

Optimasi Kinerja Mesin Diesel dengan Campuran Biodiesel dan Aluminium Oksida sebagai Nanoadditif

Muh. Abdillah¹, Ariawan Bayu Wicaksono¹, Nurhidayanti¹, Ishak¹

¹Departemen Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Indonesia;

Email : muh.abdillah@poliupg.ac.id, ariawanbayu@poliupg.ac.id, nurhidayantisamsir@poliupg.ac.id, nurhidayantisamsir@poliupg.ac.id, ishakridwan@poliupg.ac.id;

Abstrak : Biodiesel, yang berasal dari sumber daya terbarukan seperti minyak nabati dan lemak hewani, merupakan pengganti ramah lingkungan untuk diesel tradisional, terutama karena dapat terurai secara hayati dan menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah. Meskipun ada keuntungan-keuntungan ini, tantangan seperti efisiensi energi yang lebih rendah dan peningkatan emisi nitrogen oksida menghambat penggunaannya yang lebih luas. Studi ini mengeksplorasi bagaimana penambahan nanopartikel aluminium oksida (Al_2O_3) ke dalam campuran biodiesel mempengaruhi kinerja mesin diesel. Penelitian ini mengkaji lima kombinasi bahan bakar yang berbeda: B30 (campuran biodiesel murni), B30 dengan Al_2O_3 pada konsentrasi 30, 50, 70, dan 90 ppm. Campuran-campuran ini diuji pada berbagai beban mesin untuk menilai dampaknya terhadap torsi dan *brake power*. Temuan menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel Al_2O_3 secara signifikan meningkatkan kinerja mesin. Peningkatan torsi tertinggi sebesar 4,14% dan peningkatan *brake power* sebesar 6,22% diamati pada campuran B30+ Al_2O_3 70 ppm, terutama dalam kondisi beban tinggi. Peningkatan kinerja yang diamati dapat dikreditkan pada atomisasi yang lebih efektif, pencampuran udara-bahan bakar yang lebih baik, dan sifat katalitik dari nanopartikel, yang semuanya berkontribusi pada efisiensi pembakaran yang lebih baik. Namun, pada konsentrasi 90 ppm, terjadi penurunan kinerja yang sedikit, kemungkinan disebabkan oleh agregasi nanopartikel, yang dapat menghambat efisiensi pembakaran. Konsentrasi optimal sebesar 70 ppm memberikan hasil terbaik, menunjukkan potensinya untuk meningkatkan efisiensi biodiesel. Studi lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi stabilitas jangka panjang dispersi nanopartikel dalam biodiesel dan untuk memahami dampaknya terhadap umur mesin.

Kata Kunci : Biodiesel, nanopartikel, performa mesin

Abstract : Biodiesel, which comes from renewable resources such as vegetable oils and animal fats, is an environmentally friendly alternative to traditional diesel, especially because it is biodegradable and produces lower carbon emissions. Despite these advantages, challenges such as lower energy

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2025, Vol. 6, No. 1, pp 100 – 107

Received : 3 Februari 2025

Accepted : 4 Maret 2025

Published : 31 Maret 2025



Copyright: © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2809-5456](#) and e-ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

efficiency and increased nitrogen oxide emissions hinder its wider use. This study explores how the addition of aluminum oxide nanoparticles (Al_2O_3) to biodiesel blends affects diesel engine performance. This study examines five different fuel combinations: B30 (pure biodiesel blend), B30 with Al_2O_3 at concentrations of 30, 50, 70, and 90 ppm. These mixtures were tested under various engine loads to assess their impact on torque and brake power. The findings show that the addition of Al_2O_3 nanoparticles significantly improves engine performance. The highest torque increase of 4.14% and a brake power increase of 6.22% were observed in the B30+ Al_2O_3 70 ppm mixture, especially under high load conditions. The observed performance improvement can be credited to more effective atomization, better air-fuel mixing, and the catalytic properties of the nanoparticles, all of which contribute to better combustion efficiency. However, at a concentration of 90 ppm, there is a slight decrease in performance, likely due to nanoparticle aggregation, which can hinder combustion efficiency. The optimal concentration of 70 ppm yields the best results, demonstrating its potential to enhance biodiesel efficiency. Further studies are needed to evaluate the long-term stability of nanoparticle dispersions in biodiesel and to understand their impact on engine lifespan.

