

Modifikasi Teknik Kromatografi Kolom untuk Peningkatan Kualitas Biodiesel Menggunakan Adsorben pada Proses Pemurnian

Modification of Column Chromatography Technique for Biodiesel Quality Improvement Using Adsorbent in the Purification Process

Muhamad Andrianto^{1*}, Herman Estu Eka Putra²

¹ Jurusan Teknik Energi Terbarukan, Politeknik Negeri Jember

² Jurusan Teknik Produksi Benih, Politeknik Negeri Jember

* m.andrianto@polije.ac.id

ABSTRAK

Biodiesel merupakan salah satu pokok bahasan yang dipelajari di program studi Teknik Energi Terbarukan. Proses pemurnian merupakan tahapan yang penting dalam pembuatan biodiesel. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan rekomendasi modifikasi adsorben terbaik dalam proses pemurnian dengan menggunakan kolom kromatografi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dengan menggunakan ANOVA *one way* dan uji lanjut menggunakan *tukey*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi adsorben terbaik adalah penggunaan talk 100% dengan hasil konversi metil ester sebesar 93,500%. Pengujian kualitas pada penggunaan talk 100% juga telah memenuhi syarat mutu SNI biodiesel 7182:2015 untuk semua parameter pengujian kecuali kadar air yang melewati batas maksimal.

Kata kunci — biodiesel, kolom, talk.

ABSTRACT

Biodiesel is one of the subjects studied in the Renewable Energy Engineering study program. The purification process is an important stage in making biodiesel. This research aims to get the best adsorbent modification recommendation in the purification process using chromatography column. The method used in this research is experimental using one-way ANOVA and further test using Tukey. The results showed that the best adsorbent modification was the use of 100% talc with a methyl ester conversion of 93.500%. Quality testing on the use of 100% talc also met the quality requirements of SNI biodiesel 7182: 2015 for all testing parameters except moisture content which exceeded the maximum limit.

Keywords — *biodiesel, coloumn, talc.*

 **OPEN ACCESS**

© 2024. Muhamad Andrianto, Herman Estu Eka Putra



Creative Commons
Attribution 4.0 International License

1. Pendahuluan

Biodiesel merupakan salah satu kajian yang banyak di pelajari dan diteliti dalam Program Studi Teknik Energi Terbarukan. Salah satu Mata Kuliah yang mempelajari tentang biodiesel adalah Teknologi Pengolahan Bahan Bakar Nabati khususnya tentang pembuatan biodiesel. Dalam proses pembuatan biodiesel dilakukan melalui tahapan persiapan bahan baku, reaksi esterifikasi, reaksi transesterifikasi dan juga pemurnian.

Pemurnian adalah salah satu tahapan yang sangat penting dalam pembuatan biodiesel karena keberhasilannya dapat meningkatkan rendemen dan kualitas sesuai SNI. Kualitas biodiesel sangat berpengaruh terhadap penggunaannya terhadap mesin.

Secara umum proses pemurnian pada biodiesel bertujuan untuk menghilangkan sisa kotoran yang berupa katalis, metanol, gliserol, sabun dan sisa pengotor lainnya yang belum bereaksi pada proses transesterifikasi (Rhofita, 2017). Metode pemurnian konvensional yang banyak digunakan adalah metode water washing, dimana metode ini menggunakan aquadest sebagai bahan pencuci (Niawanti, 2020). Penggunaan aquadest memiliki beberapa kelemahan diantaranya adalah membutuhkan waktu yang cukup lama, membutuhkan energi yang besar, dan menyisakan pengotor dari biodiesel kotor (Rachmanita & Safitri, 2020). Alternatifnya adalah menggunakan metode dry washing dengan menggunakan *cleaning agent* adsorben (Faccini et al., 2011), (Suriaini et al., 2019) atau bioadsorben (Arenas et al., 2021) dan membran (Alamsyah et al., 2023).

