

ANALISIS PENGARUH BEDA PERSENTASE *BINDER KAOLIN* PADA PELET KATALIS TERHADAP NILAI *YIELD* BIODIESEL BERBAHAN BAKU MINYAK KELAPA SAWIT

*Aryo Akhtar Palistianto¹, Norman Iskandar², Sulardjaka²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: aryaoakhtar@gmail.com

Abstrak

Pemanasan global adalah masalah yang semakin mendesak dan memerlukan solusi segera. Penyebab utama pemanasan global adalah emisi karbondioksida yang dihasilkan oleh berbagai sektor kegiatan manusia. Maka dari itu, penggunaan teknologi *green energy* merupakan salah satu solusi dalam mengatasi masalah tersebut. *Green energy* atau energi hijau adalah pemanfaatan sumber energi yang dapat diperbarui oleh proses alam dan memiliki keunggulan dalam rendahnya produksi emisi hasil konsumsi energi tersebut. Sebagai contoh yaitu penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai *yield* dari produksi biodiesel berbahan baku minyak kelapa sawit dengan menggunakan pelet katalis zeolit alam dengan variasi persentase *binder kaolin* pada pelet katalis. Pelet katalis diproduksi dengan perbandingan kaolin sebagai *binder* pengikat sebesar 25% dan 30% menggunakan *dies* berdiameter 5 mm dan menggunakan metode kompaksi sebesar 1,5 ton dengan alat *Hydraulic Press Machine*. Setelah itu, produksi biodiesel dengan proses transesterifikasi menggunakan metode pemanasan dan pengadukan dilakukan. Jumlah katalis yang digunakan sebesar 1% terhadap jumlah minyak kelapa sawit untuk masing-masing pelet yang telah dibuat. Hasil pengukuran dan perhitungan menunjukkan bahwa persentase kaolin berpengaruh terhadap nilai *yield* biodiesel. Hasil *yield* tertinggi dihasilkan oleh sampel dengan persentase kaolin 25% sebesar 86,67% sedangkan nilai *yield* terendah dihasilkan oleh sampel dengan persentase kaolin 30% sebesar 85,33%.

Kata kunci: biodiesel; katalis; pelet; transesterifikasi; zeolit alam

Abstract

Global warming is an increasingly urgent problem that requires immediate solutions. The main cause of global warming is carbon dioxide emissions produced by various sectors of human activity. Therefore, the use of green energy technology is one of the solutions to overcome this problem. Green energy is the utilization of energy sources that can be renewed by natural processes and has the advantage of low emission production from energy consumption. For example, the use of biodiesel as an alternative fuel to replace fossil fuels. This study aims to determine the yield value of palm oil-based biodiesel production using natural zeolite catalyst pellets with varying percentages of kaolin binder in catalyst pellets. Catalyst pellets were produced with a ratio of kaolin as a binder of 25% and 30% using 5 mm diameter dies and using a compression method of 1.5 tons with a Hydraulic Press Machine. After that, biodiesel production by transesterification process using heating and stirring method was conducted. The amount of catalyst used was 1% of the amount of palm oil for each pellet that had been made. The measurement and calculation results show that the percentage of kaolin affects the biodiesel yield value. The highest yield was produced by the sample with 25% kaolin percentage at 86.67% while the lowest yield value was produced by the sample with 30% kaolin percentage at 85.33%.

Keyword: biodiesel; catalyst; natural zeolite; pellets; transesterification

1. Pendahuluan

Pemanasan global adalah masalah yang semakin mendesak dan memerlukan solusi segera. Maka dari itu, penggunaan teknologi *green energy* merupakan salah satu solusi dalam mengatasi masalah tersebut. *Green energy* atau energi hijau adalah pemanfaatan sumber energi yang dapat diperbarui oleh proses alam dan memiliki keunggulan dalam rendahnya produksi emisi hasil konsumsi energi tersebut. Penerapan teknologi ini dapat membuka kemungkinan dalam menciptakan lingkungan yang berkelanjutan [1]. *Green energy* dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari. Sebagai contoh yaitu penggunaan biodiesel sebagai alternatif bahan bakar pengganti bahan bakar fosil

