

STUDI EKSPERIMENTAL PEMBUATAN BIOETANOL DARI BIJI PALEM (*Adonidia Merrillii*) TERHADAP NILAI KEMURNIAN DAN KARAKTERISTIK BIOETANOL

Alexander Christian

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: alexander.20071@mhs.unesa.ac.id

I Made Arsana

Prodi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: madearsana@unesa.ac.id

Abstrak

Sumber energi alternatif di Indonesia sangat berlimpah jumlahnya, salah satunya bioenergi. Pemanfaatan bioenergi masih sebesar 5,1% dari total potensi yang tersedia. Bioenergi dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar nabati. Bioetanol merupakan energi yang menggunakan proses fermentasi dari bahan organik untuk menjadi etanol. Pada pembuatan bioetanol melalui 4 tahapan, antara lain tahap pertama persiapan bahan baku, tahap kedua maserasi menggunakan asam klorida (HCl) 10% dan fermentasi selama 5 hari, tahap ketiga pemisahan kandungan bioetanol dengan distilasi, tahap keempat pengujian karakteristik berupa densitas dan viskositas hasil bioetanol. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini antara lain nilai kemurnian destilasi menggunakan destilator sebesar 25%. Didestilasi kembali dengan *rotary evaporator* hasil kemurnian bioetanol meningkat menjadi 75%. Nilai karakteristik bioetanol berupa densitas bioetanol yang diperoleh 0,879 gr/cm³ dan viskositas bioetanol yang diperoleh sebesar 6,777 CP.

Kata Kunci: Bioenergi, bioetanol, kemurnian bioetanol, karakteristik bioetanol.

Abstract

Alternative energy sources in Indonesia are very abundant, one of which is bioenergy. The use of bioenergy is still 5.1% of the total available potential. Bioenergy can be used as biofuel. Bioethanol is an energy that uses a fermentation process from organic materials to become ethanol. In the manufacture of bioethanol through 4 stages, including the first stage of raw material preparation, the second stage of maceration using 10% hydrochloric acid (HCl) and fermentation for 5 days, the third stage of separating bioethanol content by distillation, the fourth stage of testing characteristics in the form of density and viscosity of bioethanol results. The method applied in this study is an experimental method with a quantitative approach. The results obtained from this study include the distillation purity value using a distillator of 25%. Re-distilled with a rotary evaporator, the purity of bioethanol increased to 75%. The values of bioethanol characteristics in the form of bioethanol density obtained were 0.879 gr / cm³ and bioethanol viscosity obtained were 6.777 CP.

Keywords: Bioenergy, bioethanol, bioethanol purity, bioethanol characteristics.

PENDAHULUAN

Krisis bahan bakar fosil di Indonesia merupakan masalah yang sangat serius. Jumlah cadangan minyak bumi Indonesia mengalami penurunan yang cukup besar dari tahun ke tahun (Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2022). Bahan bakar fosil termasuk dalam kategori energi tidak terbarukan. Penggunaan bahan bakar fosil menghasilkan emisi gas buang (CO, CO₂, Nox, dll) yang tidak ramah lingkungan dan dapat memberi dampak negatif pada kesehatan (Chen et al., 2019; Hidayatullah et al., 2021; Utomo & Asrana, 2020; Wicahyo & Arsana, 2013).

Sumber energi alternatif di Indonesia sangat melimpah, salah satunya energi yang berasal dari sisa makhluk hidup, yaitu Bioenergi. Pemanfaatan bioenergi ini sebesar 5,1 persen dari total potensi yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar domestik (ESDM RI, 2008; Haryanto, 2017; Kementerian ESDM Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, 2016; Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019). Bioenergi merupakan energi terbarukan yang berasal dari

sisa tumbuhan, hewan, dan bahan-bahan organik lainnya. Bioenergi dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar nabati, salah satunya bioetanol. Bioetanol telah banyak dimanfaatkan di berbagai negara, termasuk Indonesia, untuk mengurangi sifat ketergantungan pada energi fosil. Namun, selama ini bioetanol menggunakan bahan pangan, seperti jagung, umbi kayu, atau bahan pangan lain yang mengandung pati. Bioetanol juga dapat menggunakan bahan baku yang mengandung gula, seperti nira, gula bit, dan tetes tebu. Bahan-bahan tersebut dapat menyebabkan kompetisi antara komoditas pangan dan energi. Hal ini menjadi salah satu faktor penghambat peningkatan produksi bioetanol secara massal di Indonesia. Pencarian bahan baku yang tidak menyebabkan kompetisi dengan bahan pangan masih terus diusahakan, dengan menggunakan bahan baku sisa hasil pengolahan pertanian, perkebunan, dan sampah organik padat kota menjadi perhatian berbagai lembaga riset di dunia (Aisha & Tarek, 2023; Aresta, 2022; Eswanto & Arsana, 2021; Sudiyani et al., 2019).