Metode *dry washing* secara umum ada dua yaitu sistem pencampuran dan sistem kolom. Sistem pencampuran lebih dikenal dengan sistem *batch*, dimana prosesnya melalui tahapan perendaman biodiesel kasar dengan adsorben, pendiaman dan penyaringan. Jika dibandingkan dengan menggunakan metode kolom proses pemurnian berjalan lebih singkat karena tidak melewati tiga tahapan (Bimantio et al., 2020).

Problem yang telah disebutkan di atas dapat teratasi apabila laboratorium memiliki banyak alternatif metode. Laboratorium Workshop Energi dan Mekanik saat ini berencana dapat membangun sebuah plant mini

biodiesel. Plant mini tersebut dapat digunakan untuk praktikum, penelitian dan pengabdian masyarakat. Salah satu cara untuk dapat merencanakan plant tersebut melakukan banyak penelitian dasar proses penyiapan bahan baku sampai dengan proses pemurniannya.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan rekomendasi modifikasi proses pemurnian yang dapat digunakan sebagai rujukan praktikum dan penelitian biodiesel di Laboratorium Workshop Energi dan Mekanik.

Berdasarkan uraian tersebut, maka peneliti bermaksud melakukan penelitian dengan judul “Modifikasi Teknik Kromatografi Kolom Untuk Peningkatan Kualitas Biodiesel Menggunakan Adsorben Pada Proses Pemurnian”.

2. Metodologi

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus sampai November 2023 bertempat di Laboratorium Workshop Energi dan Mekanik, Politeknik Negeri Jember

2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi erlenmeyer (Pyrex), beaker glass (Pyrex), gelas ukur (Pyrex), Oven (Mettler), Pipet, Plastic wrap, spatula, batang pengaduk, timbangan digital (Ohaus), Hot Plate magnetic stirer (IKA C-MAG HS 7), kertas label, tissue, sarung tangan, mortar dan alu, statif dan klem, buret, pipet volume, corong pemisah, labu leher tiga, kondensor, termometer, kolom kromatografi, corong buncer, mitochiba CH 250 food chooper dan pompa vakum (Orion).

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah minyak goreng, NaOH, KOH, etanol 96%, metanol, indikator PP, bentonit, kaolin, talk, diatomit, kloroform, Natrium Tiosulfat, indikator pati, larutan wijs, indikator bromophenol blue, larutan KI, asam oksalat dan asam periodat.

2.3. Persiapan Modifikasi Adsorben

Persiapan modifikasi adsorben dilakukan dengan menggunakan 10 model modifikasi

- Bentonit 100% (B100)



- Talk 100% (T100)
- Diatomit 100% (D100)
- Kaolin 100% (K100)
- Bentonit 50% : Talk 50% (B50T50)
- Bentonit 50% : Diatomit 50% (B50D50)
- Bentonit 50% : Kaolin 50% (B50K50)
- Talk 50% : Diatomit 50% (T50D50)
- Talk 50% : Kaolin 50% (T50K50)
- Diatomit 50% : Kaolin 50% (D50K50)

2.4. Pembuatan Biodiesel Kasar

Pembuatan biodiesel dilakukan dengan mencampurkan metanol dan katalis padatan ke dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan kondensor. Campurkan larutan tersebut ke dalam minyak dan diaduk dengan kecepatan pengadukan 500 rpm pada suhu 60-65 °C. campuran hasil reaksi kemudian dipisahkan dengan menggunakan corong pemisah.

2.5. Pemurnian Metode Kolom Kromatografi

Metode ini dikembangkan agar proses pemurnian biodiesel dapat berjalan secara kontinu. Proses pemurnian dilakukan dengan cara mengalirkan biodiesel kasar berdasarkan gaya gravitasi melewati kolom yang telah berisi tumpukan adsorben hasil modifikasi, dan keluar dari kolom sudah dalam keadaan murni.

2.6. Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Penentuan kapasitas adsorpsi dilakukan dengan melihat rendemen hasil akhir dari proses pemurnian biodiesel kasar. Dimana setiap kode sampel menggunakan 1000 mL biodiesel kasar untuk dialirkan ke kolom kromatografi dengan 3 kali ulangan.