Produksi biodiesel dapat menggunakan dua metode yang berbeda, yaitu metode dua tahap dan satu tahap. Dalam proses dua tahap, proses esterifikasi didahului untuk mengurangi nilai asam pada bahan baku karena kadar asam yang terlalu tinggi dapat menyulitkan pemisahan gliserol dari biodiesel, yang dapat mengurangi jumlah biodiesel yang dihasilkan [2]. Setelah itu proses transesterifikasi dilakukan untuk mengurangi viskositas sehingga memenuhi standar yang ada. Sementara itu, metode satu tahap hanya menggunakan proses transesterifikasi dalam tahapannya tanpa menggunakan

proses esterifikasi. Metode satu tahap ini digunakan saat kandungan *Free Fatty Acid* (FFA) dari bahan baku kurang dari 2% sedangkan metode dua tahap menggunakan bahan baku dengan nilai FFA lebih dari 2% [3]. Berdasarkan kandungan FFA, minyak goreng kelapa sawit cocok menggunakan metode satu tahap yaitu proses transesterifikasi saja.

Katalis digunakan dalam produksi biodiesel agar pembuatannya lebih efektif. Tanpa penggunaan katalis, produksi biodiesel memerlukan tekanan dan temperatur yang tinggi sehingga berpengaruh ke ongkos produksi juga [4]. Katalis berbentuk pelet dianggap sebagai yang terbaik dalam hal stabilitas mekanis dan penggunaan berulang. Bentuk pelet ini dapat dihasilkan dalam berbagai bentuk yang beragam dan lebih mudah dalam penanganannya. Dalam penelitian ini, katalis yang digunakan adalah katalis zeolit alam. Zeolit adalah suatu struktur kristal aluminasilikat hidrat yang memiliki kerangka tiga dimensi yang tersusun dari tetrahedral $(\text{SiO}_4)^4-$ dan $(\text{AlO}_4)^5-$, dengan atom oksigen berperan sebagai penghubung antara mereka [5].

Bahan pengikat atau *Binder* diperlukan dalam komposisi pelet untuk menjaga pelet tidak mudah hancur [6]. *Binder* pengikat untuk pelet katalis dapat bervariasi tergantung pada bahan baku yang digunakan. Beberapa jenis *binder* yang umum digunakan dalam produksi pelet katalis melibatkan proses penghancuran batuan zeolit, pengayakan serbuk, pencampuran serbuk zeolit dengan bahan pengikat, hingga tahap kompaksi. Selain itu, penelitian menunjukkan bahwa penambahan *binder* kaolin dapat memengaruhi kekuatan katalis zeolit alam dalam bentuk pelet [7].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beda persentase *binder* kaolin dan jumlah penggunaan katalis pada produksi biodiesel minyak kelapa sawit terhadap karakter biodiesel yang dihasilkan. Katalis zeolit alam diproduksi di laboratorium Material, Departemen Teknik Mesin, Universitas Diponegoro. Sedangkan untuk kegiatan produksi biodiesel dilaksanakan di Laboratorium Advanced Material, UPT Laboratorium Terpadu, Universitas Diponegoro.

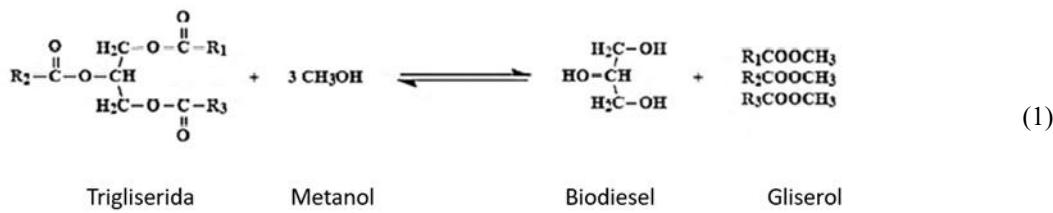
2. Dasar Teori

2.1 Biodiesel

Biodiesel adalah jenis bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari bahan-bahan organik seperti minyak nabati atau lemak hewani. Keunggulan dari biodiesel adalah ramah lingkungan. Biodiesel menghasilkan emisi gas buang yang lebih sedikit dibandingkan dengan bahan bakar diesel konvensional, membantu mengurangi dampak negatif terhadap kualitas udara dan perubahan iklim. Selain itu keunggulan biodiesel lainnya adalah mudah terurai secara alami, mempunyai kandungan sulfur dan kandungan aromatik rendah, serta temperatur pembakaran yang tinggi [8].