Keywords : Biodiesel, nanoparticles, Engine Performance

1. Pendahuluan

Biodiesel, yang diproduksi dari sumber daya terbarukan seperti minyak nabati dan lemak hewani, merupakan pengganti yang menjanjikan untuk diesel tradisional karena kemampuannya untuk terurai secara alami dan dampak lingkungannya yang lebih rendah. Meskipun ada manfaat dalam penggunaannya, energi alternatif ini terbatas oleh berbagai hambatan, seperti emisi oksida nitrogen yang lebih tinggi dan densitas energi yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar diesel tradisional (Shaafi & Velraj, 2015). Untuk mengatasi keterbatasan ini, para peneliti telah mengeksplorasi penambahan nanopartikel, seperti oksida aluminium, ke dalam campuran biodiesel. Nanopartikel ini dapat meningkatkan sifat termofisik bahan bakar, meningkatkan efisiensi pembakaran, dan mengurangi emisi berbahaya (Ağbulut dkk., 2020; Sivakumar dkk., 2018; Wei dkk., 2021). Penelitian menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel oksida aluminium dalam campuran biodiesel dapat secara signifikan meningkatkan kinerja mesin.

Secara khusus, penambahan nanopartikel ini telah terbukti meningkatkan efisiensi termal mesin sambil mengurangi jumlah bahan bakar yang dikonsumsi per unit output daya (Razek, 2017; Sudarsanam & Jayaprabakar, 2024; Wu dkk., 2018). Selain itu, nanopartikel aluminium oksida dapat meningkatkan proses pembakaran dengan bertindak sebagai katalis. Ini menghasilkan penundaan penyalaan yang lebih rendah dan pembakaran yang lebih efisien (Razek, 2017; Vellaiyan, 2019).

Dalam hal emisi, penggunaan nanopartikel aluminium oksida dalam campuran biodiesel telah dikaitkan dengan pengurangan emisi karbon monoksida, hidrokarbon yang tidak terbakar, dan emisi asap, meskipun mungkin ada sedikit peningkatan emisi nitrogen oksida (Sivakumar dkk., 2018; Wei dkk., 2021). Penelitian ini menyoroti perlunya penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan konsentrasi dan jenis nanopartikel yang digunakan guna mencapai keseimbangan terbaik antara peningkatan kinerja dan pengurangan emisi.

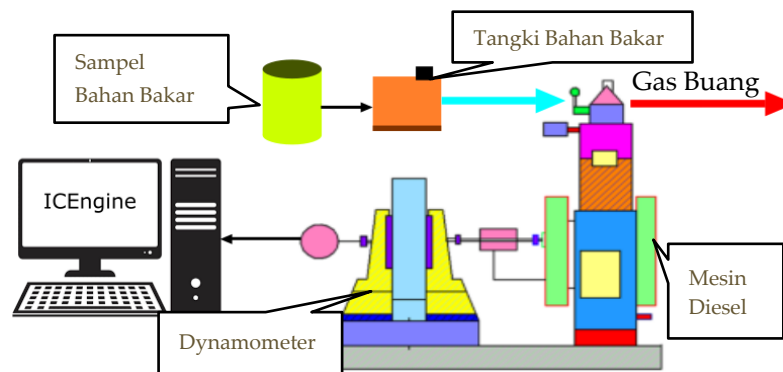
Singkatnya, kombinasi biodiesel dan nanopartikel aluminium oksida merupakan strategi yang layak untuk mengoptimalkan kinerja mesin diesel. Metode ini meningkatkan kinerja mesin sambil secara bersamaan mengurangi pelepasan polutan berbahaya, mendukung inisiatif global yang bertujuan untuk memajukan alternatif energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

2. Metode Penelitian

Studi ini berfokus pada pemeriksaan berbagai sampel bahan bakar, seperti biodiesel B30 dan biodiesel B30 yang dicampur dengan Al_2O_3 dalam konsentrasi 30 ppm, 50 ppm, 70 ppm, dan 90 ppm. Mereka dievaluasi melalui pengujian pada mesin diesel.

