

PRODUKSI DAN UJI KARAKTERISTIK BIOETANOL BEKATUL BERAS PUTIH (*ORYZA SATIVA LINNAEUS*) TERHADAP BAHAN BAKAR PERTALITE

Mochammad Nasaruddin Yahya

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: mochammadnasaruddin.21052@mhs.unesa.ac.id

Muhaji

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: muhaji61@unesa.ac.id

Abstrak

Pemanfaatan bioetanol sebagai bahan bakar alternatif menjadi salah satu upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan meningkatkan keberlanjutan energi. Bekatul beras putih merupakan biomassa yang berpotensi dikonversi menjadi bioetanol karena kandungan karbohidratnya yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi bioetanol dari bekatul beras putih serta menguji karakteristik fisiknya dibandingkan dengan pertalite berdasarkan empat parameter utama, yaitu viskositas, densitas, titik nyala, dan nilai kalor. Proses produksi bioetanol meliputi hidrolisis, fermentasi, dan distilasi sesuai prosedur yang digunakan pada penelitian. Pengujian viskositas dan densitas dilakukan menggunakan *viscometer* dan *hidrometer*, sedangkan pengujian titik nyala dan nilai kalor masing-masing dilakukan menggunakan alat *flash point tester* dan *bomb calorimeter*. Pengujian karakteristik menggunakan standar ASTM (viskositas D1343, densitas D1298, titik nyala D93, nilai kalor D240). Hasil pengujian menunjukkan bahwa bioetanol bekatul beras putih memiliki viskositas lebih rendah dibandingkan pertalite, sehingga lebih mudah teratomisasi saat proses pembakaran. Densitas bioetanol lebih tinggi dibandingkan pertalite, sedangkan titik nyala bioetanol berada pada nilai yang lebih rendah sehingga lebih mudah terbakar. Nilai kalor bioetanol lebih rendah daripada pertalite.

Kata kunci: bioetanol, bekatul beras putih, viskositas, densitas, titik nyala, nilai kalor, pertalite.

Abstract

The use of bioethanol as an alternative fuel is one effort to reduce dependence on fossil fuels and increase energy sustainability. White rice bran is a biomass that has the potential to be converted into bioethanol due to its high carbohydrate content. This study aims to produce bioethanol from white rice bran and test its physical characteristics compared to pertalite based on four main parameters, namely viscosity, density, flash point, and calorific value. The bioethanol production process includes hydrolysis, fermentation, and distillation according to the procedures used in the study. Viscosity and density tests were carried out using a viscometer and hydrometer, while flash point and calorific value tests were carried out using a flash point tester and a bomb calorimeter, respectively. Characteristic testing uses ASTM standards (viscosity D1343, density D1298, flash point D93, calorific value D240). The test results show that white rice bran bioethanol has a lower viscosity than pertalite, making it easier to atomize during the combustion process. Bioethanol has a higher density than Pertalite, while its flash point is lower, making it more flammable. Bioethanol calorific value is lower than Pertalite.

Keywords: bioethanol, white rice bran, viscosity, density, flash point, calorific value, pertalite.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan penduduk terus meningkat setiap tahunnya. Berdasarkan data dari badan pusat statistik, jumlah penduduk negara tersebut mencapai lebih dari 280 juta jiwa dengan laju pertumbuhan 1,11% per tahun. Kenaikan penduduk yang pesat ini berdampak langsung pada meningkatnya kebutuhan energi, terutama di bidang transportasi yang masih banyak memakai bahan bakar minyak (BBM) berbasis fosil (Darki & Wibowo, 2023). Kondisi tersebut menyebabkan konsumsi BBM nasional terus meningkat dan berpotensi memperbesar ketergantungan pada energi fosil yang ketersediaannya semakin terbatas. Hal ini sejalan dengan pernyataan Akbar dkk. (2019) bahwa konsumsi BBM di Indonesia terus melebihi angka produksinya, sehingga krisis energi menjadi ancaman serius yang memerlukan solusi berbasis energi alternatif. Hal ini semakin menguatkan pentingnya pengembangan energi alternatif yang lebih ramah lingkungan, mengingat

bioetanol diketahui menghasilkan emisi gas buang lebih rendah dibandingkan BBM fosil (Bakhor, M., & Muhaji, M., 2022).