Pemanfaatan limbah biji-bijian sudah dilakukan pada penelitian terdahulu. Pada penelitian oleh Miskah, dkk

(Miskah et al., 2017), yang meneliti terkait pembuatan bioetanol dari biji buah cempedak yang memperoleh hasil penelitian berupa hasil fermentasi 5 hari memperoleh densitas dan viskositas rendah, sedangkan kadar etanol dan nilai kalor tinggi. Sedangkan, pada penambahan ragi 9 gram, kadar etanol dan nilai kalor meningkat, sebaliknya densitas dan viskositas menurun. Pada penelitian Hutagalung, dkk (Hutagalung et al., 2023), terkait bioetanol dari biji rambutan yang mendapatkan hasil penelitian berupa hasil penelitian terbaik didapati pada penambahan ragi 7 gram dengan yield bioetanol sebesar 1,67 persen dengan kadar bioetanol 3 persen. Pada penelitian Arifiyanti (Arifiyanti et al., 2020), yang meneliti terkait pembuatan bioetanol dari biji buah nangka dengan proses likuifikasi dan fermentasi. Dalam penelitian arifiyanti didapati bahwa hasil kadar alkohol sebesar 40 persen dengan waktu fermentasi 60 jam.

Tanaman Palem Putri seringkali buahnya kurang dimanfaatkan secara optimal sebab seringkali buahnya hanya dibiarkan jatuh begitu saja. Hal ini dapat menjadi peluang untuk terbukanya pengetahuan baru tentang pemanfaatan buah palem bagi masyarakat. Perlu diketahui bahwa biji buah palem, khususnya jenis palem putri (*Adonidia Merrillii*), biji buahnya memiliki kandungan karbohidrat sebesar 90,15 +/- 24 persen (Bassey S. Antia et al., 2017; Quattrocchi, 2017; Rodiyah, 2021). Dengan kandungan karbohidrat yang tinggi pada biji palem dan pemanfaatan yang masih kurang optimal, dapat menjadi potensi sebagai bahan baku alternatif bioetanol.

METODE

Alat dan Bahan Penelitian

Bahan baku yang digunakan adalah biji buah palem, jenis palem yang digunakan adalah palem putri (*adonidia merrillii*). Bahan-bahan lain yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain: ragi tape, air atau aquadest, asam klorida (HCl), dan natrium hidroksida (NaOH). Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: timbangan digital, alat tumbuk, ayakan dengan kerapatan 60 mesh, beaker glass, tabung ukur, erlenmeyer, pH meter, pompa vacuum merk value tipe VE 280N dengan kekuatan motor 1 *horsepower*, set *thermocouple*, destilator, dan *rotary evaporator*.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Laboratorium Perpindahan Panas Gedung A8 Lantai 2 Jurusan Teknik Mesin FT UNESA. Persiapan bioetanol dilaksanakan di Laboratorium Organik Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2024 hingga selesai pada bulan Juli 2024.

Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang mempengaruhi dan mempengaruhi dalam penelitian ini, antara lain: variabel bebas, yaitu komposisi bahan baku biji buah palem, ragi, dan lama waktu fermentasi; variabel terikat, yaitu nilai kemurnian bioetanol dan karakteristik berupa densitas dan viskositas bioetanol; variabel kontrol, yaitu: biji buah palem yang

diambil dari jenis buah palem putri (*adonidia merrillii*) yang sudah matang ditandai dengan buahnya yang berwarna merah, ragi yang digunakan dalam penelitian ini adalah ragi tape, temperature lingkungan penelitian antara 27-33 derajat celcius, pengadukan dalam proses pembuatan bioetanol dianggap seragam (Sahir, 2022).