2.1. Persiapan Penelitian

Untuk penelitian ini, digunakan mesin diesel dengan daya terukur 3,5 kW, seperti yang dijelaskan dalam Tabel 1. Mesin dilengkapi dengan beberapa sensor yang bekerja sama dengan sistem komputer yang menjalankan aplikasi IC-Engine, memungkinkan pengumpulan data kinerja secara otomatis. Mesin diuji di bawah beban 3, 5, 7, dan 9 kg, dengan rasio kompresi diatur pada 16:1.



Gambar 1. Persiapan Penelitian

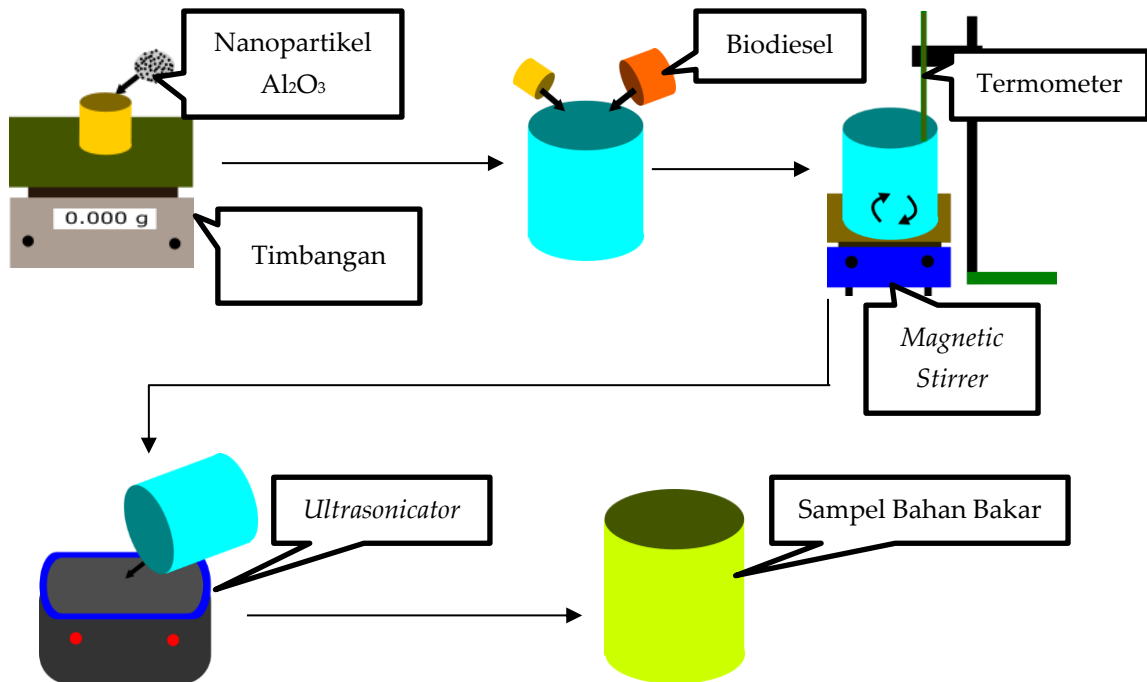
Tabel 1. Karakteristik Mesin

Parameter	Spesifikasi
Jumlah Silinder	1
Jumlah Langkah Piston	4
Bahan Bakar	Diesel
Rated Power	3.5 kW
	@1500rpm
Diameter Silinder	87.5 mm
Panjang Langkah	110 mm
Panjang Connecting Rod	234 mm
Variasi Rasio Kompresi	12 to 18 :1
Diameter Orifice	20 mm
Dynamometer arm length	185 mm

2.2. Persiapan Bahan Bakar dicampur Nanopartikel Al_2O_3

Penelitian ini menyelidiki dampak penambahan nanopartikel Al_2O_3 ke dalam bahan bakar biodiesel B30 pada konsentrasi yang bervariasi yaitu 30, 50, 70, dan 90 ppm. Bahan bakar B30, yang tersedia secara komersial di SPBU Indonesia, adalah campuran 30% biodiesel berbasis minyak kelapa sawit dan solar biasa. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2, pencampuran bahan bakar dengan nanopartikel Al_2O_3 dilakukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit dalam rentang suhu 80°C hingga 90°C. Untuk mencegah nanopartikel mengendap, digunakan *ultrasonicator* yang beroperasi

pada 40 kHz digunakan selama 30 menit. Setelah itu, campuran bahan bakar dibiarkan mendingin hingga suhu ruangan sebelum diuji dalam mesin. Karakteristik spesifik dari nanopartikel Al_2O_3 disajikan dalam Tabel 2.



