameter kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, dan karbon terikat, densitas briket, serta laju pembakaran [19].

Nilai Kalor (ASTM 5865-10a)

Pengujian nilai kalor menggunakan bom kalorimeter. Briket dihaluskan hingga ukuran 60

mesh, kemudian sebanyak 0,8 g – 1 g ditimbang dan dimasukkan ke dalam cawan lalu dimasukkan ke wadah pembakaran. Oksigen dialirkan untuk membantu pembakaran. Hasil yang diperoleh dalam bentuk kurva grafik yaitu *energi equivalent* serta suhu pada bomb kalorimeter dimasukkan kedalam persamaan 4 :

$$H_g = \frac{(\Delta t \times W) - e_3}{m} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

W : *Energi Equivalent* dari kalorimeter (Kal/°C)

H_g : Nilai Kalori (Kal/g)

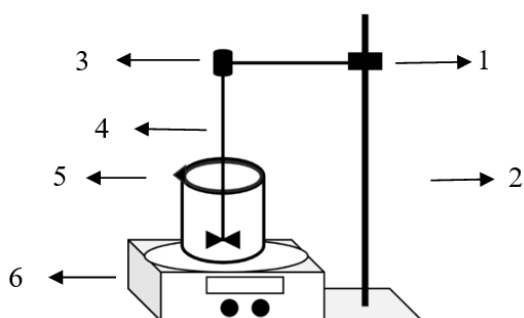
m : Massa sampel (gram)

e_3 : faktor koreksi untuk heat formation pada *fuse fire* (panjang sisa *fuse fire* dikali 2,3)

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian skala laboratorium dengan menggunakan proses *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF). Data penelitian berupa kadar selulosa batang tembakau dan hasil analisis kadar bioetanol. Adapun tahapan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Preparasi Bahan Baku

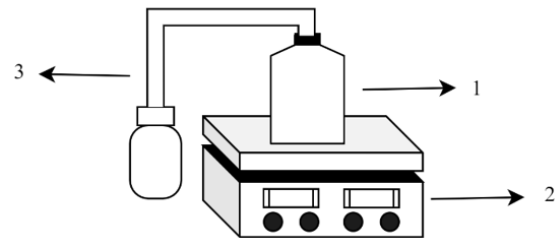
Pada penelitian ini digunakan bahan baku berupa batang tembakau kering. Preparasi sampel batang tembakau pada penelitian ini dimulai dengan memotong batang tembakau hingga berukuran 4–6 cm. Kemudian batang tembakau dicuci dengan air bersih untuk menghilangkan pengotornya. Selanjutnya batang tembakau diberi perlakuan pengeringan dengan bantuan sinar matahari selama 3 hari. Setelah itu, batang tembakau dihaluskan dengan *disk mill*. Batang tembakau yang telah dihaluskan dilakukan pengayakan dengan ayakan 60 mesh hingga didapatkan partikel yang lebih kecil [13].



Gambar 2. Rangkaian Alat Delignifikasi

Keterangan :

- | | |
|--------------------|-------------------------|
| (1) Klem | (4) Batang pengaduk |
| (2) Statif | (5) <i>Beaker Glass</i> |
| (3) Motor pengaduk | (6) Kompor |



Gambar 3. Rangkaian Alat SSF

Keterangan :

- | | |
|---------------------------|------------|
| (1) Fermentor | (3) Selang |
| (2) <i>Orbital Shaker</i> | |

2. Proses Delignifikasi

Serbuk batang tembakau sebanyak 100 gram ditambahkan 1000 ml NaOH dengan konsentrasi 20% lalu dipanaskan dengan *hot plate* pada suhu 105°C selama waktu 60 menit. Sebelum disaring, sampel didinginkan terlebih dahulu sampai suhu 30°C. Selulosa yang diperoleh kemudian dicuci dengan aquades hingga pH netral (pH 7).

3. Proses SSF

Selulosa batang tembakau ditimbang sebanyak 15 gram, kemudian dilarutkan dalam aquadest 150 ml. Kemudian dilakukan pengukuran pH filtrat hingga didapatkan pH asam (4–5) dan dilanjutkan dengan penambahan enzim selulase dengan variasi volume enzim sebanyak 6, 7, 8, 9, dan 10 ml lalu dilakukan pengadukan dengan kecepatan 250 rpm selama 2 jam. Selanjutnya dilakukan penambahan *Turbo Yeast* sebanyak 3 gram dan dilanjutkan proses fermentasi, dilakukan secara anaerob dengan variasi waktu fermentasi selama 24, 48, 72, 96, dan 120 jam. Hasil fermentasi dilakukan filtrasi menggunakan kertas saring. Proses hidrolisis dan fermentasi dilakukan pada suhu 30°C.

