

PENGARUH KATALIS KOMBINASI LIMBAH TULANG HEWAN DAN DAUN PEPAYA TERHADAP RENDEMEN BIODIESEL

Muhammad Bintang Nur Fadilah¹⁾, Akhmad Faruq Alhikami^{2)*}

¹Fakultas Teknik Mesin, Universitas Islam Malang, Jl. Mayjen Haryono No. 193, Kota Malang 65144

muhammadbintangnurfadilah@gmail.com

²Fakultas Teknik Mesin, Universitas Islam Malang, Jl. Mayjen Haryono No. 193, Kota Malang 65144

alhikami@unisma.ac.id

ABSTRAK

Bahan bakar fosil diketahui menimbulkan risiko serius terhadap kesehatan dan kualitas lingkungan, sehingga mendorong pencarian sumber energi yang lebih bersih. Di sisi lain, produksi biodiesel secara konvensional umumnya masih menggunakan katalis homogen yang bersifat korosif dan kurang ramah lingkungan. Penelitian ini ditujukan untuk meningkatkan hasil produksi biodiesel menggunakan katalis heterogen yang disintesis dari limbah tulang hewan seperti ayam dan daun pepaya, yang diketahui memiliki kandungan kalsium tinggi serta berpotensi mempercepat reaksi transesterifikasi secara lebih efisien dan berkelanjutan. Minyak jelantah seberat 200 gram diproses melalui esterifikasi dengan penambahan H_2SO_4 pekat (98%), dipanaskan selama 90 menit pada 60°C untuk menurunkan kadar asam lemak bebas. Proses transesterifikasi dilakukan pada suhu 65°C selama 80 menit, dengan variasi rasio metanol terhadap minyak (MTOR) sebesar 5:1, 9:1, dan 12:1, serta variasi konsentrasi katalis sebesar 2wt%, 4wt%, dan 6wt% dari massa minyak jelantah. Hasil rendemen tertinggi diperoleh pada MTOR 9:1 dengan katalis 2 wt% sebesar 98,5%, disusul MTOR 12:1 katalis 4 wt% sebesar 97,3%. Hasil menunjukkan bahwa variasi MTOR dan konsentrasi katalis sangat memengaruhi efisiensi produksi biodiesel. Katalis juga menunjukkan kemampuan digunakan ulang hingga tiga kali dengan rendemen tetap di atas 80%, meskipun terjadi penurunan kualitas produk.

Kata kunci: rendemen biodiesel, katalis heterogen, daun pepaya, tulang hewan, MTOR

PENDAHULUAN

Emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil berdampak buruk terhadap kesehatan manusia dan lingkungan, serta merupakan kontributor utama terhadap pemanasan global melalui efek rumah kaca. Seiring meningkatnya kesadaran terhadap isu

lingkungan, kebutuhan akan sumber energi alternatif yang lebih bersih dan berkelanjutan menjadi semakin mendesak. Salah satu kandidat bahan bakar alternatif yang banyak dikembangkan adalah biodiesel, karena sifatnya yang ramah lingkungan, titik nyala yang tinggi, angka setana yang baik, serta bebas

kandungan sulfur. Keunggulan lainnya adalah biodiesel dapat langsung digunakan dalam mesin diesel tanpa perlu modifikasi tambahan.

Namun, proses produksi biodiesel konvensional umumnya masih menggunakan katalis homogen seperti NaOH atau KOH, yang bersifat korosif dan sulit dipisahkan dari produk akhir. Kondisi ini mendorong riset terhadap katalis heterogen berbasis bahan alami yang dapat digunakan ulang dan mudah dipisahkan, salah satunya adalah kalsium oksida (CaO). CaO dapat diperoleh dari bahan limbah seperti tulang hewan dan daun pepaya yang mengandung senyawa mineral tinggi, terutama kalsium. Selain ekonomis, pemanfaatan limbah ini juga mendukung prinsip zero waste.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengeksplorasi katalis heterogen dari bahan alam dan limbah organik. Limbah tulang hewan dan daun pepaya merupakan dua bahan yang memiliki kandungan kalsium tinggi, terutama dalam bentuk kalsium karbonat (CaCO_3) yang dapat dikalsinasi menjadi kalsium oksida (CaO) senyawa aktif yang banyak digunakan dalam reaksi transesterifikasi. Selain itu, Daun pepaya juga mengandung unsur mikro seperti natrium (Na), fosfor (P), dan kromium (Cr) yang berperan sebagai penguat ionik dalam proses reaksi kimia pada produksi biodiesel, sehingga dapat meningkatkan efisiensi konversi.

