



Evaluasi Mutu Gliserol Hasil Pemurnian Biodiesel Minyak Jelantah Menggunakan Berbagai Jenis Adsorben

Antonius Jumadi Sihotang✉

Politeknik Kampar, Bangkinang, Riau, Indonesia

DOI: 10.31004/jutin.v9i1.55735

✉ Email Koresponden:

[antonius.jumadi@gmail.com]

Article Info	Abstrak
<p><i>Kata kunci:</i> gliserol kasar; adsorpsi; zeolit; karbon aktif; bentonit</p>	<p>Produksi biodiesel menghasilkan gliserol kasar sebagai produk samping yang belum dapat dimanfaatkan secara langsung karena masih mengandung berbagai pengotor. Gliserol kasar yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kadar gliserol sebesar 72%, kadar air 1,78%, kadar abu 16,4%, dan densitas 1,08 g/cm³, yang menunjukkan mutu gliserol masih rendah akibat tingginya kandungan air dan komponen anorganik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas tiga jenis adsorben yaitu karbon aktif, zeolit dan bentonite dalam meningkatkan mutu gliserol kasar berbahan baku jelantah. Proses pemurnian dilakukan melalui tahapan distilasi, asidifikasi dan adsorpsi dengan variasi adsorben 5%, 7% dan 9%. Kemudian gliserol hasil pemurnian dianalisis berdasarkan parameter kadar gliserol, kadar air, kadar abu, dan densitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif pada variasi 9% menghasilkan gliserol terbaik dengan nilai kadar gliserol sebesar 94%, kadar abu 3,21%, kadar air 0,31% dan densitas 1,52 g/ ml.</p>
<p><i>Keywords:</i> Crude glycerol; adsorption; zeolite; activated carbon; bentonite</p>	<p>Abstract</p> <p><i>Biodiesel production produces crude glycerol as a byproduct that cannot be utilized directly because it still contains various impurities. The crude glycerol used in this study had a glycerol content of 72%, a water content of 1.78%, ash content of 16.4%, and a density of 1.08 g/cm³, which indicates that the glycerol quality is still low due to the high water content and inorganic components. This study aims to evaluate the effectiveness of three types of adsorbents, namely activated carbon, zeolite, and bentonite, in improving the quality of crude glycerol from used cooking oil. The purification process is carried out through distillation, acidification, and adsorption stages with adsorbent variations of 5%, 7%, and 9%. Then, the purified glycerol was analyzed based on the parameters of glycerol content, water content, ash content, and density. The research results showed that</i></p>

activated carbon at 9% produced the best glycerol with a glycerol content of 94%, ash content of 3.21%, water content of 0.31% and density of 1.52 g/ml.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi terbarukan telah mendorong produksi biodiesel secara global sebagai alternatif bahan bakar fosil. Namun, tingginya harga bahan baku minyak nabati murni, seperti minyak sawit dan minyak kedelai, menjadi kendala utama dalam efisiensi ekonomi produksi biodiesel. Kondisi ini mendorong pemanfaatan bahan baku berkualitas rendah, khususnya minyak jelantah, yang tersedia melimpah, berbiaya rendah, dan tidak bersaing dengan kebutuhan pangan (Abomohra *et al.*, 2021). Selain itu, penggunaan minyak jelantah juga berkontribusi terhadap pengurangan limbah dan mendukung konsep ekonomi sirkular dalam industri energi terbarukan (Budiyoko dan Furqon, 2023).

Proses produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi menghasilkan dua produk, yaitu asam lemak metil ester (biodiesel) sebagai produk utama dan gliserol kasar (crude glycerol) sebagai hasil samping sekitar 10%. Meskipun gliserol memiliki nilai ekonomi tinggi dan banyak digunakan dalam industri kimia, farmasi, kosmetik, serta pangan, gliserol hasil samping biodiesel belum dapat dimanfaatkan secara langsung karena mengandung berbagai pengotor yang menurunkan kualitasnya (Liu *et al.*, 2022). Pengotor tersebut meliputi sisa metanol, katalis basa, sabun, air, asam lemak bebas, garam anorganik, serta senyawa organik non-gliserol (MONG) yang terbentuk selama proses produksi biodiesel.