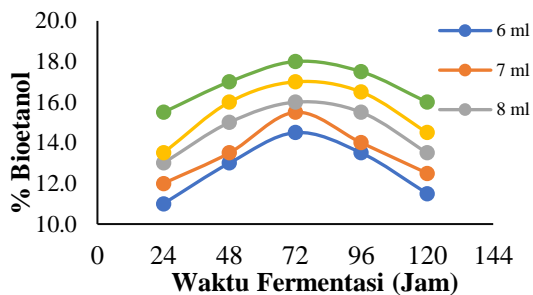
4. Analisis Kadar Bioetanol

Untuk mengetahui kadar bioetanol pada hasil fermentasi dilakukan pengujian kadar menggunakan refraktometer alkohol. Pengujian kadar bioetanol dilakukan dengan meneteskan sebanyak 1-2 tetes hasil fermentasi yang telah disaring pada bagian prisma biru dan di atasnya diletakkan prisma kotak serta plat penutup. Nilai kadar bioetanol dapat

diketahui dengan membaca ketinggian lapisan putih pada lensa refraktometer yang sejajar dengan skala satuan %Brix.

HASIL DAN PEMBAHASAN

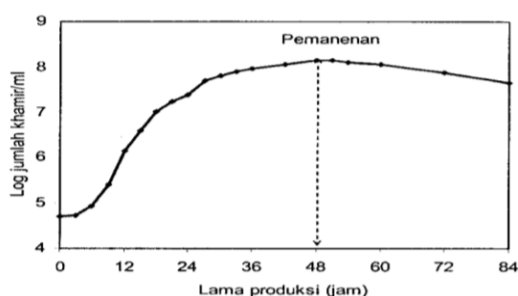
Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil yang ditunjukkan oleh **Gambar 34**.



Gambar 4. Pengaruh waktu fermentasi terhadap kadar bioetanol pada berbagai volume enzim selulase.

Pengaruh waktu fermentasi terhadap kadar bioetanol

Pada **Gambar 3** dapat diketahui bahwa kadar bioetanol tertinggi diperoleh pada waktu fermentasi 72 jam dengan volume enzim selulase sebanyak 10 ml. Selama waktu fermentasi 24 jam, 48 jam, hingga 72 jam kadar bioetanol yang dihasilkan mengalami peningkatan karena *yeast* berada pada fase lag, dimana *yeast* baru mulai beradaptasi. Setelah melewati fase lag, *yeast* memasuki fase eksponensial yang mengakibatkan *yeast* mengalami pertumbuhan yang sangat cepat dan memperbanyak diri dengan memanfaatkan glukosa dari hasil sakarifikasi. Di dalam fase ini terjadi perubahan glukosa menjadi bioetanol hingga diperoleh kadar bioetanol yang tertinggi. Menurut Novelina, dkk, kurva pertumbuhan *yeast* ditunjukkan pada **Gambar 4** [14].



Gambar 5. Kurva pertumbuhan *yeast* [14]

Hasil ini sesuai dengan penelitian oleh [15], yang menyatakan bahwa pada proses fermentasi, waktu fermentasi mempengaruhi kadar bioetanol yang dihasilkan. Lamanya waktu fermentasi pada proses produksi bioetanol sangat mempengaruhi kadar bioetanol yang dihasilkan. Semakin lama waktu fermentasi maka semakin tinggi kadar bioetanol yang dihasilkan [16].

Tetapi setelah waktu fermentasi 72 jam terjadi penurunan kadar etanol karena *yeast* mulai memasuki fase kematian, dimana nutrisi yang dibutuhkan *yeast* mulai berkurang sehingga kadar bioetanol yang diperoleh mulai menurun. Hasil ini sesuai dengan penelitian oleh Mayzuhroh, yang menjelaskan bahwa terjadinya penurunan kadar bioetanol ini disebabkan oleh nutrisi yang merupakan sumber makanan mikroba mulai habis dan kemampuan dalam mengonversi glukosa menjadi bioetanol menurun [17].