Hasil rendemen kemudian di uji ANOVA dengan uji lanjut Tukey menggunakan bantuan aplikasi Minitab 20 untuk menentukan kode sampel modifikasi terbaik.

2.7. Uji Kualitas Biodiesel Hasil Pemurnian

2.7.1. Uji Bilangan Asam

Untuk mengetahui ukuran yang dipakai dalam menentukan jumlah basa (KOH) yang digunakan untuk menetralsasi kandungan asam pada biodiesel.

2.7.2. Uji Viskositas Kinematik

Untuk mengetahui kekentalan dari biodiesel murni menggunakan viskosimeter ostwald.

2.7.3. Uji Densitas

Pengujian masa jenis biodiesel murni dengan menggunakan metode piknometer pada suhu 40 °C.

2.7.4. Uji Bilangan Iodin

Pengujian bilangan iodin untuk mengetahui derajat kejenuhan (ikatan rangkap) dari biodiesel menggunakan pereaksi Wijs.

2.7.5. Uji Bilangan Penyabunan

Untuk mengetahui kandungan metil ester murni pada biodiesel dinyatakan dalam bentuk persentase.

2.7.6. Uji Kadar Gliserol Bebas, Terikat dan Total

Gliserol bebas ini adalah merupakan produk samping dari reaksi transesterifikasi yang telah dilakukan pada pembuatan biodiesel.

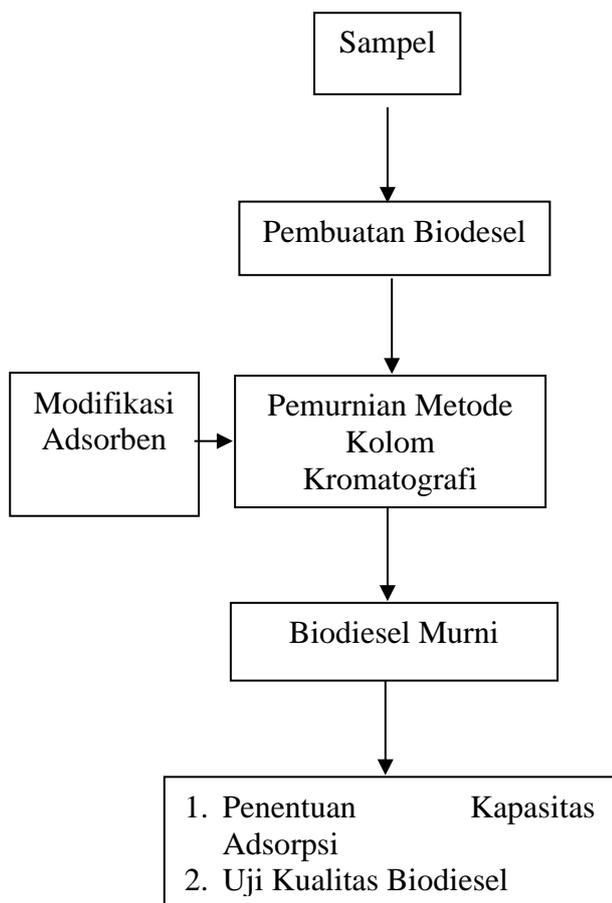
2.7.7. Uji Kadar Metil Ester

Untuk mengetahui kandungan metil ester murni pada biodiesel dinyatakan dalam bentuk persentase.

2.7.8. Uji Kadar Air

Untuk mengetahui kandungan air yang ada pada biodiesel hasil proses pemurnian dengan menggunakan metode oven.





Gambar 1. Diagram Penelitian

3. Pembahasan

3.1. Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi pada penelitian ini ditentukan dengan cara melihat rendemen. Menurut (Mahlinda & Djafar, 2016) rendemen adalah persentase perbandingan antara produk biodiesel yang dihasilkan dengan jumlah bahan baku dan dinyatakan dalam %. Rendemen hasil modifikasi adsorben terjadi pada Tabel 1 berikut.