Gliserol yang berasal dari biodiesel berbahan baku minyak jelantah cenderung memiliki tingkat pengotor yang lebih tinggi dibandingkan gliserol dari minyak nabati murni. Hal ini disebabkan oleh karakteristik minyak jelantah yang telah mengalami degradasi termal, oksidasi, dan hidrolisis akibat proses penggorengan berulang, sehingga mengandung kadar asam lemak bebas, senyawa polar, residu makanan, dan kontaminan logam yang lebih tinggi. Senyawa-senyawa tersebut akan terbawa ke fase gliserol selama proses transesterifikasi dan memperburuk mutu gliserol kasar yang dihasilkan (Miyuranga *et al.*, 2022). Oleh karena itu, gliserol dari minyak jelantah memerlukan proses pemurnian yang lebih intensif dibandingkan gliserol dari minyak murni.

Proses pemurnian gliserol secara umum terdiri atas beberapa tahapan utama, yaitu distilasi untuk menghilangkan sisa alkohol, pengasaman untuk menurunkan pH sekaligus mengendapkan sabun dan pengotor basa, serta adsorpsi sebagai tahap akhir peningkatan mutu. Dalam rangkaian proses tersebut, tahap adsorpsi memegang peranan penting karena berfungsi menghilangkan pengotor tersisa yang tidak sepenuhnya tereliminasi pada tahap sebelumnya.

Berbagai jenis adsorben telah digunakan dalam proses pemurnian gliserol pada penelitian sebelumnya, seperti bentonit (Anzar *et al.*, 2023), serbuk daun bambu (Muhammad & Susila, 2023), dan sekam padi (Aziz dkk., 2018), namun masing-masing studi tersebut hanya mengevaluasi satu jenis adsorben dalam kondisi tertentu. Belum terdapat studi terkini yang secara komparatif mengkaji pengaruh beberapa jenis adsorben dalam satu desain eksperimen terhadap pemurnian gliserol dari biodiesel berbahan baku minyak jelantah.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan menerapkan proses pemurnian bertahap yang meliputi distilasi, pengasaman menggunakan asam fosfat, dan adsorpsi menggunakan tiga jenis adsorben, yaitu karbon aktif, zeolit, dan bentonit, pada variasi konsentrasi 5%, 7%, dan 9%. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi mutu gliserol hasil pemurnian pada berbagai jenis adsorben serta menentukan jenis adsorben terbaik berdasarkan parameter kadar gliserol, kadar air, kadar abu dan densitas gliserol.

2. METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada November 2024. Di Laboratorium Teknik Pengolahan Sawit Terpadu, Politeknik Kampar, Riau.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu rangkaian alat distilasi sederhana, gelas kimia, penangas air, pompa vakum, corong Buchner, erlenmeyer, thermometer, gelas ukur, hotplate stirrer, oven, pH meter, piknometer dan viscometer Canon Fenske. Bahan – bahan yang digunakan antara lain minyak jelantah,

methanol, KOH, asam sulfat (H_2SO_4), asam fosfat (H_3PO_4), natrium hidroksida (NaOH), indikator bromtimol biru (BTB), bentonite, karbon aktif, zeolite dan aquades