Di Indonesia, pertalite (RON 90) masih menjadi bahan bakar yang paling banyak digunakan karena harga yang relatif terjangkau dan distribusi yang luas. Berdasarkan laporan PT Pertamina, konsumsi pertalite mencapai sekitar 60% dari total penjualan BBM bersubsidi pada 2023 dan terus mengalami kenaikan meskipun pemerintah tengah mendorong transisi menuju energi yang lebih ramah lingkungan (Sianturi dkk., 2024). Penggunaan pertalite secara masif ini berdampak pada meningkatnya emisi gas buang, terutama CO dan HC, yang berkontribusi terhadap pencemaran udara dan gangguan kesehatan masyarakat (Agustinus dkk., 2024). Kondisi emisi ini serupa dengan temuan pada penelitian bioetanol bonggol pisang, di mana bioetanol terbukti menghasilkan pembakaran yang lebih bersih karena rendahnya kandungan belerang dan getah (Akbar dkk. 2019).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pemanfaatan energi terbarukan menjadi kebutuhan yang mendesak. Bioetanol merupakan salah satu alternatif bahan bakar yang dinilai memiliki potensi besar dalam mengurangi emisi gas buang, meningkatkan efisiensi pembakaran, serta menekan ketergantungan terhadap BBM fosil (Zabed et al., 2017). Bioetanol diproduks melalui proses fermentasi bahan yang mengandung karbohidrat seperti singkong, jagung, beras maupun limbah pertanian. Keunggulan bioetanol antara lain memiliki kandungan oksigen(O_2) yang tinggi sehingga dapat melakukan pembakaran yang lebih sempurna dan menurunkan emisi CO (Kurniawan & Pebrianti, 2023). Menurut Bakhor, dkk. (2022) karakteristik bioetanol seperti viskositas, densitas, titik nyala, dan nilai kalor diketahui sangat berpengaruh terhadap performa pembakaran dan efisiensi bahan bakar. Hal tersebut dipertegas oleh hasil penelitian bioetanol bonggol pisang raja yang menunjukkan bahwa bioetanol memiliki densitas 0,828 g/cm³ dan viskositas 1,14 cP, yang termasuk dalam kisaran karakteristik bahan bakar alternatif yang layak digunakan (Akbar dkk. 2019).

Salah satu sumber bahan baku bioetanol yang potensial namun belum banyak dimanfaatkan adalah bekatal beras putih, yaitu hasil limbah penggilingan padi. Bekatal selama ini lebih banyak digunakan sebagai pakan ternak, padahal memiliki kandungan karbohidrat yang cukup tinggi untuk dikonversi menjadi etanol. Penelitian Aprillia dkk. (2015) menunjukkan bahwa bekatal beras putih mengandung karbohidrat sekitar 67,58%-72,74%, serta nilai kalori yang tinggi, sehingga berpotensi besar sebagai bahan baku bioetanol. Potensi tersebut didukung oleh penelitian Rajabi et al. (2022) yang berhasil menghasilkan bioetanol sebesar 26,8% dari proses fermentasi dedak gandum.

Pengembangan bioetanol dari bahan baku lokal seperti bekatal beras putih bukan hanya mendukung pemanfaatan limbah pertanian, tetapi juga mendorong pengembangan energi terbarukan yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan (Mgeni et al., 2025). Dalam konteks pemanfaatannya sebagai bahan bakar, karakteristik bioetanol terutama viskositas, densitas, titik nyala, dan nilai kalor menjadi faktor penting yang menentukan kualitas pembakaran dan kompatibilitasnya saat dicampurkan dengan bahan bakar fosil seperti pertalite. Namun demikian, bioetanol secara umum mempunyai nilai kalor lebih rendah dibanding bahan bakar fosil sehingga formulasi pencampuran perlu dioptimalkan untuk menjaga performa mesin (Bakhor, M., & Muhaji, M., 2022)

Kajian terhadap karakteristik campuran biopertalite telah dilakukan oleh berbagai peneliti. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan bioetanol menurunkan viskositas dan menghasilkan pembakaran yang lebih bersih (Sutanto & Setianto, 2021; Rachman & Muhaji, 2023; Ismatullah & Muhaji, 2023; Fauzy & Muhaji, 2024). Namun, efektivitas campuran sangat dipengaruhi oleh karakteristik bioetanol yang digunakan, termasuk kadar etanol, kemurnian, dan sifat fisik bahan bakar sebelum dilakukan pencampuran. Pada penelitian bioetanol bonggol pisang raja, kemurnian 99,66% berhasil dicapai

melalui distilasi bertingkat dengan adsorben zeolit, menunjukkan bahwa proses produksi sangat menentukan kualitas bioetanol (Akbar dkk. 2019).