Metode, Pengumpulan Data, dan Teknik Analisis Data

Metode penelitian yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan analisis kuantitatif. Penelitian ini dilakukan 4 tahapan proses. Tahap pertama persiapan bahan baku. Tahap kedua maserasi menggunakan asam klorida (HCl) 10% dan fermentasi selama 5 hari. Tahap ketiga pemisahan kandungan bioetanol dengan distilasi. Tahap keempat pengujian karakteristik berupa densitas dan viskositas hasil bioetanol. Setiap tahapan proses diuraikan sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan Bahan Baku
 - a. Buah palem dipisahkan kulit dan bijinya, dan bersihkan dengan air lalu keringkan biji palem dengan dijemur selama 2-4 hari di bawah sinar matahari.
 - b. Biji palem yang sudah kering ditimbang sebanyak 1,5 kg.
 - c. Biji palem dihaluskan dengan cara ditumbuk hingga menjadi tepung kemudian ayak (60 mesh) untuk mendapatkan hasil yang seragam.
2. Maserasi menggunakan asam klorida (HCl 10%) dan Fermentasi
 - a. Tepung biji palem sebanyak 100 gram dicampur dengan larutan HCl 10% sebanyak 500 mL.
 - b. Tambahkan NaOH 3M secara sedikit demi sedikit dan aduk merata hingga mencapai pH netral atau pH 7.
 - c. Masukkan ragi tape sebanyak 50 gram pada larutan yang telah memiliki pH netral kemudian aduk hingga ragi larut.
 - d. Tempatkan spesimen dalam toples dan tutup dengan rapat. Simpan dalam suhu ruang dalam keadaan minim cahaya selama 5 hari, dalam keadaan ini spesimen akan mengalami fermentasi.
 - e. Setelah proses fermentasi, hasil disaring dengan menggunakan kertas saring dan pompa vacuum untuk memperoleh campuran bioetanol (karena masih mengandung banyak senyawa atau unsur didalamnya).
3. Distilasi
 - a. Tuang hasil fermentasi yang telah disaring ke dalam alat destilator.
 - b. Atur destilator dalam keadaan suhu perangkat di sekitar 78-80 derajat celcius, pada suhu ini etanol akan menguap lebih dahulu dibandingkan air.
 - c. Destilasi selesai ketika spesimen telah berhenti menguap.
 - d. Hasil distilasi menggunakan destilator ini diukur kadar alkohol menggunakan alkohol meter.
 - e. Untuk memperoleh kemurnian yang lebih tinggi dilakukan distilasi kembali dengan menggunakan *rotary evaporator*. Mesin disesuaikan pada suhu 50 derajat celcius, putaran 55 rpm, kemudian tekan start pada *rotary evaporator* maka mesin akan

bekerja dengan menekan udara hingga 110-120 mmbar.

f. Hasil dari *rotary evaporator* kemudian diukur nilai kemurnian bioetanol menggunakan alkohol meter.

4. Pengujian Karakteristik Bioetanol

a. Densitas Bioetanol

Pengukuran densitas bioetanol menggunakan alat ukur yang disebut piknometer. Prinsip kerja piknometer adalah dengan mengukur kadar suatu larutan dengan membandingkan massa jenis larutan dengan massa jenis aquades atau air murni (Akbar et al., 2019). Prosedur pengukuran densitas bioetanol mengikuti tahapan sebagai berikut:

- 1) Cek volume piknometer yang digunakan, untuk penelitian ini yang digunakan adalah sebesar pikno meter dengan volume 10 mL.
- 2) Timbang pikno meter dalam keadaan kosong.
- 3) Masukkan bioetanol yang akan diukur ke dalam piknometer.
- 4) Tutup piknometer ketika volume yang diisikan sudah tepat.
- 5) Timbang massa pikno meter yang berisi bioetanol.
- 6) Kemudian hitung massa bioetanol yang dimasukkan dengan cara mengurangi massa piknometer berisi bioetanol dengan massa piknometer yang kosong.
- 7) Setelah mendapatkan hasil dilakukan perhitungan mengikuti persamaan berikut:

$$\rho_{\text{bioetanol}} = \frac{m_{\text{pikno+spesimen}} - m_{\text{pikno}}}{V_{\text{pikno}}}$$

Keterangan:

$m_{(\text{pikno} + \text{spesimen})}$ = Massa total pikno dan spesimen (gr)

m_{pikno} = Massa piknometer (gr)

V_{pikno} = Volume piknometer (mL)