2.2 Proses Transesterifikasi

Biodiesel dapat diproduksi dengan proses transesterifikasi dimana bahan baku yang dibutuhkan harus memiliki nilai FFA sebesar di bawah 2%. Proses transesterifikasi adalah reaksi yang dapat berbalik dan menghasilkan alkil ester serta gliserol. Untuk mendorong terjadinya reaksi pembentukan produk, alkohol digunakan dalam jumlah yang lebih besar dari yang sebenarnya diperlukan. Metanol sering dipilih sebagai pilihan alkohol yang digunakan dalam proses transesterifikasi karena harganya terjangkau dan memiliki rantai karbon yang lebih pendek. Secara teori, stoikiometri reaksi transesterifikasi adalah 3:1 alkohol terhadap minyak [9]. Namun pada praktiknya diperlukan jumlah metanol yang lebih dari perbandingan tersebut agar hasil akhir dan produk lebih sempurna [10]. Berikut pada Persamaan 1 adalah reaksi transesterifikasi yang melibatkan penggunaan metanol.



Untuk mengukur jumlah produksi biodiesel dari hasil proses transesterifikasi, diperlukan sebuah ukuran yang disebut *biodiesel yield*. *Yield* ini menggambarkan efisiensi proses konversi triglycerida dalam minyak nabati atau lemak hewani menjadi metil ester (biodiesel) dan gliserol. Berikut adalah rumus perhitungan untuk mencari nilai *yield* biodiesel yang ditunjukkan oleh Persamaan 2

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{Volume biodiesel (ml)}}{\text{Volume minyak kelapa sawit (ml)}} \times 100 \quad (2)$$

2.3 Katalis

Proses transesterifikasi pada biodiesel dengan menggunakan katalis membuat proses reaksi lebih efektif jika dibandingkan dengan tidak menggunakannya. Katalis dapat mengurangi energi aktivasi dan meningkatkan kecepatan reaksi tanpa terlibat secara langsung dalam reaksi. Oleh karena itu, jumlah katalis baik sebelum maupun sesudah reaksi tetap konstan [11]. Dalam penelitian ini, katalis yang digunakan adalah katalis zeolit alam dengan menggunakan *binder*

dan berbentuk pelet dan telah dilakukan kalsinasi. Katalis dapat dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan karakteristiknya, yakni katalis homogen, heterogen, dan biokatalis [12]. Dari jenis-jenis katalis tersebut, masing-masing memiliki kelebihan maupun kekurangan.

2.4 Zeolit Alam

Penelitian ini memanfaatkan zeolit alam sebagai katalis heterogen yang akan membantu proses transesterifikasi. Zeolit adalah padatan aluminosilikat yang memiliki pori-pori berukuran mikroskopis, dan dapat menyerap berbagai kation serta molekul yang memiliki ukuran sama dengan pori-porinya [13]. Rumus empiris Zeolit adalah $Mx/n[(AlO_2)_x.(SiO_2)_y].mH_2O$, di mana M merujuk pada kation alkali tanah atau alkali, n mewakili valensi logam alkali, $(AlO_2)_x.(SiO_2)_y$ adalah struktur zeolit yang memiliki muatan negatif, dan H_2O adalah molekul air yang menyusun struktur zeolit [14].

2.5 Binder

Binder adalah zat tambahan yang digunakan dalam formula untuk menggabungkan semua komponen bahan baku [15]. Binder dapat mengubah gaya kohesif antara partikel serbuk, menghasilkan tablet atau pelet yang kuat setelah dipadatkan [16]. Mekanisme kerja bahan pengikat ini melibatkan daya tarik antar partikel dalam serbuk, menghasilkan tablet atau pelet yang kompak dan tahan. Dengan menggunakan binder, katalis yang berbentuk pelet memiliki dampak signifikan pada ketahanan mekanik pelet. Dalam penelitian ini binder yang digunakan berupa kaolin.