Dengan demikian, penting untuk melakukan kajian mendalam terkait proses produksi bioetanol dari bekatal beras putih serta pengujian karakteristik fisik bioetanol yang dihasilkan, khususnya viskositas, densitas, titik nyala, dan nilai kalor. Hasil karakterisasi ini diperlukan untuk menentukan kelayakan bioetanol sebagai bahan campuran pertalite serta potensinya dalam menghasilkan bahan bakar campuran yang lebih ramah lingkungan.

Meskipun berbagai penelitian menunjukkan biopertalite dapat meningkatkan kualitas pembakaran, kualitas bioetanol sebagai bahan baku sangat bergantung pada proses produksinya, mulai dari tahap *pretreatment*, hidrolisis, fermentasi, hingga distilasi. Variasi bahan baku, kadar air, dan kemurnian etanol dapat menyebabkan perbedaan signifikan pada sifat fisik bioetanol. Bekatal beras putih memiliki kandungan karbohidrat dan senyawa organik yang beragam, sehingga proses konversinya menjadi etanol membutuhkan standar produksi yang tepat agar menghasilkan bioetanol berkualitas tinggi. Dengan melakukan karakterisasi lengkap terhadap bioetanol hasil produksi, penelitian ini diharapkan mampu memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk pemanfaatan bekatal beras putih sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan dan berpotensi dikembangkan secara massal di masa depan.

Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi bioetanol dari bekatal beras putih (*Oryza sativa Linnaeus*) serta menganalisis karakteristik fisik bioetanol, pertalite dan biopertalite. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan bahan bakar alternatif berbasis limbah pertanian dan mendukung upaya transisi energi di Indonesia. Selain itu, penggunaan bioetanol sebagai campuran bahan bakar fosil telah terbukti dapat memengaruhi karakteristik fisik bahan bakar secara signifikan. Penurunan viskositas campuran dapat meningkatkan kemampuan bahan bakar untuk mengabut dengan lebih halus di ruang bakar, sehingga meningkatkan efisiensi pembakaran. Densitas bioetanol yang lebih rendah dibandingkan pertalite juga berpengaruh terhadap massa bahan bakar yang masuk dalam ruang bakar, sementara titik nyala dan nilai kalor menjadi parameter penting untuk menilai stabilitas dan energi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar tersebut.

METODE

Jenis Eksperimen/Penelitian

Eksperimen/penelitian ini menggunakan jenis penelitian eksperimen murni. Penelitian difokuskan pada proses produksi bioetanol dari bekatal beras putih (*Oryza sativa Linnaeus*) serta pengujian karakteristik fisiknya meliputi densitas(*density*), viskositas(*viscosity*), nilai kalor(*calorific value*), dan titik nyala(*flash point*). Seluruh prosedur eksperimen dilakukan berdasarkan standar pengujian bahan bakar yang merujuk pada ASTM (viskositas D1343, densitas D1298, titik nyala D93, nilai kalor D240).

Waktu dan Tempat Penelitian

➤ Waktu Penelitian

Proses penelitian meliputi pembuatan bioetanol, pengujian karakteristik bahan bakar, pengambilan data, hingga analisis data dilakukan setelah proposal tugas akhir dan disetujui oleh dosen penguji serta pembimbing.

➤ Tempat Penelitian

- Produksi bioetanol dilakukan di Laboratorium Bahan Bakar Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Pengujian densitas dan viskositas bahan bakar dilakukan di Laboratorium Kimia-Fisika Fakultas Matematika & Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Surabaya.
- Pengujian titik nyala dan nilai kalor bahan bakar dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Bahan, Alat, dan Instrumen Penelitian

➤ Bahan

- Bekatul beras putih sebagai bahan baku utama pembuatan bioetanol.
- Pertalite (E0) sebagai bahan bakar pembanding.
- Ragi.
- Air.
- Enzim *Gluko Amylaze* dan *Alpha Amylaze*