Prosedur Penelitian

- Proses Distilasi
Gliserol dipanaskan di dalam rangkaian alat distilasi pada suhu 105°C untuk menguapkan kandungan alkohol dan air yang terdapat dalam gliserol.
- Proses Asidifikasi
Gliserol hasil distilasi dimasukkan ke dalam gelas piala dan diaduk menggunakan stirrer. Ditambahkan asam fosfat sedikit demi sedikit menggunakan pipet tetes hingga $\text{pH} \pm 2$. Lalu gliserol didiamkan selama 24 jam hingga terbentuk 3 lapisan yaitu asam lemak bebas pada lapisan atas, gliserol pada lapisan tengah dan garam anorganik pada lapisan bawah. Lapisan gliserol dipisahkan dengan cara penyaringan vakum.
- Proses Adsorpsi
Gliserol yang telah diasidifikasi kemudian dipanaskan di atas hotplate stirrer hingga suhu 60° dan kecepatan pengadukan 400 rpm. Setelah suhu tercapai, ditambahkan adsorben sebanyak 5%, 7% dan 9% dari berat gliserol dan pengadukan dilanjutkan selama 75 menit. Setelah itu didiamkan selama 24 jam dan kemudian disaring menggunakan corong buchner.

Uji Mutu Gliserol

Gliserol hasil pemurnian kemudian diuji untuk mengetahui kualitasnya. Adapun parameter uji yang ditetapkan antara lain kadar gliserol, kadar air, kadar abu dan densitas gliserol.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Crude Gliserol

Hasil uji karakteristik gliserol kasar yang diperoleh sebagai hasil samping proses produksi biodiesel dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Table 1. Karakteristik Crude Gliserol

Parameter Uji	Kadar Gliserol	Kadar Air Gliserol	Kadar Abu Gliserol	Densitas Gliserol
Nilai	72%	1,78%	16,4%	1,08 g/cm^3

Berdasarkan Tabel 1 diatas, kadar gliserol menunjukkan hasil sebesar 72%. Nilai ini mengindikasikan bahwa gliserol yang dihasilkan masih tergolong gliserol kasar (crude glycerol), karena masih mengandung sejumlah besar pengotor yang berasal dari proses transesterifikasi, seperti sisa katalis, sabun, metanol, air, dan senyawa anorganik lainnya. Kadar gliserol yang belum tinggi ini sejalan dengan karakteristik umum gliserol hasil samping biodiesel, yang umumnya memiliki kemurnian jauh di bawah gliserol teknis maupun gliserol farmasi.

Kadar air gliserol yang terukur sebesar 1,78% menunjukkan bahwa masih terdapat kandungan air dalam sistem, yang kemungkinan berasal dari bahan baku, reaksi samping selama transesterifikasi, maupun proses pemisahan pascareaksi. Keberadaan air dalam gliserol kasar dapat memengaruhi sifat fisik dan kimia gliserol, serta berpotensi menghambat proses pemurnian lanjutan apabila tidak dikendalikan dengan baik.

Kadar abu gliserol yang relatif tinggi, yaitu sebesar 16,4%, mengindikasikan tingginya kandungan senyawa anorganik, terutama residu katalis basa (seperti KOH atau NaOH), sabun, dan garam-garam hasil reaksi netralisasi. Nilai kadar abu yang tinggi merupakan ciri khas gliserol kasar dan menjadi salah satu parameter utama yang menunjukkan perlunya tahapan pemurnian, seperti pengasaman, distilasi, dan adsorpsi, untuk menurunkan kandungan pengotor anorganik tersebut.

Densitas gliserol kasar yang diperoleh sebesar $1,08 \text{ g/cm}^3$, lebih rendah dibandingkan densitas gliserol murni, yang secara teoritis berkisar sekitar $1,26 \text{ g/cm}^3$ pada suhu ruang. Penurunan densitas ini disebabkan oleh keberadaan berbagai komponen non-gliserol, seperti air, sisa alkohol, dan senyawa organik lainnya, yang menurunkan kerapatan massa gliserol kasar.

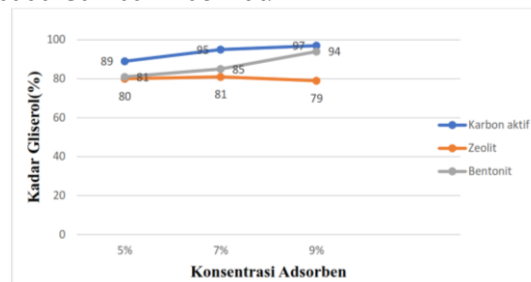
Secara keseluruhan, karakteristik gliserol kasar yang dihasilkan menunjukkan bahwa gliserol tersebut belum memenuhi spesifikasi gliserol murni dan masih memerlukan proses pemurnian lebih lanjut. Oleh karena itu, penerapan metode pemurnian, seperti distilasi, pengasaman, dan adsorpsi, menjadi langkah penting untuk meningkatkan kualitas gliserol sehingga dapat dimanfaatkan untuk aplikasi yang bernilai tambah lebih tinggi.