2.6 Kaolin

Kaolin adalah jenis batuan yang memiliki rumus kimia $Al_2[Si_2O_5](OH)_4$. Kaolin adalah mineral berlapis lempung yang termasuk dalam subkelas filosilikat (kelas silikat), yang terdiri dari kombinasi satu jaringan tetrahedral dan satu jaringan oktaedral (tipe T-O atau 1:1). Jaringan tetrahedral terdiri dari tetrahedra $[SiO_4]$, sedangkan jaringan oktaedral terdiri dari oktahedra aluminium-oksigen hidroksida $[AlO_6][Al(O,OH)_6]$ [17].

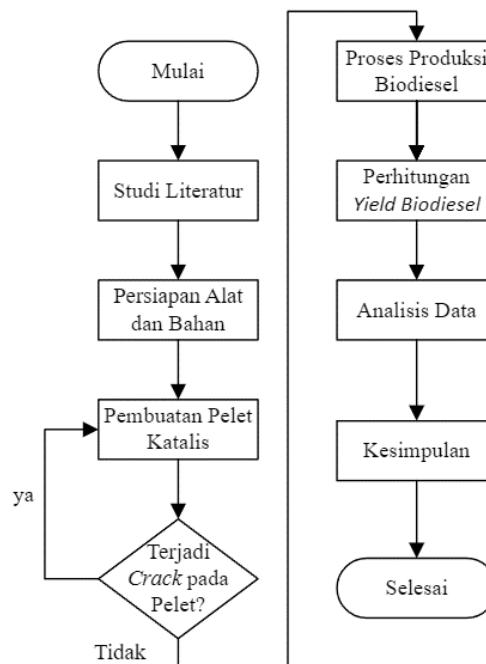
2.7 Katalis Berbentuk Pelet

Pelet adalah bentuk katalis yang paling umum diproduksi secara komersial untuk industri. Setelah proses reaksi, katalis bentuk pelet ini mudah dipisahkan dari produk reaksi karena strukturnya yang kuat dan tidak mudah hancur. Selain itu, jika proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis berbentuk pelet pada reaktor *fixed bed*, Penurunan tekanan dapat diminimalkan pada proses tersebut [18]. Penggunaan reaktor *fixed bed* dapat meningkatkan produksi biodiesel karena dapat menghasilkan produksi biodiesel secara terus-menerus (*Continuous*) [19].

3. Metode Penelitian

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini terdiri dari berbagai tahap penelitian. Tahap-tahap ini melengkapi semua kegiatan yang dilakukan selama penelitian. Pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 2.



Gambar 1. Diagram Alir Umum Penelitian

3.2 Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini, bahan utama yang digunakan yaitu zeolit alam yang berasal dari Bandung, *binder* kaolin, minyak goreng kelapa sawit bermerek Sania, dan metanol. Beberapa bahan harus melewati beberapa proses terlebih dahulu sebelum dapat digunakan dalam penelitian, seperti zeolit alam dan kaolin. Zeolit alam yang didapatkan masih berbentuk bongkahan sehingga harus melewati tahap *crushing*. Setelah melewati proses ini zeolit alam akan disaring menggunakan dua saringan, yaitu saringan mesh 250 dan 270 sehingga hasil akhirnya memiliki tampilan seperti bubuk halus. Zeolit dan kaolin yang ada dikeringkan dengan menggunakan oven dengan suhu 110°C lalu dikemas menggunakan klip plastik secara terpisah. Pengeringan ini berguna untuk menghilangkan kandungan air yang ada dalam zeolit dan kaolin. Selanjutnya zeolit alam siap digunakan untuk proses penelitian.