Pengaruh volume enzim selulase terhadap kadar bioetanol

Kadar bioetanol yang dihasilkan pada proses fermentasi juga dipengaruhi oleh volume enzim selulase. Semakin besar volume enzim selulase yang digunakan pada proses SSF maka semakin tinggi pula kadar bioetanol yang didapatkan, dimana peningkatan glukosa yang diurai menjadi bioetanol oleh *yeast* ini terjadi jika volume enzim selulase yang digunakan semakin besar. Hal ini sesuai dengan penelitian oleh [6], yang menyatakan bahwa penambahan enzim dapat mempengaruhi kadar bioetanol yang diperoleh. Semakin banyak enzim yang ditambahkan maka kadar bioetanol yang dihasilkan semakin besar karena semakin banyak glukosa yang dikonversi menjadi bioetanol. Pada hasil penelitian fermentasi bioetanol dari batang tembakau varietas jinten ini diperoleh kadar bioetanol tertinggi adalah 18% pada lama waktu fermentasi 72 jam dan volume enzim selulase 10 ml. Sedangkan kadar bioetanol terendah yang diperoleh adalah 11% pada lama waktu fermentasi 24 jam dan volume enzim selulase 6 ml. Berdasarkan hasil penelitian ini, proses SSF (*Simultaneous Saccharification and Fermentation*) dengan bahan baku batang tembakau diperoleh kadar bioetanol yang lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian oleh Fitria dan Lindasari, 2020 [10] yang juga menggunakan proses SSF (*Simultaneous Saccharification and Fermentation*) dengan bahan

baku tongkol jagung. Pada penelitian sebelumnya diperoleh kadar bioetanol sebesar 8% pada waktu fermentasi 72 jam dan volume enzim sebesar 11% substrat. Hal ini disebabkan karena kandungan selulosa yang terdapat pada batang tembakau lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan selulosa pada tongkol jagung sehingga glukosa dan kadar bioetanol yang diperoleh dengan proses SSF (*Simultaneous Saccharification and Fermentation*) juga lebih besar.

KESIMPULAN

Hasil terbaik pada penelitian fermentasi batang tembakau varietas Jinten melalui proses SSF (*Simultaneous Saccharification and Fermentation*) diperoleh pada waktu fermentasi selama 72 jam dengan penambahan volume enzim selulase sebanyak 10 ml yang menghasilkan kadar etanol sebesar 18%. Pada penelitian ini diperoleh kadar bioetanol dari batang tembakau melalui proses SSF (*Simultaneous Saccharification and Fermentation*) yang lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan bahan baku tongkol jagung dengan kadar bioetanol yang diperoleh sebesar 8%.