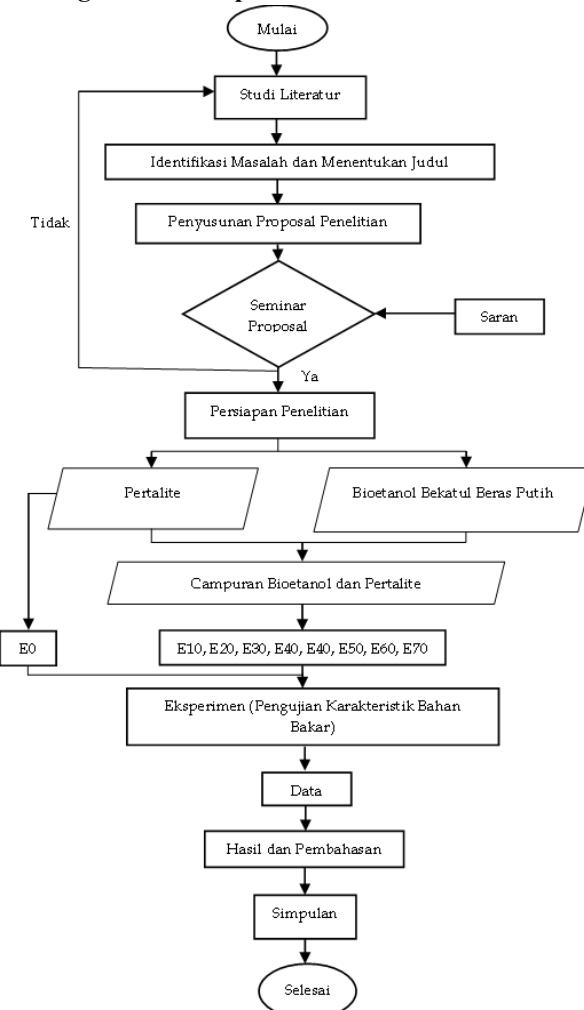
➤ Alat

- Panci
- Kompor
- Alat pengaduk
- Kain
- Tempat fermentasi
- *Hot Plate Magnetic Stirrer*

➤ Instrumen

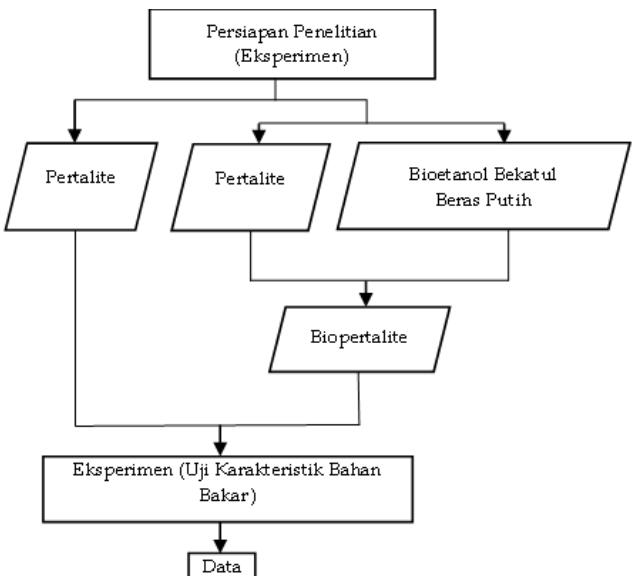
- Neraca/timbangan
- *Termometer*
- *Viscometer*
- *Hidrometer*
- *Flash Point Tester*
- *Bomb Calorimeter*

Rancangan Studi Eksperimen



Gambar 1. Rancangan studi eksperimen

Desain Penelitian



Gambar 2. Desain Penelitian

Variabel Penelitian

➤ Variabel Bebas

Jenis bahan bakar:

- Pertalite (E0)
- Biopertalite (E10, E20, E30, E40, E50, E60, dan E70)
- Bioetanol (E100)