Tujuan dari penelitian untuk mengoptimalkan rendemen biodiesel melalui variasi rasio metanol terhadap minyak (MTOR) dan konsentrasi katalis berbasis kombinasi limbah

tulang hewan dan daun pepaya. Penelitian juga mengevaluasi kemampuan pakai ulang (reusability) katalis tersebut. Diharapkan, penggunaan katalis ini dapat mendukung produksi biodiesel berkelanjutan dengan pendekatan *zero waste* dan efisiensi tinggi.

METODE

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama lima bulan, bertempat di Laboratorium Terpadu dan Halal Center, Universitas Islam Malang.

2.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini terdapat bahan-bahan yang meliputi:

- (a) Limbah tulang hewan dan daun pepaya kering yang berasal dari limbah rumah tangga.
- (b) Metanol, etanol, aquadest (air suling), dan asam sulfat (H_2SO_4) yang diperoleh dari toko kimia lokal.
- (c) Minyak jelantah, yang dikumpulkan dari limbah rumah tangga sebagai bahan baku utama pembuatan biodiesel.

Alat yang digunakan antara lain:

- (a) Hotplate magnetic stirrer, digunakan untuk mengaduk dan memanaskan bahan secara simultan dalam proses esterifikasi dan transesterifikasi.
- (b) Furnace dan oven, digunakan dalam proses kalsinasi bahan katalis. Furnace memiliki kapasitas panas yang jauh lebih tinggi dibandingkan oven, sedangkan oven digunakan khusus untuk proses pengeringan.
- (c) Corong pisah (separatory funnel), digunakan untuk memisahkan metil ester dan sisa katalis setelah proses esterifikasi.
- (d) Centrifuge, digunakan untuk

memisahkan biodiesel, katalis, dan gliserol dengan kecepatan putar 3500 rpm.

(e) Desikator, digunakan untuk menyimpan katalis agar tidak bereaksi dengan uap air di udara.

(f) Flash point tester, digunakan untuk mengukur titik nyala biodiesel.

(g) Neraca analitik, labu Erlenmeyer, termometer, gelas ukur, gelas beaker, corong kaca, spatula, kertas saring,

pipet tetes, mangkuk stainless steel, viskometer Ostwald, pipet bola, serta lumpang dan alu (mortar and pestle) sebagai perlengkapan laboratorium penunjang lainnya.



1).



2).



3).



4).



5).



6).

Gambar 1. (1) Hotplate magnetic stirrer, (2) tungku, (3) corong pisah (4) sentrifus, (5) desikator, (6) alat uji titik nyala.

2.3 Parameter variatif

Penelitian ini melibatkan tiga jenis parameter utama, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas dalam penelitian ini merujuk pada faktor-faktor yang dimanipulasi secara sengaja untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil, yaitu rasio metanol terhadap minyak (MTOR) dengan tiga variasi, variasi rasio molar metanol terhadap minyak (MTOR) pada penelitian ini yang digunakan adalah 5:1, 9:1, dan 12:1, dengan konsentrasi katalis dari massa minyak jelantah sebesar 2%, 4%, dan 6%. Variabel-variabel ini

dimaksudkan untuk mengetahui pengaruhnya yang berpengaruh terhadap jumlah produk (rendemen) dan mutu biodiesel yang diperoleh.

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah rendemen biodiesel yang dihasilkan, serta parameter kualitas biodiesel yang meliputi densitas, viskositas kinematik, angka asam, kadar FFA (asam lemak bebas), dan titik nyala. Sementara itu, variabel kontrol yang dijaga konstan selama penelitian mencakup waktu reaksi (90 menit untuk esterifikasi dan 80 menit untuk transesterifikasi), suhu reaksi (60°C untuk esterifikasi dan 65°C untuk transesterifikasi), jenis minyak

yang digunakan yaitu minyak jelantah, jenis katalis yang digunakan yaitu kombinasi serbuk tulang hewan dan daun pepaya yang telah dikalsinasi, serta volume metanol

dan massa minyak yang disesuaikan dengan perbandingan MTOR.



Gambar 2. Tahap Penelitian

2.4 Prosedur Penelitian

Proses penelitian ini diawali dengan tahap persiapan katalis melalui metode kalsinasi. Daun pepaya yang telah dipisahkan dari batangnya dan limbah tulang hewan dibersihkan menggunakan air mengalir, kemudian dikeringkan di dalam oven—daun pepaya selama dua jam dan tulang hewan selama tiga jam. Setelah proses pengeringan, kedua bahan tersebut digerus hingga halus menggunakan mortar, lalu dikalsinasi dalam furnace pada suhu 800°C selama tiga jam. Setelah pendinginan, serbuk material disimpan di dalam desikator guna mencegah kontaminasi akibat kelembaban udara.