$\rho_{\text{bioetanol}}$ = Densitas bioetanol (gr/mL)

b. Viskositas Bioetanol

Pengukuran viskositas bioetanol didapatkan dengan menggunakan alat ukur viskometer jenis hoppler atau yang biasa dikenal dengan sebutan “*falling ball viscometer*” untuk mencari waktu yang dibutuhkan untuk sebuah bola jatuh ke dasar fluida. Prosedur penelitian mengikuti tahapan sebagai berikut:

- 1) Catat nilai densitas bola dan cairan yang akan diukur karena akan digunakan dalam perhitungan.
- 2) Isi tabung dengan bioetanol dan masukkan bola.
- 3) Mulai pengukuran waktu ketika bola diatas, dan berhenti ketika bola sudah mencapai dasar.

4) Catat waktu bola jatuh dari batas atas sampai batas bawah.

5) Data yang diperoleh, kemudian dimasukkan ke dalam persamaan berikut untuk memperoleh nilai viskositas bioetanol.

$$\eta_{\text{bioetanol}} = K (\rho_1 - \rho_2) \times t$$

Keterangan:

K = Konstanta bola dalam mPa.scm³/g.s

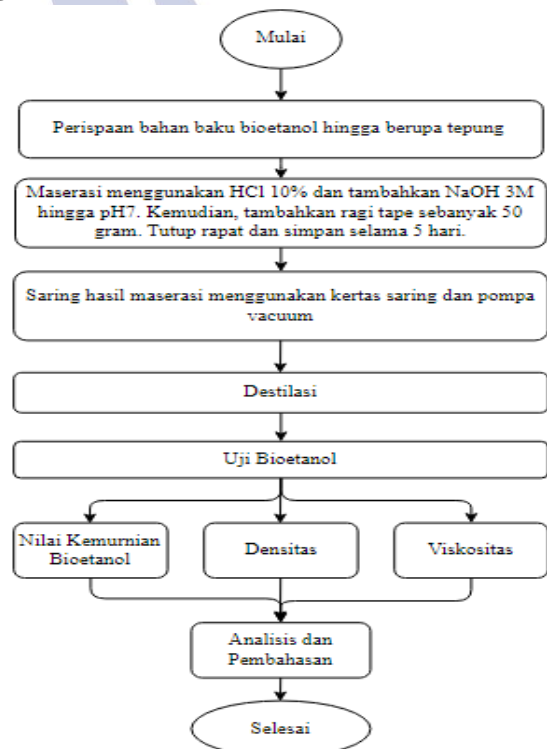
ρ_1 = Densitas bola dalam g/cm³

ρ_2 = Densitas cairan yang diukur saat pengukuran suhu dalam g/cm³

t = Waktu jatuh bola dalam detik atau s

$\eta_{\text{bioetanol}}$ = Viskositas bioetanol dalam mPa.s

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan data berupa angka. Angka yang dimaksud adalah nilai yang diperoleh dari hasil pengamatan, hasil pengukuran dalam penelitian, dan angka untuk memenuhi perhitungan persamaan dari karakteristik bioetanol.

• Kemurnian Bioetanol

Besar kemurnian bioetanol yang didapatkan dengan mengukur kadar alkohol bioetanol menggunakan alat alkoholmeter. Diperoleh nilai sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai Kemurnian Bioetanol

Hasil Diuji dengan Alkohol Meter	Nilai Kemurnian
Kemurnian bioetanol menggunakan destilator.	25%
Kemurnian bioetanol (hasil kemurnian destilator) didestilasi kembali menggunakan rotary evaporator.	75%

Berdasarkan tabel di atas, penelitian ini memperoleh hasil kemurnian bioetanol dengan destilator sebesar 25 persen yang diukur menggunakan alkoholmeter. Kemudian didistilasi kembali menggunakan rotary evaporator mendapatkan hasil 75 persen yang diukur dengan menggunakan alkoholmeter. Hal ini dikarenakan beberapa faktor, antara lain fitur pada rotary evaporator yang lebih canggih daripada mesin destilator, seperti pemanas pada rotary evaporator yang dapat lebih terkontrol dibandingkan mesin destilator, pada mesin rotary evaporator menggunakan daya hisap vacuum dan dapat berputar sehingga tumbuhkan antar partikel menyebabkan reaksi lebih cepat terjadi.