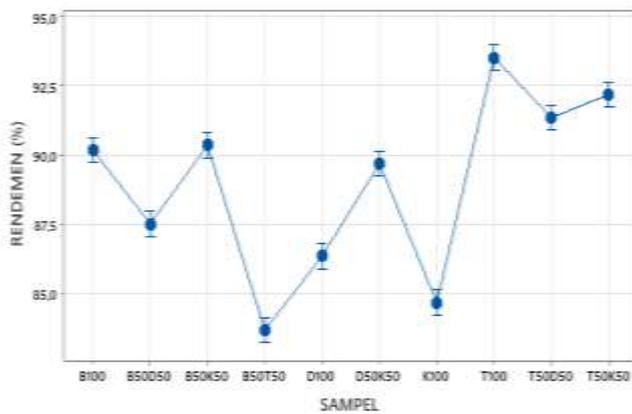
| No | Modifikasi | Rendemen |
|----|--------------------------------------|----------|
| 1 | Bentonit 100% (B100) | 90,167 |
| 2 | Talk 100% (T100) | 93,500 |
| 3 | Diatomit 100% (D100) | 86,333 |
| 4 | Kaolin 100% (K100) | 84,667 |
| 5 | Bentonit 50% : Talk 50% (B50T50) | 83,667 |
| 6 | Bentonit 50% : Diatomit 50% (B50D50) | 87,500 |

| No | Modifikasi | Rendemen |
|----|------------------------------------|----------|
| 7 | Bentonit 50% : Kaolin 50% (B50K50) | 90,333 |
| 8 | Talk 50% : Diatomit 50% (T50D50) | 91,333 |
| 9 | Talk 50% : Kaolin 50% (T50K50) | 92,167 |
| 10 | Diatomit 50% : Kaolin 50% (D50K50) | 89,667 |

Tabel 1. Hasil Rendemen Biodiesel

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa ada pengaruh yang signifikan terhadap hasil rendemen dari adanya perbedaan perlakuan modifikasi adsorben dengan rentang nilai sebesar 83,667 – 93,500%. Penggunaan adsorben atau resin penukar ion yang memiliki kandungan silika berpotensi untuk menghilangkan kontaminan pada *crude* biodiesel kasar (Yulanda et al., 2018). Beberapa adsorben yang mengandung silika adalah bentonit dengan nilai kandungan silika mencapai 23,40 % untuk yang bekas dan hasil regenerasi 17,34% (Annisah et al., 2021); kaolin dengan kandungan silika sebesar 46,54% (Indah et al., 2016); tanah diatomit memiliki kandungan silika sebesar 65-85% (Yustinah et al., 2019); serta talk dengan kandungan silika mencapai 97,3% (Septajayanti et al., 2021).

Grafik pada Gambar 1 menunjukkan nilai tertinggi dari hasil rendemen adalah pada perlakuan modifikasi talk 100% dengan nilai mencapai 93,500%. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian (Septajayanti et al., 2021) yang menghasilkan kandungan kadar silika cukup besar. Semakin tinggi kandungan silika, akan meningkatkan porositas dan mengakibatkan proses adsorpsi berjalan dengan baik sehingga menghasilkan rendemen yang tinggi.



Gambar 2. Grafik Hubungan Modifikasi Adsorben dengan Rendemen

Hasil ANOVA *one way* menggunakan aplikasi minitab 20 menunjukkan bahwa nilai *P-value* 0,000 yang lebih kecil dari derajat kesalahan 95% (0,005) dan artinya modifikasi mempengaruhi hasil rendemen biodiesel. Interaksi dari modifikasi adsorben mencapai 99,02% dengan artian bahwa 99,02% dipengaruhi oleh faktor modifikasi adsorben dan 0,98% dipengaruhi oleh faktor yang lainnya.

Tabel 2. ANOVA *One Way*

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|--------|----|---------|---------|---------|---------|
| SAMPEL | 9 | 287,533 | 31,9481 | 225,52 | 0,000 |
| Error | 20 | 2,833 | 0,1417 | | |
| Total | 29 | 290,367 | | | |

Hasil uji lanjut dengan *tukey methode* dengan derajat kepercayaan 95% didapatkan bahwa modifikasi adsorben terbaik adalah pada perlakuan talk 100%. Talk atau talkum merupakan hidrat magnesium silikat. Penggunaan magnesium silikat pada proses pemurnian biodiesel menghasilkan rendemen yang tinggi yaitu mencapai 93,5%.