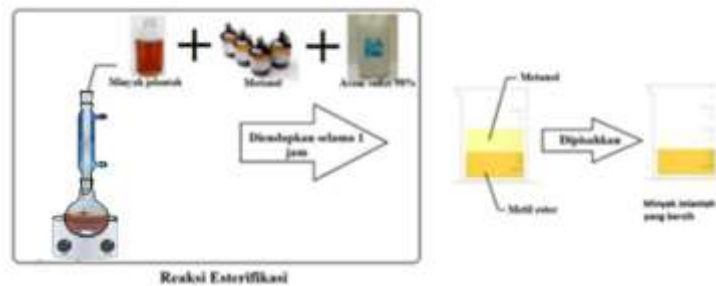
Tahap selanjutnya adalah proses esterifikasi terhadap 200 gram minyak jelantah yang ditempatkan dalam labu Erlenmeyer dan dipanaskan pada suhu 60°C menggunakan hotplate magnetic stirrer. Setelah mencapai suhu stabil, ditambahkan 32,5 mL metanol dan 6 gram asam sulfat (H_2SO_4) sebagai katalis homogen. Reaksi esterifikasi berlangsung selama 90 menit, Larutan hasil reaksi dibiarkan selama 24 jam

untuk memungkinkan terbentuknya dua fase yang terpisah. Lapisan bawah yang merupakan endapan atau kotoran dibuang, sementara lapisan atas digunakan sebagai bahan untuk proses transesterifikasi.

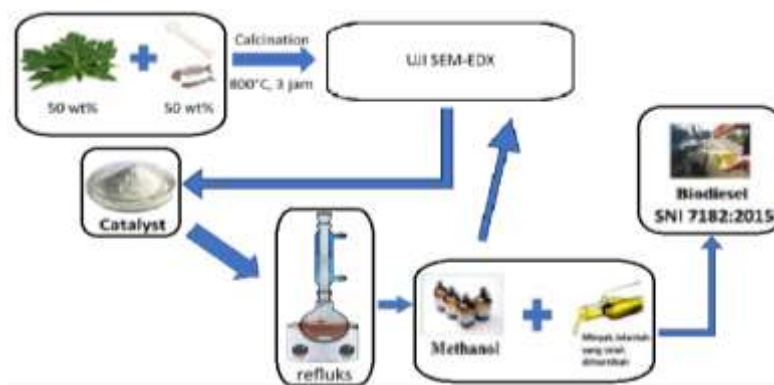
Pada proses transesterifikasi, minyak hasil esterifikasi sebanyak 50 gram dipanaskan kembali pada suhu 65°C sambil diaduk dengan kecepatan 450 rpm. Campuran metanol dan katalis heterogen yang terdiri dari kombinasi serbuk tulang hewan dan daun pepaya ditambahkan ke dalam minyak jelantah sesuai dengan variasi rasio Rasio molar metanol terhadap minyak (MTOR) divariasikan menjadi 5:1, 9:1, dan 12:1, dengan konsentrasi katalis masing-masing sebesar 2%, 4%, dan 6% terhadap berat minyak. sebesar 2 wt%, 4 wt%, dan 6 wt%. Reaksi transesterifikasi berlangsung selama 80 menit, setelah itu campuran disaring untuk memisahkan katalis padat dari fase cair. Biodiesel Hasil penyaringan kemudian dimasukkan Larutan ditempatkan dalam alat sentrifugal dan diputar selama 30 menit untuk mempercepat pemisahan fase. Setelah itu, lapisan biodiesel yang terbentuk di bagian atas diambil

kemudian dilakukan proses pemanasan pada suhu 110°C selama 20 menit di dalam oven untuk menguapkan kandungan air dan metanol yang tersisa. Langkah-langkah tersebut diulang untuk

masing-masing kombinasi variasi rasio MTOR dan konsentrasi katalis, guna memperoleh data yang valid dan lengkap terkait pengaruhnya terhadap rendemen dan kualitas biodiesel yang dihasilkan.



Gambar 3. Prosedur reaksi esterifikasi untuk memurnikan minyak jelantah



Gambar 4. Prosedur kalsinasi dan transesterifikasi untuk menghasilkan biodiesel

2.5 Data yang Dikumpulkan

Penelitian ini memfokuskan pengumpulan data pada rendemen biodiesel yang dihasilkan melalui proses transesterifikasi dengan variasi rasio metanol terhadap minyak (MTOR) serta konsentrasi katalis yang berbeda. Penghitungan rendemen dilakukan dengan menimbang massa biodiesel akhir yang dihasilkan, kemudian dibandingkan dengan massa awal minyak jelantah yang digunakan.