➤ Variabel Terikat

- Densitas
- Viskositas
- Titik nyala
- Nilai kalor

➤ Variabel Kontrol

- Bioetanol bekatul beras putih dari Kecamatan Sambeng, Kabupaten Lamongan
- Pertalite dari SPBU Pertamina Kelurahan Ketintang, Kecamatan Gayungan, Kota Surabaya.
- Kandungan bioetanol 96,8%.
- Objek penelitian mesin sepeda motor Honda Vario 160CC tahun 2022.
- Proses pencampuran bahan bakar menggunakan *Hot Plate Magnetic Stirrer*.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data menggunakan analisis deskriptif kuantitatif. Data hasil pengujian viskositas, densitas, titik nyala, dan nilai kalor dari bioetanol bekatul beras putih kemudian dicatat dan disusun dalam bentuk tabel sesuai dengan format yang digunakan. Selanjutnya, data tersebut disajikan kembali dalam bentuk grafik untuk memudahkan proses interpretasi, seperti grafik viskositas, grafik densitas, grafik nilai kalor, serta grafik titik nyala. Grafik-grafik ini digunakan untuk melihat kecenderungan perubahan karakteristik bioetanol serta perbandingannya dengan pertalite. Setelah data divisualisasikan, hasil yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dengan menjelaskan pola, hubungan, dan perbedaan yang muncul dari setiap parameter pengujian. Analisis ini dilakukan untuk menentukan kualitas bioetanol sebagai bahan bakar alternatif dan menilai sejauh mana karakteristiknya memenuhi standar atau mendekati kualitas pertalite, sehingga dapat ditarik kesimpulan mengenai potensi pemanfaatannya dalam aplikasi bahan bakar campuran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

Hasil pengujian karakteristik bioetanol bekatul beras putih dan pertalite diperoleh melalui rangkaian uji laboratorium meliputi viskositas, densitas, titik nyala, dan nilai kalor, sesuai standar ASTM (viskositas D1343, densitas D1298, titik nyala D93, nilai kalor D240). Hasil pengujian karakteristik bahan bakar ditunjukkan pada tabel 1.

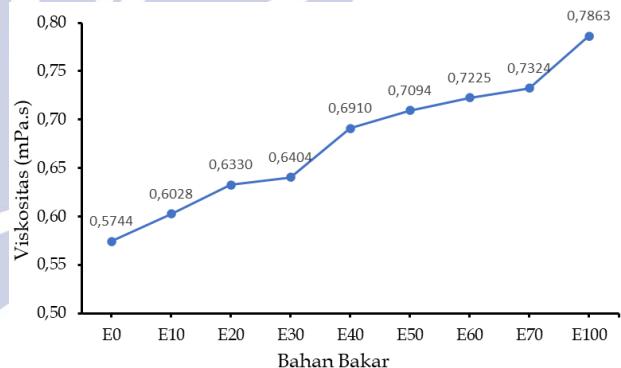
Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Bioetanol, Pertalite, dan Biopertalite

Parameter Uji	Satuan	Hasil Pengujian									
		E0	E10	E20	E30	E40	E50	E60	E70	E100	
Viskositas	mPa.s	0,5744	0,6028	0,6330	0,6404	0,6910	0,7094	0,7225	0,7324	0,7683	
Densitas	kg/m ³	726,61	730,37	732,19	738,67	748,38	754,39	766,49	776,53	792,77	
Nilai Kalor	cal/g	9397	6673	6524	6523	6076	5684	5336	5333	3750	
Titik Nyala	°C	-44,0	38,0	33,5	27,0	21,0	16,0	10,5	-4,0	13,5	

Analisis dan Pembahasan

➤ Viskositas

Viskositas menunjukkan tingkat kekentalan fluida dan menjadi parameter penting dalam proses pengabutan bahan bakar di ruang bakar. Jika viskositas rendah, maka semakin mudah bahan bakar teratomisasi sehingga pembakaran lebih sempurna. Berdasarkan data hasil pengujian viskositas pada Tabel 1. diperoleh bahwa viskositas bioetanol bekatul beras putih berada di bawah pertalite, menandakan bahwa bioetanol memiliki karakter yang lebih encer. Grafik hasil uji densitas ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Viskositas Bioetanol, Pertalite, dan Biopertalite

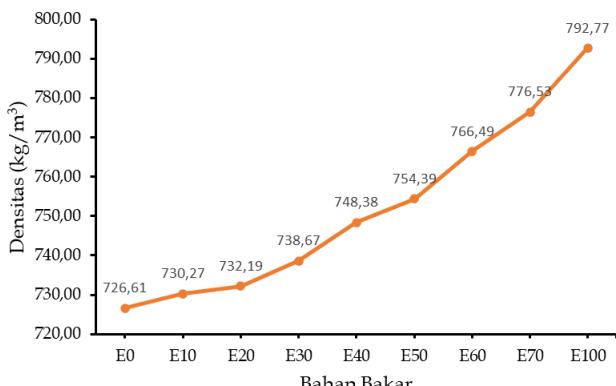
Berdasarkan gambar 3 hasil pengujian viskositas dari bahan bakar pertalite (E0), bioetanol bekatul beras putih (E100), dan biopertalite bekatul beras putih (E10, E20, E30, E40, E50, E60, E70) ditunjukkan pada tabel 1 dan gambar 3 dapat dianalisis bahwa nilai viskositas terendah adalah pertalite (E0) sebesar 0,5744 mPa.s, sedangkan untuk viskositas tertinggi adalah bioetanol (E100) sebesar 0,7683 mPa.s. ini menunjukkan kenaikan dari pertalite (E0) sampai bioetanol (E100) sebesar 0,2119 mPa.s atau 36,9%. Sedangkan peningkatan viskositas dari pertalite (E0) sampai biopertalite (E70) sebesar 0,158 mPa.s atau 27,5%. Peningkatan nilai viskositas pada biopertalite (E10, E20, E30, E40, E50, E60, E70) dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi campuran bioetanol (E100).