- Densitas Bioetanol

Data terkait densitas bioetanol yang diperoleh dari pengukuran menggunakan piknometer ditampilkan pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2. Simbol Persamaan dan Nilai Besar untuk Memenuhi Persamaan Densitas Bioetanol

Simbol Persamaan	Nilai Besar
Berat pikno	15,12 gr
Berat sampel + pikno	23,91 gr
Volume Pikno	10 mL
ρ	0,879 gr/mL

Data terkait piknometer di atas disubstitusikan ke dalam persamaan berikut untuk memperoleh nilai densitas bioetanol.

$$\rho_{\text{bioetanol}} = \frac{m_{\text{pikno+spesimen}} - m_{\text{pikno}}}{V_{\text{pikno}}}$$

Analisis perhitungan densitas bioetanol.

$$\rho = \frac{(\text{berat sampel} + \text{pikno}) - \text{pikno}}{\text{volume pikno}}$$

$$\rho = \frac{(23,91) - 15,12}{10}$$

$$\rho = 0,879 \text{ gr/mL}$$

Dengan mengikuti persamaan di atas, maka diperoleh nilai densitas bioetanol adalah 0,879 gr/mL.

Nilai densitas yang telah diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai standar mutu SNI densitas bioetanol.

Tabel 3. Densitas Bioetanol

Densitas	Standar Densitas Bioetanol (g/cm ³)		Hasil Penelitian Densitas
	Min	Max	
Densitas	0,789	0,8215	0,879 gr/cm ³

Berdasarkan tabel perbandingan di atas, diperoleh bahwa densitas pada penelitian ini memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan standar SNI densitas bioetanol. hal ini dapat terjadi dikarenakan lamanya waktu fermentasi dan metode destilasi yang kurang optimal. Pada penelitian yang dilakukan oleh Tira, H. S., dkk (Tira et al., 2018), diperoleh bahwa nilai densitas berbanding terbalik dengan nilai persentase kemurnian bioetanol, sehingga dengan meningkatnya nilai kemurnian bioetanol, maka nilai densitas bioetanol akan menurun. Apabila dihubungkan dengan hasil penelitian ini maka dapat diartikan bahwa nilai dari densitas ini akibat dari nilai kemurnian bioetanol yang masih kurang maksimal. Standar mutu SNI 06-3565-1994, nilai maksimal densitas bioetanol sebesar 0,8215 gr/cm³. Dengan demikian, nilai densitas hasil penelitian ini masih belum memenuhi standar mutu SNI densitas bioetanol.

- Viskositas Bioetanol

Data yang diperoleh dari pengukuran viskometer untuk mengukur viskositas bioetanol sebagai berikut:

Tabel 4. Nilai Besar untuk Memenuhi Persamaan Viskositas Bioetanol

Nama	Simbol Persamaan	Nilai Besar
Konstanta Bola	K	0,09 mPa · scm ³ /g · s
Densitas Bola	ρ_1, bola	2,2 g/cm ³
Densitas Cairan yang Diukur saat Pengukuran Suhu	ρ_2, cairan	0,879 gr/cm ³
Waktu Jatuh Bola	t	57 detik
Viskositas Bioetanol	η	6,777 · 10 ⁻³ Ns/m ²

Data yang diperoleh dari pengukuran menggunakan viskometer kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan viskositas bioetanol berikut:

$$\eta_{bioetanol} = K (\rho_1 - \rho_2) \times t$$

Analisis perhitungan viskositas bioetanol.

$$\begin{aligned} \mu &= K \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot t \\ \mu &= 0,09 \cdot (2,2 - 0,879) \cdot 57 \\ \mu &= 6,777 \text{ mPa.s} \\ \mu &= 6,777 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2 \end{aligned}$$

Dengan mengikuti analisis perhitungan viskositas diatas, diperoleh bahwa nilai viskositas bioetanol adalah sebesar $6,777 \times 10^{-3}$ Ns/m². Nilai viskositas tersebut, dikonversi ke bentuk satuan centipoise (CP) menjadi 6,777 CP.

Nilai viskositas yang telah diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai standar mutu SNI viskositas bioetanol.