3.3 Proses Pembuatan

Pelet katalis diproduksi dengan proses kompaksi menggunakan *hydraulic press machine* dan *dies* yang berdiameter 5 mm. sebelum melakukan kompaksi, zeolit alam perlu dicampur dengan kaolin dengan persentase 25% dan 30% kaolin. Kompaksi dilakukan dengan penekanan sebesar 1,5 ton lalu pelet perlu diinspeksi apa terdapat *crack* atau tidak. *Crack* akan membuat pelet mudah hancur saat proses transesterifikasi sehingga keberadaanya tidak diinginkan.

Setelah proses pembuatan pelet selesai maka dilanjutkan proses produksi biodiesel dengan menggunakan metode pemanasan dan pengadukan menggunakan pemanas, *magnetic stirrer*, dan kondensor refluks. Biodiesel dibuat dengan perbandingan molaritas metanol dan minyak kelapa sawit sebesar 1 : 4 serta variasi jumlah katalis sebesar 1,5% terhadap massa minyak. Setelah bahan-bahan tersebut tercampur, perlu dilakukan proses pengadukan dan pemanasan selama 5 jam dengan suhu 60°C.

Selanjutnya, katalis yang masih berbentuk padatan dapat dipisahkan dari campuran. Setelah itu, *centrifuge* digunakan untuk mempermudah pengendapan sisa-sisa katalis, sisa metanol, gliserol dan biodiesel. *Centrifuge* digunakan selama 5 menit pada 3000 RPM. Setelah itu, campuran tersebut didiamkan menggunakan corong pemisah selama 24 jam. Setelah 24 jam, pisahkan lapisan biodiesel dengan lapisan cairan lainnya.

3.4 Perhitungan Yield Biodiesel

Perhitungan *yield* biodiesel dilakukan dengan cara mengukur biodiesel yang telah diproduksi lalu menghitungnya dengan Persamaan 2. Semakin tinggi nilai *Yield*, maka semakin baik efisiensi proses transesterifikasinya.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Perbandingan Kondisi Pelet katalis Sebelum dan Setelah Proses Transesterifikasi

Sebelum melakukan proses transesterifikasi, pelet katalis diukur menggunakan makrografi untuk membandingkan keadaan pelet sebelum dan setelah proses tersebut. Berikut adalah hasil pengukuran dan penampilan pelet sebelum proses transesterifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 3 menunjukkan Pelet Katalis Setelah Proses Transesterifikasi.

Tabel 1. Hasil Pengukuran dan Penampilan Pelet Katalis Sebelum Proses Transesterifikasi

No.	Persentase Kaolin	Tinggi	Diameter	Tampilan
1	25%	6,46 mm	5,27 mm	
2	30%	5,93 mm	5,29 mm	



Gambar 2. Penampilan Pelet Katalis Setelah Proses Transesterifikasi, (a) Pelet Berkaolin 25%, (b) Pelet Berkaolin 30%

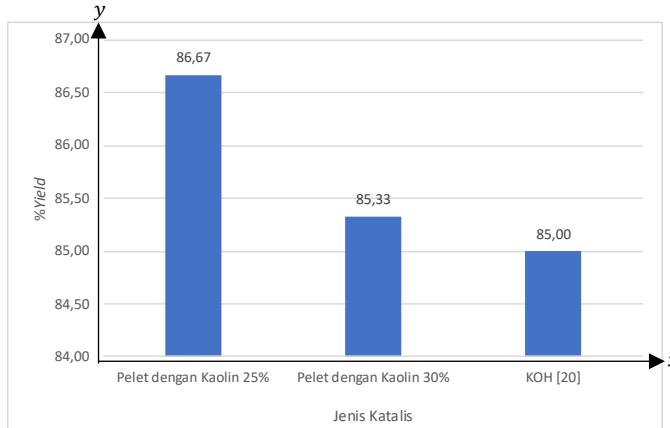
Kerusakan pelet katalis diakibatkan oleh proses pengadukan pada proses transesterifikasi. Kekuatan mekanis yang dimiliki oleh pelet katalis yang kurang mengakibatkan pelet tidak dapat mempertahankan kondisi strukturnya sehingga mudah hancur. Pada pelet katalis dengan persentase kaolin 25% sama sekali tidak dapat mempertahankan bentuk awalnya sehingga hasil akhirnya berbentuk seperti bubuk halus. Sedangkan untuk pelet dengan persentase kaolin 30% memiliki hasil akhir berbentuk bongkahan-bongkahan kecil.