Secara keseluruhan, hasil uji viskositas menunjukkan bahwa bioetanol bekatul beras putih memiliki potensi baik sebagai bahan bakar campuran,

karena kemampuannya menghasilkan penyebaran bahan bakar yang lebih merata di ruang bakar.

➤ Densitas

Kadar densitas bahan bakar menggambarkan massa per satuan volume dan berpengaruh langsung terhadap massa bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Berdasarkan data pada tabel 1 bioetanol memiliki densitas lebih tinggi dibanding pertalite. Grafik hasil uji densitas ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian densitas Bioetanol, Pertalite, dan Biopertalite

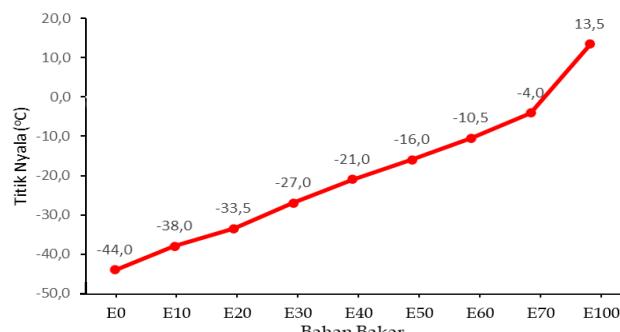
Dari gambar 4, dapat dianalisis bahwa pertalite (E0) memiliki densitas terendah yaitu diangka $726,6\text{kg/m}^3$, sedangkan untuk densitas tertinggi adalah bioetanol (E100) sebesar $792,7\text{ kg/m}^3$. Kenaikan densitas bahan bakar dari pertalite (E0) sampai dengan bahan bakar biopertalite (E70) adalah sekitar $49,9\text{ kg/m}^3$ atau $6,68\%$. Sedangkan kenaikan densitas dari bahan bakar pertalite (E0) hingga bahan bakar bioetanol (E100) adalah sebesar $66,16\text{ kg/m}^3$ atau 9.09% . Hal ini disebabkan karena bioetanol memiliki nilai densitas yang padat dan tekanan uap jenuh yang tinggi, namun titik didihnya lebih rendah dibandingkan pertalite.

Densitas yang lebih tinggi menyebabkan massa bahan bakar yang masuk per siklus pembakaran menjadi lebih besar meskipun volumenya sama. Namun demikian, tingginya densitas tidak otomatis meningkatkan energi pembakaran karena dipengaruhi pula oleh nilai kalor.

➤ Titik Nyala

Titik nyala merupakan parameter keselamatan penting untuk menilai kemudahan bahan bakar terbakar pada paparan api. Hasil pengujian menunjukkan bahwa bioetanol memiliki titik nyala yang jauh lebih rendah dibanding pertalite, menandakan bahwa bioetanol lebih mudah terbakar.

Bioetanol yang memiliki titik nyala rendah cenderung lebih aman dalam proses penyalaan mesin karena mudah terbakar pada temperatur rendah. Namun, nilai titik nyala yang terlalu rendah juga meningkatkan risiko volatilitas tinggi selama penyimpanan. Sebaliknya, pertalite yang memiliki titik nyala lebih tinggi menunjukkan stabilitas termal yang lebih baik, menjadikannya lebih aman untuk transportasi dan penyimpanan dalam volume besar. Grafik hasil uji densitas ditunjukkan pada gambar 5.