Tabel 3. Viskositas Bioetanol

Viskositas	Standar SNI Viskositas Bioetanol	Hasil Penelitian Viskositas
Viskositas pada 20°C	1,17 CP	$6,777 \times 10^{-3}$ Ns/m ² Atau 6,777 CP

Berdasarkan tabel perbandingan di atas, hasil penelitian viskositas jauh lebih tinggi dibandingkan dengan standar SNI viskositas bioetanol. pada penelitian yang dilakukan oleh Tira, H. S., dkk (Tira et al., 2018), diperoleh bahwa besaran nilai viskositas dipengaruhi oleh lamanya waktu fermentasi dan proses distilasi yang kurang optimal. Besaran nilai viskositas ini besarnya berbanding terbalik dengan nilai kemurnian bioetanol. Nilai kemurnian bioetanol yang semakin tinggi maka memiliki nilai viskositas yang semakin rendah sehingga diperlukan proses yang tepat untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Berdasarkan pernyataan tersebut, dugaan terkait nilai viskositas hasil penelitian yang tinggi dapat disebabkan oleh nilai kemurnian bioetanol hasil penelitian ini yang masih kurang maksimal.

Diketahui bahwa besaran nilai 1 Ns/m² adalah sama dengan 1000 CP (centipoise) sehingga nilai $6,777 \times 10^{-3}$ Ns/m² memiliki nilai yang sama dengan 6,777 CP. Standar mutu SNI viskositas bioetanol sebesar 1,17 CP, sedangkan pada hasil penelitian ini menunjukkan hasil viskositas bioetanol sebesar 6,777 CP. Dengan demikian, nilai viskositas hasil penelitian ini masih belum memenuhi standar mutu SNI viskositas bioetanol.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian serta pembahasan terkait dapat diambil kesimpulan bahwa biji palem (*adonidia merrillii*) dapat digunakan sebagai peluang alternatif baru sebagai bahan baku bioetanol. Didapati kemurnian bioetanol hasil penelitian menggunakan destilator sebesar 25 persen. Setelah dilakukan distilasi kembali dengan menggunakan rotary evaporator hasil kemurnian meningkat menjadi 75 persen diukur dengan menggunakan alkoholmeter.

Hasil pengujian penelitian karakteristik bioetanol berupa densitas bioetanol sebesar 0,879 gr/cm³ dan viskositas bioetanol sebesar 6,777 CP. Hasil karakteristik bioetanol tersebut dibandingkan dengan standar mutu SNI bioetanol dikatakan masih belum memenuhi karena lebih tinggi dibandingkan dengan standar maksimum SNI bioetanol. Hal yang mempengaruhi tingginya nilai karakteristik tersebut adalah lamanya waktu fermentasi dan proses distilasi yang kurang tepat sehingga nilai kemurnian bioetanol kurang maksimal. Sebab besarnya nilai densitas dan viskositas berbanding terbalik dengan nilai kemurnian bioetanol.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih mendalam terkait perbandingan komposisi bahan baku, variasi dan jenis ragi, metode peningkatan kadar glukosa yang lebih maksimal, dan variasi lama waktu fermentasi sehingga dapat menghasilkan bioetanol dengan kadar persentase alkohol yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Aisha, M. H. A. R., & Tarek, M. A. (2023). Fiber Waste of Date Palm for Bioethanol in Saudi Arabia. *BioResources*, 18(4), 6827–6841. <https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BRJ/article/view/22816>

Akbar, G. P., Endang, K., & Wijanarka1, D. (2019). Isolasi dan karakterisasi secara morfologi dan biokimia khamir dari limbah kulit nanas madu (*Ananas comosus* L.) untuk produksi bioetanol. *Berkala Bioteknologi*, 2(2), 1–11.

Aresta, M. (2022). Do Bio-Ethanol and Synthetic Ethanol Produced from Air-Captured CO2 Have the Same Degree of “Greenness” and Relevance to “Fossil C”? *Molecules*, 27(7), 1–10. <https://doi.org/10.3390/molecules27072223>

Arifiyanti, N. A., Aqliyah, D. N., & Billah, M. (2020). Bioetanol Dari Biji Nangka Dengan Proses Likuifikasi dan Fermentasi Menggunakan *Saccharomyces Cerevisiae*. *ChemPro*, 1(01), 51–55. <https://doi.org/10.33005/chempro.v1i01.47>