Hasil Uji Mutu Gliserol Hasil Pemurnian

Untuk mengevaluasi mutu gliserol kasar yang dihasilkan dilakukan pengujian terhadap beberapa parameter utama, meliputi kadar gliserol, kadar air, kadar abu, dan densitas. Setiap parameter tersebut memberikan informasi penting mengenai tingkat kemurnian gliserol serta keberadaan senyawa pengotor, baik organik maupun anorganik, yang masih terkandung di dalamnya.

Kadar Gliserol

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis dan konsentrasi adsorben memengaruhi kadar gliserol hasil pemurnian, yang dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Pengaruh Adsorben Terhadap Kadar Gliserol

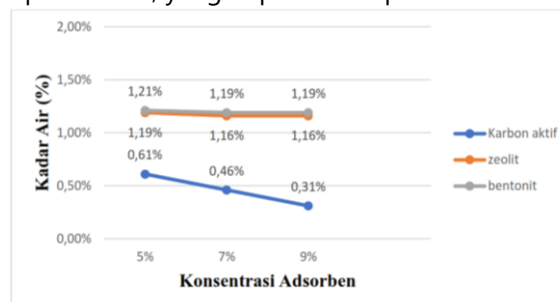
Gambar 1 menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi adsorben dari 5% hingga 9% memberikan kecenderungan peningkatan kadar gliserol, meskipun responsnya berbeda untuk setiap jenis adsorben. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas pemurnian gliserol tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah adsorben, tetapi juga oleh karakteristik fisik dan kimia masing-masing adsorben.

Karbon aktif menunjukkan peningkatan kadar gliserol yang paling konsisten, dari 89% pada konsentrasi 5% menjadi 97% pada 9%. Kinerja ini berkaitan dengan luas permukaan spesifik yang tinggi dan struktur pori mikro-meso karbon aktif yang efektif dalam mengadsorpsi pengotor non-gliserol, sehingga menghasilkan gliserol dengan kemurnian tertinggi. Sebaliknya, zeolit hanya menunjukkan peningkatan kecil dari 80% menjadi 81% pada 7%, kemudian menurun menjadi 79% pada 9%, yang mengindikasikan keterbatasan adsorpsi akibat selektivitas pori dan kemungkinan kejenuhan adsorben.

Bentonit menunjukkan peningkatan kadar gliserol yang cukup baik, dari 81% pada 5% menjadi 94% pada 9%, seiring dengan kemampuan mengembang dan kapasitas pertukaran ionnya dalam mengadsorpsi pengotor anorganik. Namun, performanya masih berada di bawah karbon aktif pada konsentrasi yang sama. Secara keseluruhan, karbon aktif merupakan adsorben paling efektif, diikuti oleh bentonit dan zeolit, sekaligus menegaskan pentingnya pemilihan jenis adsorben dalam pemurnian gliserol dari minyak jelantah. Karbon aktif memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi serta struktur pori mikro-meso yang efektif dalam menangkap berbagai pengotor, sehingga menghasilkan gliserol dengan kemurnian tertinggi dibandingkan adsorben lainnya (Lawtae & Tangsathitkulchai, 2021).