Langkah-langkah pengukuran rendemen adalah sebagai berikut:

- 1) Menimbang gelas beaker kosong menggunakan neraca analitik.
- 2) Menuangkan biodiesel hasil reaksi ke dalam beaker, lalu menimbang kembali.

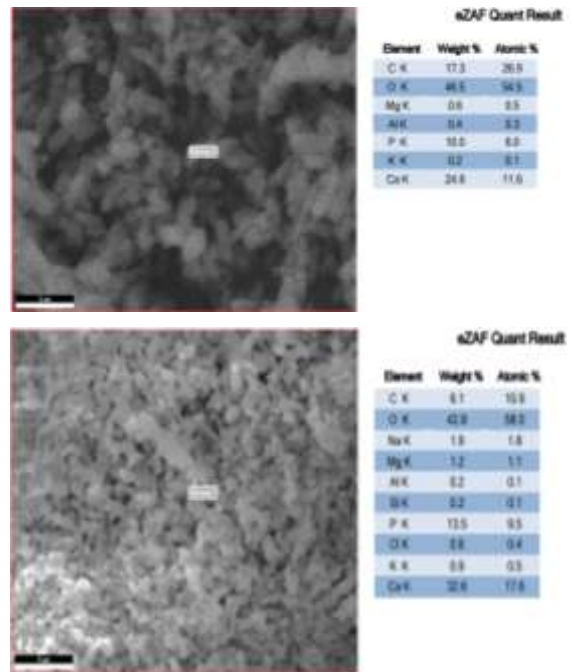
Selain itu, pengujian rendemen juga dilakukan pada penggunaan ulang katalis hingga tiga siklus untuk mengevaluasi efektivitas dan stabilitasnya terhadap hasil biodiesel.

2.6 Kesimpulan Hasil Penelitian

Kesimpulan dari penelitian ini diperoleh melalui penilaian terhadap kualitas katalis berdasarkan uji keandalan katalis heterogen dan kualitas biodiesel yang dihasilkan berdasarkan standar SNI 7182:2015. Katalis berbahan dasar limbah tulang hewan dan daun pepaya menunjukkan performa yang baik dalam menghasilkan biodiesel dengan rendemen tinggi, serta dapat digunakan ulang hingga tiga kali tanpa penurunan signifikan pada hasil. Biodiesel yang dihasilkan dari kombinasi MTOR dan konsentrasi katalis tertentu tidak hanya memiliki rendemen tinggi, tetapi juga memenuhi beberapa parameter mutu sesuai dengan standar nasional, seperti densitas, viskositas, angka asam, dan kadar asam lemak bebas. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan katalis heterogen dari bahan organik ini berpotensi mendukung produksi biodiesel berkelanjutan yang efisien dan ramah lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik pada Katalis



Gambar 5. SEM & EDX

MTOR	Dosis Katalis	Rendemen
5:1	2	97.1
5:1	4	91.0
5:1	6	90.0
9:1	2	98.5
9:1	4	97.2
9:1	6	97.0
12:1	2	96.4
12:1	4	97.3
12:1	6	97.1

Gambar 6. Tabel dari hasil

2.7 Rendemen

Data dan grafik menunjukkan bahwa pada rasio MTOR yang konstan, variasi konsentrasi katalis memengaruhi rendemen secara

menurun. Pada rasio MTOR 5:1 dan 9:1, terjadi penurunan rendemen secara konsisten seiring dengan meningkatnya konsentrasi katalis dari 2% menjadi 4% dan 6%. Sebaliknya,

pada MTOR 12:1, rendemen justru meningkat ketika konsentrasi katalis dinaikkan dari 2% ke 4%, namun kembali menurun pada konsentrasi 6%, meskipun penurunannya tidak terlalu signifikan.

Rendemen tinggi menjadi indikator bahwa minyak jelantah telah berhasil dikonversi menjadi biodiesel dengan efisiensi tinggi, karena tidak banyak massa bahan baku yang hilang selama proses.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan rasio metanol terhadap minyak (MTOR) dan konsentrasi katalis yang berasal dari limbah tulang hewan dan daun pepaya berpengaruh signifikan terhadap jumlah biodiesel yang dihasilkan (rendemen). Kombinasi terbaik diperoleh pada MTOR 9:1 dengan konsentrasi katalis 2wt%, yang menghasilkan rendemen tertinggi sebesar 98,5%. Kombinasi lain seperti MTOR 12:1 dengan katalis 4wt% juga menunjukkan hasil rendemen tinggi sebesar 97,3%. Penggunaan kembali katalis hingga tiga kali masih mampu menghasilkan rendemen di atas 80%, meskipun terjadi sedikit penurunan kualitas produk. Dengan demikian, katalis heterogen dari bahan organik ini tidak hanya efektif dalam meningkatkan rendemen, tetapi juga memiliki potensi keberlanjutan melalui reusability-nya.