Tabel 3. Uji Lanjut Dengan Tukey

| Sampel | N | Mean | Grouping |
|--------|---|--------|----------|
| T100 | 3 | 93,500 | A |
| T50K50 | 3 | 92,167 | B |
| T50D50 | 3 | 91,333 | B C |
| B50K50 | 3 | 90,333 | C D |
| B100 | 3 | 90,167 | D |
| D50K50 | 3 | 89,667 | D |

| Sampel | N | Mean | Grouping |
|--------|---|--------|----------|
| B50D50 | 3 | 87,500 | E |
| D100 | 3 | 86,333 | F |
| K100 | 3 | 84,667 | G |
| B50T50 | 3 | 83,667 | G |

3.2. Uji Kualitas Biodiesel

3.2.1. Uji Massa Jenis Suhu 40⁰C

Massa jenis merupakan perbandingan massa terhadap volume yang dinyatakan dalam gram/mL. analisis massa jenis menunjukkan adanya pengotor dalam produk biodiesel (Lestari, 2017). Hasil massa jenis untuk modifikasi adsorben terbaik adalah sebesar 854,44 Kg/m³. Nilai tersebut sudah sesuai dengan standar SNI biodiesel 7182:2015 yaitu berada pada rentang 850-890 Kg/m³. Pada penelitian ini menggunakan metode piknometer dengan suhu 40 ⁰C, penggunaan suhu pengukuran berpengaruh terhadap hasil massa jenis biodiesel yang diukur (Abdurrojaq et al., 2021). Massa jenis bahan bakar memiliki hubungan erat dengan nilai kalor dalam pembakaran diruang bakar (Ardhistira et al., 2018). Massa jenis dengan nilai yang lebih tinggi dinilai lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan solar konvensional (Wahyudi et al., 2022).

3.2.2. Uji Bilangan Asam

Bilangan asam jumlah miligram KOH yang diperlukan untuk menetralkan 1 gram sampel (Tarigan & Simatupang, 2019). Bilangan asam yang tinggi mengindikasikan kandungan asam lemak bebas yang tinggi pula (Salim et al., 2021). Hasil dari pengujian bilangan asam sampel modifikasi adsorben terbaik sebesar 0,185 mgKOH/gram. Nilai tersebut sudah sesuai dengan standar SNI biodiesel 7182:2012 yaitu maksimal 0,6 mgKOH/gram.

3.2.3. Uji Viskositas Kinematik

Viskositas merupakan sebuah kekentalan dari suatu cairan. Penentuan viskositas kinematik biodiesel menggunakan alat viskometer ostwald dengan cara mengalirkan cairan bersuhu 40 ⁰C dan mencatat waktunya. Hasil pengujian viskositas kinematik untuk sampel modifikasi

terbaik adalah sebesar 2,3 cSt. Nilai tersebut sudah sesuai dengan SNI 7182:2015 yaitu berada pada rentang 2,3 6 cSt. Viskositas erat hubungannya dengan kemampuan suatu fluida untuk bergesekan dari satu lapisan ke lapisan yang lainnya (A Bayu et al., 2022). Viskositas yang rendah akan berakibat pada menurunnya kemampuan untuk mendinginkan suatu mesin (Hendrawan et al., 2021). Sebaliknya jika nilai viskositas terlalu tinggi berakibat pada atomisasi bahan bakar (Laila & Oktavia, 2017).

3.2.4. Uji Bilangan Iodin

Pengujian bilangan iodin menggunakan metode *wijs*. Hasil pengujian bilangan iodin untuk sampel modifikasi adsorben terbaik adalah sebesar 39,57 gr-I₂/100 gram. Nilai tersebut sudah sesuai standar SNI 7182:2015 yaitu maksimal 115 gr-I₂/100 gram. Bilangan iodin pada biodiesel yang tinggi akan lebih mudah teroksidasi akibat kontak dengan udara (Marrdawati et al., 2019). Oksidasi berakibat pada perubahan warna dan juga aroma, sehingga dapat menurunkan kualitas bahan bakar.