4.2 Perhitungan Yield Biodiesel

Perhitungan yield biodiesel dilakukan setelah proses transesterifikasi dilakukan. Untuk menghitung *yield* biodiesel menggunakan Persamaan 2. Berikut adalah data persen *yield* hasil penelitian dan grafik data persen *yield* dengan data pembanding persen *yield* penggunaan katalis KOH [20] yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 2. Data Yield

No.	Persentase Kaolin	Jumlah Katalis	Volume Bahan Baku (ml)	Volume Biodiesel (ml)	<i>Yield (%)</i>
1	25%	1,0%	75	65	86,67
3	30%	1,0%	75	64	85,33



Gambar 3. Grafik Data Persen *Yield* Sampel

Jika melihat besar nilai *yield* pada Tabel dan Grafik, besar persentase kaolin dan jumlah katalis berpengaruh pada *yield* biodiesel. Sampel dengan kaolin 25% menghasilkan nilai *yield* terbesar yaitu dengan persentase 86,67%. Jika dibandingkan dengan penggunaan katalis KOH, kedua pelet katalis masih memiliki *yield* lebih besar dimana *yield* KOH memiliki *yield* sebesar 85%.

5. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan produksi, pengujian dan analisis pelet katalis zeolit kalsinasi dengan penambahan binder kaolin. Kesimpulan dari hasil penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

1. Pelet katalis tidak dapat mempertahankan bentuk awal seperti sebelum dilakukan proses transesterifikasi dikarenakan kurangnya kekuatan mekanis. Penambahan *binder* dan/atau perlakuan kalsinasi dibutuhkan agar pelet dapat mempertahankan bentuknya dan dapat digunakan kembali untuk proses transesterifikasi selanjutnya.
2. Persentase *binder* berpengaruh terhadap nilai *yield* biodiesel. Nilai *yield* maksimum dapat ditemukan pada sampel persentase kaolin 25% dengan persentase 86,67% sedangkan nilai *yield* terendah dihasilkan oleh sampel dengan persentase kaolin 30% sebesar 85,33%.