Kadar Air Gliserol

Hasil uji menunjukkan bahwa jenis dan konsentrasi adsorben memberikan pengaruh berbeda terhadap kadar air gliserol hasil pemurnian, yang dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Pengaruh Adsorben Terhadap Kadar Air Gliserol

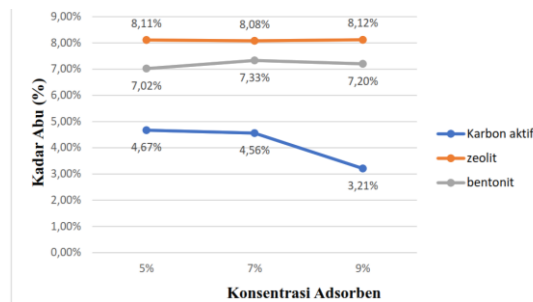
Berdasarkan Gambar 2, Karbon aktif memperlihatkan penurunan kadar air yang paling baik seiring peningkatan konsentrasi adsorben, dari 0,61% pada konsentrasi 5% menjadi 0,31% pada konsentrasi 9%. Penurunan ini menunjukkan bahwa karbon aktif memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi terhadap molekul air, didukung oleh luas permukaan spesifik dan struktur pori mikronya. Keberadaan gugus fungsional hidrofilik

pada permukaan karbon aktif juga berperan dalam mengikat air secara efektif, sehingga fraksi gliserol menjadi lebih kering dan berkualitas lebih baik (Duan, *et al.*, 2023).

Sebaliknya, zeolit dan bentonit menunjukkan perubahan kadar air yang relatif kecil pada seluruh variasi konsentrasi adsorben. Kadar air gliserol pada penggunaan zeolit berkisar antara 1,19–1,16%, sedangkan bentonit berada pada rentang 1,21–1,19%. Kondisi ini mengindikasikan bahwa meskipun kedua adsorben mampu mengadsorpsi pengotor tertentu, efektivitasnya dalam menurunkan kadar air lebih terbatas dibandingkan karbon aktif. Zeolit memiliki ukuran pori yang seragam dan selektif, sehingga kemampuan adsorpsi air tidak meningkat pada konsentrasi tinggi, sementara bentonit cenderung mengalami hidrasi antar-lapis yang dapat menahan air di dalam strukturnya (Anzar *et al.*, 2018). Dengan demikian, karbon aktif dapat diidentifikasi sebagai adsorben paling efektif dalam menurunkan kadar air gliserol pada penelitian ini.

Kadar Abu Gliserol

Grafik 3 menunjukkan bahwa jenis adsorben dan konsentrasinya berpengaruh terhadap kadar abu gliserol hasil pemurnian.



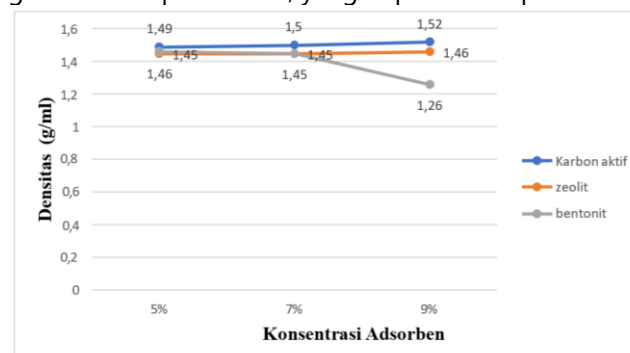
Gambar 3. Pengaruh Adsorben Terhadap Kadar Abu Gliserol

Berdasarkan Gambar 3 diatas, Karbon aktif memberikan penurunan kadar abu yang paling baik dibandingkan adsorben lainnya. Pada konsentrasi 5% dan 7%, kadar abu masing-masing sebesar 4,67% dan 4,56%, kemudian turun tajam menjadi 3,21% pada konsentrasi 9%. Penurunan ini mengindikasikan bahwa peningkatan jumlah karbon aktif memperbesar kemampuan adsorpsi terhadap komponen anorganik, seperti sisa katalis dan garam hasil reaksi penyabunan, yang berkontribusi terhadap tingginya kadar abu dalam crude glycerol (Misran *et al.*, 2025).