ACKNOWLEDGMENTS

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jendral Perkebunan, "Statistik Perkebunan Indonesia 2018-2021," *Secretariate of Directorate General of Estates*, 2019.
- [2] S. S. Handayani, A. Amrullah, R. Tarnanda, and B. A. Rahayu, "PROSES DEGRADASI LIGNIN PADA LIMBAH BATANG TEMBAKAU SEBAGAI PERSIAPAN PRODUKSI BIOETANOL," *Jurnal Pijar Mipa*, vol. 13, no. 2, 2018, doi: 10.29303/jpm.v13i2.750.
- [3] A. Y. M. Simanjuntak and R. Subagyo, "ANALISIS HASIL FERMENTASI PEMBUATAN BIOETANOL DENGAN VARIASI WAKTU MENGGUNAKAN BAHAN (SINGKONG, BERAS KETAN HITAM DAN BERAS KETAN PUTIH)," *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 4, no. 2, 2019, doi: 10.20527/sjmeKinematika.v4i2.119.
- [4] S. Bahri, A. Aji, and F. Yani, "Pembuatan Bioetanol dari Kulit Pisang Kepok dengan Cara Fermentasi menggunakan Ragi Roti," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 7, no. 2, 2019, doi: 10.29103/jtku.v7i2.1252.
- [5] F. H. Moede, S. T. Gonggo, and R. Ratman, "Pengaruh Lama Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Bioetanol dari Pati Ubi Jalar Kuning (*Ipomea batata L.*)," *Jurnal Akademika Kimia*, vol. 6, no. 2, 2017, doi: 10.22487/j24775185.2017.v6.i2.9238.
- [6] Z. Fadly Khaira, E. Yenice, and S. Rezeki Muria, "Pembuatan Bioetanol Dari Limbah Tongkol Jagung Menggunakan Proses Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) Dengan Variasi Konsentrasi Enzim Dan Waktu Fermentasi," 2015.
- [7] G. P. Adi Wira Kusuma, K. Ayu Nocianitri, and I. D. P. Kartika Pratiwi, "Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Karakteristik Fermented Rice Drink Sebagai Minuman Probiotik Dengan Isolat *Lactobacillus sp. F213*," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan (ITEPA)*, vol. 9, no. 2, 2020, doi: 10.24843/itepa.2020.v09.i02.p08.
- [8] T. Maryana, D. Silsia, and Budiyanto, "Pengaruh Konsentrasi dan Jenis Ragi Pada Produksi Bioetanol dari Ampas Tebu," *Jurnal Agroindustri*, vol. 10, no. 1, 2020.
- [9] F. P. Nugrahini, H. Sitompul, and D. R. Putra, "Pengaruh Waktu Dan Konsentrasi Enzim Selulase Pada Proses Hidrolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Glukosa," *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, vol. 1, no. 1, 2016.
- [10] N. FITRIA and E. LINDASARI, "Optimasi Perolehan Bioetanol dari Kulit Nanas (*Ananas cosmosus*) dengan Penambahan Urea, Variasi Konsentrasi Inokulasi Starter dan Waktu Fermentasi," *Jurnal Reka Lingkungan*, vol. 9, no. 1, 2020, doi: 10.26760/rekalingkungan.v9i1.1-10.
- [11] J. Jayus et al., "PRODUKSI BIOETANOL SECARA SHF DAN SSF MENGGUNAKAN *Aspergillus niger*, *Trichoderma viride* DAN *New Aule Instant Dry Yeast* PADA MEDIA KULIT UBI KAYU," *Jurnal Agroteknologi*, vol. 11, no. 01, 2017, doi: 10.19184/j-agt.v11i1.5448.

- [12] J. Jayus, A. Nafi', and A. S. Hanifa, "DEGRADASI KOMPONEN SELULOSA, HEMISELULOSA, DAN PATI TEPUNG KULIT UBI KAYU MENJADI GULA REDUKSI OLEH *Aspergillus niger*, *Trichoderma viride*, DAN *Acremonium* sp. IMI 383068," *JURNAL AGROTEKNOLOGI*, vol. 13, no. 01, 2019, doi: 10.19184/j-agt.v13i01.7868.
- [13] Suprihatin, Yuni K. Nur Aisyah, and Ardika N., "Isolasi Alfa Selulosa dari Limbah Batang Tembakau sebagai Bahan Baku Produksi Bioetanol," *Jurnal Teknik Kimia*, 2021.
- [14] Novelina, S. T. Soekarto, B. S. L. Jenie, S. Saono, and M. T. Suhartono, "Pengeringan kemoreaksi kultur *Saccharomyces cerevisiae* dengan CaO serta pengaruh sorpsi kadar air terhadap stres dan kematian kultur kering," *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, vol. 16, no. 1, pp. 71–81, 2005, Accessed: Oct. 27, 2023. [Online]. Available: <https://jurnal.ipb.ac.id/index.php/jtip/article/view/473>
- [15] N. Azizah, A. Al-bAARI, and S. Mulyani, "Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Kadar Alkohol, pH, dan Produksi Gas pada Proses Fermentasi Bioetanol dari Whey dengan Substitusi Kulit Nanas," *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, vol. 1, no. 2, 2012.
- [16] S. Khodijah and A. Abtokhi, "ANALISIS PENGARUH VARIASI PERSENTASE RAGI (*Saccharomyces cerevisiae*) DAN WAKTU PADA PROSES FERMENTASI DALAM PEMANFAATAN DUCKWEED (*Lemna minor*) SEBAGAI BIOETANOL," *JURNAL NEUTRINO*, 2015, doi: 10.18860/neu.v0i0.2989.
- [17] A. Mayzuhroh, "Produksi Bioetanol Menggunakan Ragi Alkohol Instan (Angel Alkohol Active Dry Yeast dan New Aule Alkohol Yeast) dengan dan Tanpa Pemberian Aerasi dan Agitasi Pada Media Molasses," Jember, 2015.

AUTHOR'S DECLARATION

Authors' contributions and responsibilities

All authors contribute equally.

Funding

No funding.

Availability of data and materials

All data are available from the authors.

Competing interests

The authors declare no competing interest.

Additional information

No additional information from the authors.