- Bassey S. Antia, Emmanuel E. Essien, & Enobong D. Udonkanga. (2017). Nutritional Composition and Acute Toxicity Potentials of Archontophoenix tukeri and Adonidia merrilli Kernels. *Pharmaceutical and Biosciences Journal*, June, 01–08. <https://doi.org/10.20510/ukjpb/5/i3/155956>
- Chen, H., He, J., & Zhong, X. (2019). Engine combustion and emission fuelled with natural gas: A review. *Journal of the Energy Institute*, 92(4), 1123–1136. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.06.005>
- Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. (2022). Statistik Minyak dan Gas Bumi Semester I 2022. *Direktorat Jenderal Minyak Dan Gas Bumi Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral*, 13(1), 62–70. <https://migas.esdm.go.id/uploads/uploads/FA--Statistik-Semester-I-2022-LOW.pdf>
- ESDM RI, D. (2008). *SK Dirjen Minyak dan Gas Bumi Nomor 23204.K/10/DJM.S/2008 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Jenis Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Lain yang Dipasarkan di Dalam Negeri*. 1–3.
- Eswanto, A. D., & Arsana, I. made. (2021). Pengembangan Modul Instalasi Bio Etanol untuk Menunjang Praktikum Perkuliahan Perpindahan Panas Mahasiswa Teknik Mesin UNESA. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 11(01), 44–49.
- Haryanto, A. (2017). *Energi Terbarukan: Energi untuk Kini dan Nanti*.
- Hidayatullah, R. S., Susila, I. W., Arsana, I. M., Warju, & Ariyanto, S. R. (2021). The Effectiveness of Using Variations in Fuel Against Engine Performance 4 Steps 100 CC with Compression Ratio 8:1. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1125(1), 012120. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1125/1/012120>
- Hutagalung, J. M., Murdikaningrum, G., Yulianti, M., & Nurcahyani, S. (2023). Potensi limbah kulit dan biji rambutan (*Nephelium lappaceum* L) sebagai bioetanol. *Composite: Jurnal Ilmu Pertanian*, 5(2), 76–85. <https://doi.org/10.37577/composite.v5i2.578>
- Kementerian ESDM Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. (2016). *HIMPUNAN PERATURAN BIDANG BIOENERGI*.
- Miskah, S., Saing, W., & Siburian, C. (2017). Pembuatan Bioetanol dari biji Cempedak Menggunakan Metode Hidrolisis Asam dan Fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 23(4), 216–225.
- Quattrocchi, U. (2017). *CRC World Dictionary of Palms: Common Names, Scientific Names, Eponyms, Synonyms, and Etymology (Vol I and 2)*. http://www.ghbook.ir/index.php?name=فرهنگ‌های‌رسانه‌نویین&option=com_dbook&task=readonline&book_id=13650&page=73&chckhashk=ED9C9491B4&Ite
- mid=218&lang=fa&tmpl=component
- Rodiyah. (2021). *Kajian Etnobotani Famili Arecaceae Oleh Masyarakat Desa Pejambon Kecamatan Negeri Katon Kabupaten Pesawaran*. 1–62.
- Sahir, S. H. (2022). *Metodologi Penelitian*.
- Sudiyani, Y., Triwahyuni, E., Burhani, D., Muryanto, M., Aiman, S., Amriani, F., Simanungkalit, S. P., Abimanyu, H., Dahnum, D., Laksmono, J. A., Waluyo, J., Irawan, Y., Sari, A. A., & Puteri, A. M. H. (2019). Perkembangan Bioetanol G2: Teknologi dan Perspektif. In <Http://Penerbit.Lipi.Go.Id/Data/Naskah1573012692>. lipipress.lipi.go.id
- Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional. (2019). *Indonesia Energy Out Look 2019*.
- Tira, H. S., Mara, M., Zulfitri, Z., & Mirmanto, M. (2018). Uji Sifat Fisik dan Kimia Bioetanol dari Jagung (*Zea mays* L). *Dinamika Teknik Mesin*, 8(2), 77–82. <https://doi.org/10.29303/dtm.v8i2.231>
- Utomo, R. A., & Asrana, I. M. (2020). Pengaruh Penambahan Bioaditif Minyak Kayu Putih Pada Bahan Bakar Pertalite Terhadap Performa, Konsumsi Bahan Bakar, dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor Honda CS1 150 PGM-FI. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, Volume 09(No. 02), 29–36.
- Wicahyo, S., & Arsana, I. M. (2013). Pengaruh Penggunaan Hydrogen Booster Electrolyzer terhadap Performa Mesin dan Emisi Gas Buang pada Sepeda Motor Empat langkah. *Jurnal Teknik Mesin*, 01(03), 121–128.