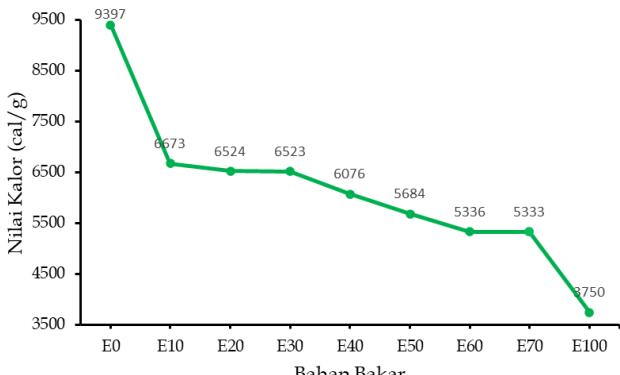
Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Nilai Kalor Bioetanol

Hasil pengujian titik nyala dari bahan bakar pertalite (E0), bioetanol bekatul beras putih (E100), dan biopertalite bekatul beras putih (E10, E20, E30, E40, E50, E60, E70) ditunjukkan pada tabel 1 dan gambar 5 dapat dianalisis bahwa titik nyala terendah adalah pertalite (E0) sebesar $-44,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, sedangkan untuk nilai kalor tertinggi adalah bioetanol (E100) sebesar $13,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Titik nyala biopertalite meningkat seiring bertambahnya konsentrasi bioetanol (E10 hingga E70) karena etanol memiliki titik nyala lebih tinggi, tekanan uap lebih rendah, dan interaksi antar molekul yang lebih kuat dibanding pertalite. Etanol yang bersifat polar membentuk ikatan hidrogen antar molekul, sehingga memerlukan suhu lebih tinggi untuk menghasilkan cukup uap yang bisa menyala. Selain itu, peningkatan kadar etanol menurunkan *volatilitas* (penguapan) campuran secara keseluruhan karena tekanan uap menurun, sehingga campuran menjadi sulit terbakar pada suhu rendah. Akibatnya, semakin tinggi kandungan etanol, semakin tinggi pula titik nyala biopertalite

➤ Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan parameter paling menentukan dalam menilai kualitas bahan bakar karena menggambarkan energi yang dihasilkan dalam proses pembakaran. Grafik hasil uji densitas ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Nilai Kalor Bioetanol

Hasil pengujian nilai kalor dari bahan bakar pertalite (E0), bioetanol bekatul beras putih (E100), dan biopertalite bekatul beras putih (E10, E20, E30, E40, E50, E60, E70) ditunjukkan pada tabel 1 dan

gambar 6 dapat dianalisis bahwa nilai kalor tertinggi adalah pertalite (E0) sebesar 9397 cal/g, sedangkan untuk nilai kalor terendah adalah bioetanol (E100) sebesar 3750 cal/g.

Perbedaan nilai kalor yang sangat signifikan ini menjadi alasan utama mengapa bioetanol jarang digunakan sebagai bahan bakar murni. Rendahnya nilai kalor berarti lebih banyak volume bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi yang sama dengan pertalite.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data, dan pembahasan mengenai karakteristik bioetanol bekatal beras putih (*Oryza sativa Linnaeus*) terhadap bahan bakar pertalite dapat disimpulkan bahwa Karakteristik bahan bakar dari densitas, viskositas, dan titik nyala tertinggi dihasilkan oleh E70. Karakteristik tersebut mengalami kenaikan seiring bertambahnya jumlah konsentrasi bioetanol dalam kandungan bahan bakar. Sedangkan, nilai kalor paling tinggi dihasilkan oleh bahan bakar pertalite (E0) dan semakin menurun dengan bertambahnya konsentrasi bioetanol di dalam bahan bakar.

SARAN

Dari hasil eksperimen, analisa, dan pembahasan yang sudah dilakukan, adanya saran untuk penelitian di masa mendatang sebagai berikut.