3.2.5. Uji Bilangan Penyabunan

Pengujian bilangan penyabunan pada biodiesel digunakan sebagai dasar perhitungan kadar metil ester biodiesel. Dalam SNI 7182:2015 tidak ada ketentuan untuk nilai bilangan penyabunan. Hasil pengujian bilangan penyabunan pada modifikasi adsorben terbaik adalah sebesar 220 mgKOH/gram Minyak. Besar kecilnya bilangan penyabunan dipengaruhi oleh berat molekul dari minyak, semakin kecil berat molekul maka nilai penyabunan semakin besar dan sebaliknya (Putra et al., 2022).

3.2.6. Uji Kadar Gliserol Bebas, Terikat dan Total

Kadar gliserol pada produk biodiesel mengindikasikan sisa *by product* yang masih tersisa. Kadar gliserol harus diperhatikan dalam pembuatan biodiesel dan harus sesuai dengan SNI 7182:2015 yaitu untuk kadar gliserol bebas maksimal 0,02% dan gliserol total maksimal 0,24%. Hasil pengujian dari sampel modifikasi adsorben terbaik didapatkan nilai kadar gliserol bebas sebesar 0,002% dan 0,098% untuk kadar gliserol total. Kedua nilai tersebut sudah

memenuhi standar. Jika kadar gliserol melebihi batas maksimal yang telah ditentukan merupakan salah satu akibat dari proses pemurnian biodiesel yang kurang maksimal.

3.2.7. Uji Kadar Mestil Ester

Pengujian kadar metil ester dihitung dari selisih bilangan asam dan bilangan penyabunan. Meskipun tidak sepenuhnya menunjukkan kandungan ester, namun pengujian ini dapat memprediksi kandungan asam organik sebagai ester secara teoritis (Hendra, 2014). Hasil pengujian kadar alkil ester secara teoritis untuk sampel modifikasi adsorben terbaik adalah sebesar 97,83%. Nilai tersebut sudah sesuai dengan standar SNI 7182:2015 yaitu minimal 96,5%.

3.2.8. Uji Kadar Air

Kadar air merupakan kandungan air yang ada dalam sebuah benda (Prasetyo et al., 2019). Kandungan air dalam produk biodiesel harus diuji karena kandungan air yang tinggi akan berakibat pada rendahnya nilai kalor dan bermasalah untuk mesin (Megawati et al., 2022). Hasil pengujian kadar air sampel modifikasi adsorben terbaik sebesar 0,11%. Nilai tersebut melewati ambang batas maksimal sesuai SNI 7182:2015 yaitu 0,05%. Kadar air yang tinggi diakibatkan oleh penggunaan adsorben yang belum diaktivasi. Adsorben yang belum teraktivasi mengandung banyak pengotor lainnya, sehingga menyebabkan proses pemurnian tidak berjalan maksimal dan meninggalkan sisa air.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian penggunaan kolom kromatografi pada pemurnian biodiesel menggunakan modifikasi adsorben didapatkan perlakuan terbaik adalah penggunaan talk 100% dengan kualitas mutu biodiesel sebagai berikut. Densitas sebesar 854,44 Kg/m³; bilangan asam sebesar 0,185 mgKOH/gram; viskositas kinematik sebesar 2,3 cSt; bilangan iodin 39,57 gr-I₂/100 gr; bilangan penyabunan 220 mgKOH/gram; gliserol bebas 0,002%-massa, gliserol total sebesar 0,098%-massa; kadar alkil ester 97,83% dan kadar air 0,11%. Hasil



pengujian kualitas sudah memenuhi standar SNI 7182:2015 kecuali kadar air.