Apresiasi

Dengan tulus, penulis mengucapkan terima kasih kepada **Universitas Islam Malang** atas dukungan sarana dan prasarana yang diberikan selama

Akan tetapi, rendemen tinggi tidak selalu menjamin kualitas biodiesel yang dihasilkan. Rendemen tinggi juga bisa mengindikasikan bahwa reaksi tidak berlangsung dengan sempurna, sehingga sebagian minyak jelantah masih belum terkonversi sepenuhnya. Oleh karena itu, diperlukan pengujian lanjutan terhadap parameter kualitas biodiesel untuk memastikan efektivitas proses yang terjadi.

pelaksanaan kegiatan penelitian ini. Penghargaan yang sama juga ditujukan kepada **Direktorat Belmawa dan Ditjen Diktiristek** atas bantuan pendanaan melalui **Program Kreativitas Mahasiswa (PKM)**, yang menjadi dasar terlaksananya program ini.

Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada **dosen pembimbing** dan semua pihak yang telah memberikan arahan, kontribusi, serta semangat sepanjang proses penelitian berlangsung.

REFRENSI

1. Aleman-Ramirez, J., Moreira, J., Torres-Arellano, S., Longoria, A., Okoye, P. U., & Sebastian, P. (2021). Preparation of a heterogeneous catalyst from moringa leaves as a sustainable precursor for biodiesel production. *Fuel*, 324, 118983. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.118983>
2. Aleman-Ramirez, J., Okoye, P. U., Torres-Arellano, S., Paraguay-Delgado, F., Mejía-López, M., Moreira, J., &

- Sebastian, P. (2022). Development of reusable composite eggshell-moringa leaf catalyst for biodiesel production. *Fuel*, 324, 124601.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124601>
3. Alhikami, A. F., Wang, W.-C., Nugroho, R. A. A., & Hsieh, H.-C. (2022). Experimental studies of soot formation for petro- and renewable diesels. *International Journal of Energy Research*, 46(1), 1–15.
<https://doi.org/10.xxxx/ijer.2022.xxxx>
 4. Farooq, M., Ramli, A., Naeem, A., Mahmood, T., Ahmad, S., Humayun, M., & Islam, M. G. U. (2018). Biodiesel production from date seed oil (*Phoenix dactylifera* L.) via eggshell-derived heterogeneous catalyst. *Chemical Engineering Research and Design*, 132, 644–651.
<https://doi.org/10.1016/j.chemd.2018.01.005>
 5. Hussain, F., Alshahrani, S., Abbas, M. M., Khan, H. M., Jamil, A., Yaqoob, H., Soudagar, M. E. M., Imran, M., Ahmad, M., & Munir, M. (2021). Waste animal bones as catalysts for biodiesel production: A mini review. *Catalysts*, 11(6), 630.
<https://doi.org/10.3390/catal11060630>
 6. Lee, J., Sorensen, C., Lemery, J., Workman, C., Linstadt, H., & Bazilian, M. (2022). Managing upstream oil and gas emissions: A public health oriented approach. *Journal of Environmental Management*, 310, 114766.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114766>
 7. Li, Z., Ding, S., Chen, C., Qu, S., Du, L., Lu, J., & Ding, J. (2019). Recyclable Li/NaY zeolite as a heterogeneous alkaline catalyst for biodiesel production: Process optimization and kinetics study. *Energy Conversion and Management*, 192, 335–345.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.04.067>
 8. Mazaheri, H., Ong, H. C., Amini, Z., Masjuki, H. H., Mofijur, M., Su, C. H., Badruddin, I. A., & Khan, T. Y. (2021). An overview of biodiesel production via calcium oxide based catalysts: Current state and perspective. *Energies*, 14(13), 3950.
<https://doi.org/10.3390/en14133950>
 9. Moazeni, F., Chen, Y.-C., & Zhang, G. (2019). Enzymatic transesterification for biodiesel production from used cooking oil: A review. *Journal of Cleaner Production*, 216, 117–128.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.181>

10. Rahman, M. A. (2018). Valorization of harmful algae *Enteromorpha compressa* for biodiesel production in presence of chicken waste derived catalyst. *Renewable Energy*, 129, 132–140.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.036>