Sebaliknya, penggunaan zeolit dan bentonit menunjukkan perubahan kadar abu yang relatif kecil pada seluruh variasi konsentrasi. Kadar abu gliserol dengan zeolit berada pada kisaran 8,08–8,12%, sedangkan bentonit menghasilkan kadar abu antara 7,02–7,33%. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun zeolit dan bentonit mampu mengadsorpsi pengotor tertentu, efektivitasnya dalam mengurangi residu anorganik pembentuk abu lebih terbatas dibandingkan karbon aktif. Zeolit memiliki sifat selektivitas ukuran pori yang dapat membatasi penjerapan ion tertentu, sementara bentonit mengandung mineral anorganik yang berpotensi berkontribusi terhadap nilai abu (Anzar *et al.*, 2018). Dengan demikian, karbon aktif pada konsentrasi 9% dapat diidentifikasi sebagai adsorben paling efektif dalam menurunkan kadar abu gliserol pada penelitian ini.

Densitas Gliserol

Hasil uji menunjukkan bahwa densitas gliserol dan konsentrasi adsorben memberikan pengaruh berbeda terhadap densitas gliserol hasil pemurnian, yang dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Pengaruh Adsorben Terhadap Densitas Gliserol

Berdasarkan Gambar 4, densitas gliserol hasil pemurnian dipengaruhi oleh jenis dan konsentrasi adsorben yang digunakan. Pada penggunaan karbon aktif, densitas gliserol menunjukkan tren meningkat seiring kenaikan konsentrasi adsorben, yaitu dari 1,49 g/mL (5%) menjadi 1,52 g/mL (9%). Peningkatan densitas ini mengindikasikan semakin berkurangnya kandungan air dan pengotor ringan dalam gliserol, sehingga komposisi gliserol menjadi lebih murni. Karbon aktif memiliki luas permukaan dan porositas tinggi yang efektif dalam mengadsorpsi senyawa pengotor, sehingga menghasilkan gliserol dengan densitas mendekati densitas gliserol murni (Kartikaningrum *et al.*, 2024).

Pada adsorben zeolit, nilai densitas relatif stabil pada kisaran 1,45–1,46 g/mL untuk seluruh variasi konsentrasi, yang menunjukkan bahwa peningkatan jumlah zeolit tidak memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap perubahan densitas gliserol. Sementara itu, penggunaan bentonit menunjukkan tren penurunan densitas yang cukup tajam pada konsentrasi 9% hingga mencapai 1,26 g/mL. Penurunan ini diduga disebabkan oleh masih tersisnya air atau senyawa pengotor polar dalam gliserol, serta kemungkinan terdispersinya partikel mineral bentonit yang memengaruhi hasil pengukuran densitas. Hasil ini menunjukkan bahwa karbon aktif merupakan adsorben paling efektif dalam meningkatkan densitas gliserol, yang mencerminkan tingkat kemurnian gliserol yang lebih baik dibandingkan zeolit dan bentonit (Dimawarnita & Faramitha, 2024).

4. KESIMPULAN

Pemurnian gliserol kasar hasil samping biodiesel berbahan baku minyak jelantah melalui tahapan distilasi, asidifikasi, dan adsorpsi terbukti efektif meningkatkan mutu gliserol. Jenis dan konsentrasi adsorben yang memberikan pengaruh terhadap kualitas gliserol yang dihasilkan. Karbon aktif menunjukkan kinerja paling optimal dibandingkan zeolit dan bentonit, terutama pada konsentrasi 9%, dengan menghasilkan kadar gliserol 97%, kadar air 0,31%, kadar abu 3,21%, dan densitas 1,52 g/mL. Keunggulan karbon aktif berkaitan dengan luas permukaan spesifik dan struktur pori mikro–meso yang mampu mengadsorpsi pengotor organik dan anorganik secara efektif. Dengan demikian, karbon aktif direkomendasikan sebagai adsorben terbaik dalam pemurnian gliserol dari biodiesel minyak jelantah untuk meningkatkan nilai tambah dan potensi pemanfaatan lanjut.