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Direktur Politeknik Negeri Jember, Ketua Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3M), Ketua Jurusan Teknik, Kepala Laboratorium dan Teknisi Workshop Energi dan Mekanik serta semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- A Bayu, S., Hasan, A., & Dewi, E. (2022). Pembuatan Bio – Pelumas dari Fatty Acid Methyl Ester (FAME) yang Berbahan Baku Crude Palm Oil (CPO). *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 2(7), 341–347.
- Abdurrojaq, N., Devitasari, R. D., Aisyah, L., Faturrahman, N. A., Bahtiar, S., Sujarwati, W., Wibowo, C. S., Anggarani, R., & Maymuchar, M. (2021). Perbandingan Uji Densitas Menggunakan Metode ASTM D1298 dengan ASTM D4052 pada Biodiesel Berbasis Kelapa Sawit. *Lembaran Publikasi Minyak Dan Gas Bumi*, 55(1), 47–55. <https://doi.org/10.29017/lpmgb.55.1.576>
- Alamsyah, R., Solikhah, M. D., Kismanto, A., & Heryani, S. (2023). Production of Coco-Biodiesel from CNO (Coconut Natural Oil) for Small Scale Industries/Coconut Farmers Using Static Mixer and Dry Washing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1235(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1235/1/012004>
- Annisah, A., Bahar, Y., & Husni, A. (2021). Pengolahan bentonit bekas sebagai adsorben pada proses penurunan kadar ffa dan warna minyak jelantah. *Jurnal Teknik Kimia*, 27(1), 29–37. <https://doi.org/10.36706/jtk.v27i1.272>
- Ardhistira, A. A. G. ., Wirawan, I. K. ., & Astawa, K. (2018). Uji Sifat Fisik Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan IX, 2018*, 231–236.
- Arenas, E., Villafán-Cáceres, S. M., Rodríguez-Mejía, Y., García-Loyola, J. A., Masera, O., & Sandoval, G. (2021). Biodiesel dry purification using unconventional bioadsorbents. *Processes*, 9(2), 1–12. <https://doi.org/10.3390/pr9020194>
- Bimantio, M. P., Oktaviany, H., & Widiasaputra, R. (2020). The design of A Portable Fixed-Bed Composite Adsorber Column as a Biodiesel Purification Media with Packing Bed System. *Teknik*, 41(3), 253–260. <https://doi.org/10.14710/teknik.v41i3.32661>
- Faccini, C. S., Da Cunha, M. E., Moraes, M. S. A., Krause, L. C., Manique, M. C., Rodrigues, M. R. A., Benvenuti, E. V., & Caramão, E. B. (2011). Dry washing in biodiesel purification: A comparative study of adsorbents. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 22(3), 558–563. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532011000300021>
- Hendra, D. (2014). Pembuatan Biodiesel dari Biji Kemiri Sunan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(1), 37–45.
- Hendrawan, A., D Sasongko, A., & Dafa, M. (2021). Pengaruh Umur Pelumasan Terhadap Suhu Mesin Induk KM Logistik Nusantara 4. *Jurnal Sains Teknologi Transportasi Maritim*, 3(2), 1–9.
- Indah, T., Sari, W., & Wijayanti, H. (2016). Pengaruh Metode Aktivasi Pada Kemampuan Kaolin Sebagai Adsorben Besi (Fe) Air Sumur Garuda. *Konversi*, 5(2), 60–65. <https://doi.org/10.20527/k.v5i2.4768>
- Laila, L., & Oktavia, L. (2017). Kaji Eksperimen Angka Asam dan Viskositas Biodiesel Berbahan Baku Minyak Kelapa Sawit dari PT Smart Tbk. *Jurnal Teknologi Proses Dan Inovasi Industri*, 2(1), 27–31.
- Lestari, N. F. (2017). Analisis Fisik Biodiesel Berbahan Baku Minyak Hasil Pengolahan Limbah Industri Pengalengan Ikan. In *universitas islam negeri maulana malik ibrahim malang*.
- Mahlinda, & Djafar, F. (2016). Pengaruh Jenis Co Solvent Terhadap Rendemen dan Mutu Biodiesel Secara Transesterifikasi In Situ Menggunakan Radiasi Gelombang Mikro. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 10(02), 119–126.
- Marrawdawati, E., Hidayat, mahdi singgih, Rahmah, devi maulida, & Rosalinda, S. (2019). Produksi Biodiesel Dari Minyak Kelapa Sawit Kasar Off Grade Dengan Variasi Pengaruh Asam Sulfat Pada Proses Esterifikasi Terhadap Mutu Biodiesel Yang Dihasilkan. *Jurnal Industri Pertanian*, 01(03), 46–60. <https://doi.org/Jurnal Teknik Pertanian>
- Megawati, E., Ardiansyah, A., Mukminin, A., Ariyani, D., Yuniarti, Y., & Lutfi, M. (2022). Analisis Sifat Fisika dan Nilai Keekonomian Minyak Goreng Bekas Menjadi Biodiesel Dengan Metode Transesterifikasi. *Al-Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia Dan Terapan*, 9(1), 48–54. <https://doi.org/10.15575/ak.v9i1.17962>
- Niawanti, H. (2020). Review Perkembangan Metode Produksi dan Teknologi Pemurnian dalam Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Chemurgy*, 04(1), 27–35.
- Prasetyo, T. F., Isdiana, A. F., & Sujadi, H. (2019). Implementasi Alat Pendeteksi Kadar Air pada Bahan Pangan Berbasis Internet Of Things. *SMARTICS Journal*, 5(2), 81–96. <https://doi.org/10.21067/smartics.v5i2.3700>
- Putra, D. A., Meriatna, Suryati, & Zulmiardi. (2022). Pembuatan Zat Emulsifier dari Minyak Pliek U dengan Katalis NaOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 11(1), 22–31. <https://doi.org/10.29103/jtku.v11i1.7246>