- Disarankan menganalisis karakteristik tambahan seperti angka oktan (RON).
- Proses produksi bioetanol dari bekatal dapat dikembangkan dengan mengoptimalkan tahap hidrolisis, fermentasi, dan destilasi seperti penambahan absorben guna memperoleh etanol dengan kemurnian lebih tinggi, sehingga karakteristik bahan bakarnya semakin kompetitif dibandingkan bahan bakar fosil.
- Penelitian lanjutan juga dapat mempertimbangkan perbandingan bioetanol dari berbagai varietas beras atau limbah agroindustri lain untuk menilai sumber biomassa yang paling efisien dan ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, G. P., Kusdiyantini, E., & Wijanarka, W. (2019). "Isolasi dan karakterisasi secara morfologi dan biokimia khamir dari limbah kulit nanas madu (*Ananas comosus L.*) untuk produksi bioetanol". *Berkala Bioteknologi*, Vol: 2(2).
- Aprillia, I., Pratiwi, E., & Larasati, D. 2015. "Pengaruh Konsentrasi Tepung Bekatal Beras Putih (*Oryza Sativa L.*) Dalam Pembuatan Cookies", Vol 1: hal. 188-191.
- Agustinus, A. K. J., Setiawan, A., & Djajadikerta, H. 2024 "Menggali Dinamika Minat Beli Kendaraan Listrik: Faktor Kepedulian Lingkungan dan Ekonomi". *Journal of Social and Economics Research*. Vol. 6(1): hal. 743-755.
- Bakhor, M., & Muhaji, M. (2022). Proses Pembuatan Dan Uji Karakteristik Bioetanol Dari Bonggol Pohon Pisang Raja (*Musa Paradisiaca*). *Jurnal Teknik Mesin*, 10(01), 99-108.

- Darki, N. W. Y. A., & Wibowo, A. 2023. " Faktor yang Mempengaruhi Tingkat Fertilitas di Indonesia: Review Literatur". *Media Gizi Kesmas*, Vol. 12(1): hal. 530– 536. doi.org/10.20473/mgk.v12i1.2023.530-536
- Fauzy, S., & Muhaji. 2022. "Studi Eksperimen Pengaruh Campuran Pentalite Dengan Bioetanol Dari Kulit Pisang Raja (*Musa Paradisiaca*) Terhadap Kadar Gas Buang Sepeda Motor Honda Vario 125CC Tahun 2021". *Jtm*, Vol. 12 (3): hal. 11-16.
- Ismatullah, S., & Muhaji. 2019. "Pengaruh Campuran Pentalite dengan Bioetanol Nira Siwalan Terhadap Kadar Kadar Gas Buang Yamaha Aerox Pengaruh Campuran Pentalite Dengan Bioetanol Nira Siwalan (*Borassus Flabellifer Linnaeus*) Terhadap Kadar Kadar Gas Buang Sepeda Motor Yamaha Aerox 2019". *Jtm*, Vol.12(1): hal. 45-52.
- Kurniawan, S., & Pebrianti, D. 2023. "Optimization Study Of The Ratio Of Bioethanol Bioaceton Ron 90 On The Power And Emissions Of A 110cc Gasoline Motor". *Asian Journal Science And Engineering*. Vol. 2(1): hal. 22-30.
- Mgeni, S. T., Mtashoba, L. A., & Emmanuel, J. K. 2025. "Bioethanol Production From Fruit Wastes Juice Using Millet and Sorghum as Addictional Fermentasian Sugar". *Biofuels*. hal. 1-10
- Rachman, R. A., & Muhaji. 2023. "Pengaruh Campuran Bahan Bakar Pentalite Dan Bioetanol (*Oryza Sativa Glutinosa*) Terhadap Kadar Gas Buang Sepeda Motor Yamaha Nmax 2019". *Jtm*, Vol. 12(1): hal. 59-64
- Rajabi, M., Nourisanami, F., Ghadikolaei, K. K., Changizian, M., Noghabi, K.A., & Zahiri, H.S. 2022. "Metagenomic Psychrohalophilic Xylanase From Camel Rumen Investigated For Bioethanol Production From Wheat Bran Using *Bacillus Subtilis Ap*". *Scientific Reports*, Vol. 12(1): hal. 1-13. doi.org/10.1038/S41598-022-11412-4.
- Sianturi, R. S. A., Nirwasita, N. P., Fananda, D. P., & Ramadhan, N. H. D. 2024. Analisis Pengaruh Kebijakan Subsidi BBM di Indonesia Terhadap Penjualan BBM Non-Subsidi dan Beban Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN). (Online).
- Sutanto, H., & Setianto, C.H. 2021. "Experimental Study of The Effect Of Adding Bioethanol to RON 90 Gasoline on Exhaust Emissions of a Four Stroke Motor Vehicle". *Teknika : Jurnal Sains dan Teknologi*, Vol: 17(2): hal. 113. doi.org/10.36055/tjst.v17i2.1130
- Zabed, H., J. N., Suely, A., Boyce, A. N., dan Faruq, G. 2017. "Bioethanol Production From Reneawble Source: Current Perspective And Technological Progress". *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, Vol. 71: hal. 475-501. doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.076.