6. Daftar Pustaka

- [1] Z. Li, X. Wei, A. Al Shraah, K. Khudoykulov, G. Albasher, dan G. G. R. Ortiz, “Role of green energy usage in reduction of environmental degradation: A comparative study of East Asian countries,” *Energy Econ.*, vol. 126, Okt 2023, doi: 10.1016/j.eneco.2023.106927.
- [2] M. Chai, Q. Tu, M. Lu, dan Y. J. Yang, “Esterification pretreatment of free fatty acid in biodiesel production, from laboratory to industry,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 125, hal. 106–113, 2014, doi: 10.1016/j.fuproc.2014.03.025.
- [3] L. Laila dan O. Listiana, “Kaji Eksperimen Angka Asam Dan Viskositas Biodiesel Berbahan Baku Minyak Kelapa Sawit Dari Pt Smart Tbk,” *J. Teknol. Proses dan Inov. Ind.*, vol. 2, no. 1, hal. 3–6, 2017, doi: 10.36048/jtpii.v2i1.2245.
- [4] M. L. Gunawan *et al.*, “Palm-oil transformation into green and clean biofuels: Recent advances in the zeolite-based catalytic technologies,” *Bioresource Technology Reports*, vol. 23. Elsevier Ltd, 1 September 2023. doi: 10.1016/j.biteb.2023.101546.
- [5] M. Adriati, A. Suseno, dan T. Taslimah, “Modifikasi Zeolit Alam Menggunakan Besi (Fe) dan Kobalt (Co) untuk Katalis Degradasi Fenol,” *J. Kim. Sains dan Apl.*, vol. 16, no. 1, hal. 1, 2013, doi: 10.14710/jksa.16.1.1-5.
- [6] I. Putra, I. Norman, dan Sulardjaka, “Pengaruh Persentase Binder Bentonit Terhadap Densitas Pelet Katalis Zeolit Alam,” *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 11, no. 1, hal. 44–47, 2023.
- [7] T. Prihadi, N. Iskandar, dan Sulardjaka, “Pengaruh Variasi Persentase Binder Kaolin terhadap Sifat Mekanik,” vol. 9, no. 2, hal. 171–180, 2021.
- [8] A. Islam dan P. Ravindra, *Biodiesel Production with Green Technologies*. 2017.
- [9] Y. S. Erchamo, T. T. Mamo, G. A. Workneh, dan Y. S. Mekonnen, “Improved biodiesel production from waste cooking oil with mixed methanol–ethanol using enhanced eggshell-derived CaO nano-catalyst,” *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, Des 2021, doi: 10.1038/s41598-021-86062-z.
- [10] E. Daryono, Rahman, dan Zukhriyah, “Penggunaan Metanol Sisa Reaksi Sebagai Reaktan Pada Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel,” *J. Teknol.*, vol. 14, no. 2, hal. 155–162, 2022.
- [11] M. Zamhari, D. Indah Sari, dan N. Suciaty Saputri, “Pembuatan Katalis Heterogen Basa Dari Serbuk Kayu Akasia,” *J. Kinet.*, vol. 10, no. 01, hal. 38–45, 2019.
- [12] B. Maleki, S. S. Ashraf Talesh, dan M. Mansouri, “Comparison of catalysts types performance in the generation of sustainable biodiesel via transesterification of various oil sources: a review study,” *Mater. Today Sustain.*, vol. 18, hal. 100157, 2022, doi: 10.1016/j.mtsust.2022.100157.
- [13] N. Chaihad, S. Karnjanakom, A. Abudula, dan G. Guan, “Zeolite-based cracking catalysts for bio-oil upgrading: A critical review,” *Resour. Chem. Mater.*, vol. 1, no. 2, hal. 167–183, 2022, doi: 10.1016/j.recm.2022.03.002.
- [14] H. Purnama, O. Mistyanti, dan R. K. Amin, “Pemurnian Minyak Jelantah Dengan Zeolit Alam: Pengaruh Massa Zeolit dan Waktu Pengadukan,” *Simp. Nas. Teknol. Terap.* 2, hal. 17–22, 2014.
- [15] R. Wulansari, Y. Andriani, dan K. Haetami, “Penggunaan Jenis Binder Terhadap Kualitas Fisik Pakan Udang. (The Use Of This Type Of Binder On Quality Of Physical Of Shrimp),” *J. Perikan. Kelaut.*, vol. 7, no. 2, hal. 140–149, 2016.
- [16] N. Hidayati, N. Meilany, dan S. D. Andasari, “Formulasi Tablet Kunyah Asetosal Dengan Variasi Konsentrasi PVP Sebagai Bahan Pengikat,” *J. Ilmu Farm.*, vol. 11, no. 1, hal. 2685–1229, 2020.
- [17] A. A. Glebova, I. A. Pavlova, dan E. P. Farafontova, “Kaolin from Poletaevskoye deposit (Chelyabinsk region, Russia) in ceramics production,” *Ceram. Int.*, vol. 50, no. 13, hal. 23668–23676, 2024, doi: 10.1016/j.ceramint.2024.04.090.
- [18] L. He, Y. Fan, J. Bellette, J. Yue, dan L. Luo, “A review on catalytic methane combustion at low temperatures: Catalysts, mechanisms, reaction conditions and reactor designs,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 119, no. April 2019, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2019.109589.
- [19] Y. Ren *et al.*, “Continuous biodiesel production in a fixed bed reactor packed with anion-exchange resin as heterogeneous catalyst,” *Bioresour. Technol.*, vol. 113, hal. 19–22, 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2011.10.103.
- [20] Suherman, I. Abdullah, M. Sabri, A. S. Silitonga, dan B. Suroso, “Pengaruh Perbedaan Jumlah Katalis Terhadap Angka Yield Pada,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 17, no. 1, hal. 113–120, 2022.