- Rachmanita, R. E., & Safitri, A. (2020). Pemanfaatan Minyak Biji Alpukat (*Persea americana* Mill) sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel dengan Pemurnian Water Washing. *Jurnal Ilmiah Sains*, 20(2), 88. <https://doi.org/10.35799/jis.20.2.2020.28266>
- Rhofita, E. I. (2017). Pemanfaatan Minyak Jelantah Sebagai Biodiesel : Kajian Temperatur dan Waktu Reaksi Transesterifikasi. *Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik*, 12(3), 141–150.
- Salim, M., Ratnawati, G. J., & Nuswantoro, A. (2021). Pengaruh Penambahan Aloe Barbadensis Miller Pada Minyak Goreng Bekas Terhadap Kadar Bilangan Asam. *Jurnal Vokasi Kesehatan*, 7(1), 19–23.
- Septajayanti, N. B., Satriawan, A., & Suprihatin, S. (2021). Pembuatan Magnesium Silikat dari Geothermal Sludge dengan Penambahan Bittern. *Journal of Chemical and Process Engineering*, 2(01), 18–22. <https://doi.org/10.33005/chempro.v2i01.65>
- Suriaini, N., Febriana, T. T., Yulanda, A., Adisalamun, A., Syamsuddin, Y., & Supardan, M. D. (2019). Purification of Biodiesel from Waste Cooking Oil Using Bentonite as Dry Washing Agent. *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*, 14(2), 155–162. <https://doi.org/10.23955/rkl.v14i2.13165>
- Tarigan, J., & Simatupang, D. F. (2019). Uji Kualitas Minyak Goreng Bekas Pakai Dengan Penentuan Bilangan Asam , Bilangan Peroksida Dan Kadar Air. *Ready Star-2*, 2(1), 6–10.
- Wahyudi, Nadjib, M., & Parmono, A. (2022). Pengaruh Densitas dan Viskositas Biodiesel Campuran *Jatropha*–Sawit Terhadap Sudut Injeksi. *Syntax Literate ; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(9), 15923–15931. <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v7i9.13502>
- Yulanda, A., Wahyuni, L., Safitri, R., Bakar, A., & Supardan, M. D. (2018). Pemanfaatan Bentonit Sebagai Penyerap Air Pada Proses Transesterifikasi Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia*, 10(02), 2–6.
- Yustinah, Hudzaifah, Aprilia, M., & AB, S. (2019). Kesetimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dengan Adsorben Tanah Diatomit Secara Batch. *Konversi*, 9(1), 17–28.