5. REFERENSI

- Abomohra, A.-E.-F., Zheng, X., Wang, Q., Huang, J., & Ebaid, R. (2021). *Enhancement of biodiesel yield and characteristics through in-situ solvo-thermal co-transesterification of wet microalgae with spent coffee grounds*. *Bioresource Technology*, 323, 124640. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124640>
- Anzar, N., Fathoni, A., & Rachmawati, D. (2018). Pemurnian gliserol kasar hasil samping biodiesel menggunakan bentonit teraktivasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 12(2), 85–92. <http://dx.doi.org/10.24845/ijfac.v3.i3.83>
- Aziz, I., Aristya, M. N., Hendrawati, & Adhani, L. (2018). *Peningkatan Kualitas Crude Glycerol dengan Proses Adsorpsi Menggunakan Sekam Padi*. *Jurnal Kimia Valensi*, 4(1), 34–41. <https://doi.org/10.15408/jkv.v4i1.7498>
- Aziz, I., Bayani Fadhilah, N. H., & Hendrawati, H. (2019). *Penggunaan H-Zeolit dan Tawas dalam Pemurnian Crude Glycerol dengan Proses Adsorpsi dan Koagulasi*. *Jurnal Kimia Valensi*, 3(1). <https://doi.org/10.15408/jkv.v3i1.5143>
- Budiyoko, B., & Furqon, F. (2025). *Circular Economy Breakthrough: Converting Used Cooking Oil Into Sustainable Biodiesel*. *JEJAK: Jurnal Ekonomi dan Kebijakan*, 18(1), 36–49. <https://doi.org/10.15294/jejak.v18i1.14724>
- Dimawarnita, F., & Faramitha, Y. (2024). *Purification of glycerol as a by-product of biodiesel based on palm oil and castor oil*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1308. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1308/1/012059>
- Duan, X. Y., *et al.* (2023). *Atomistic insights into the effect of functional groups on the adsorption of water by activated carbon for heat energy storage*. *Molecules*, 29(1), 11. <https://doi.org/10.3390/molecules29010011>
- Kartikaningrum, W., Wijana, S., & Pranowo, D. (2024). *Utilization of nipah fruit waste activated carbon as adsorbent in the purification process of glycerol by-products of palm oil biodiesel production*. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 34(3), 205. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2024.34.3.205>

- Lawtae, P., & Tangsathitkulchai, C. (2021). The use of high surface area mesoporous-activated carbon from longan seed biomass for increasing capacity and kinetics of methylene blue adsorption from aqueous solution. *Molecules*, 26(21), 6521. <https://doi.org/10.3390/molecules26216521>
- Liu, Y., Zhong, B., & Lawal, A. (2022). *Recovery and utilization of crude glycerol, a biodiesel byproduct*. *RSC Advances*, 12, 27997–28008. <https://doi.org/10.1039/D2RA05090K>
- Misran, E., Sipahutar, B. K. S., Sundari, E., & Pramananda, V. (2025). *One-step process of glycerol purification by adsorption using passion fruit peel-based activated carbon*. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 11, 101216. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101216>
- Miyuranga, K. A. V., Arachchige, U. S. P. R., Jayasinghe, R. A., & Samarakoon, G. (2022). *Purification of residual glycerol from biodiesel production as a value-added raw material for glycerolysis of free fatty acids in waste cooking oil*. *Energies*, 15(23), 8856. <https://doi.org/10.3390/en15238856>
- Muhammad, D., & Susila, W. (2023). *Pengaruh Volume Berat Adsorben Daun Bambu dalam Proses Adsorpsi terhadap Kualitas Pemurnian Gliserol dari Hasil Samping Biodiesel Biji Karet (Hevea brasiliensis)*. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(01), 61-70.
- Suseno, N., Adiarto, T., Alviany, R., & Novitasari, K. (2019). *Pemurnian gliserol hasil produk samping biodiesel dengan kombinasi proses adsorpsi-mikrofiltrasi-evaporasi*. *Jurnal Teknik Kimia*, 13(2), 34–41. <https://doi.org/10.33005/tekkim.v13i2.1406>