Gambar 2. Pencampuran Bahan Bakar dengan Nanopartikel Al_2O_3

Tabel 2. Karakteristik Nanopartikel Al_2O_3

Parameter	Spesifikasi
Nama Produk	Aluminum Oxide Powder Nano Grade
Warna	Putih
Crystal form	Gamma
Nilai PH	6-7
Ukuran Partiker	20-30nm
Komposisi Al_2O_3	$\geq 99.99\%$
Mn	0.62 ppm
Si	10.5 ppm
Na	9.01 ppm
Ti	0.66 ppm
K	10.4 ppm
Fe	9.75 ppm
Cu	0.09 ppm

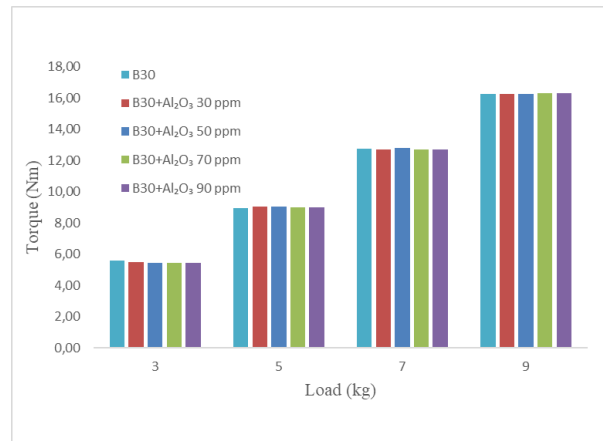
3. Hasil dan Pembahasan

Studi ini menyelidiki dampak pencampuran nanopartikel Al_2O_3 ke dalam bahan bakar B30 terhadap kinerja mesin. Karakteristik sampel bahan bakar dijelaskan dalam Tabel 3. Ditemukan bahwa viskositas semua campuran B30+ Al_2O_3 melebihi viskositas B30 murni. Nilai viskositas yang diperoleh sesuai dengan standar ASTM D6751.

Tabel 3. Karakteristik Sampel Bahan Bakar

Sample	Properties			
	Caloric Value (kJ/kg)	Kinematic Viscosity (cSt)	Density at 400C (g/ml)	Flash Point (0C)
B30	34408	9.02	0.866	115
B30 + Al ₂ O ₃ 30ppm	35378	4.20	0.915	120
B30 + Al ₂ O ₃ 50ppm	34268	4.44	0.911	120
B30 + Al ₂ O ₃ 70ppm	35212	5.0	0.916	120
B30 + Al ₂ O ₃ 90ppm	34922	4.37	0.916	118

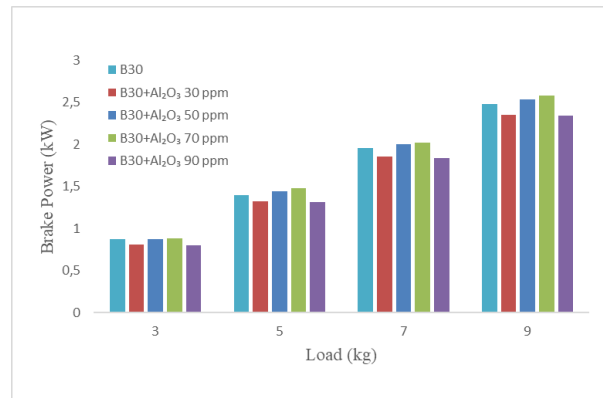
3.1. Torsi



Gambar 3. Torsi terhadap Beban Mesin

Gambar 3 menjelaskan perubahan torsi terhadap beban mesin menggunakan B30 dan campuran B30 + Al₂O₃. Grafik tersebut menggambarkan bagaimana torsi mesin bervariasi dengan perubahan beban saat menggunakan bahan bakar B30 dan campuran B30 + Al₂O₃ pada konsentrasi yang berbeda. Pada beban 3 kg, torsi tertinggi (5,47 Nm) diamati pada campuran B30 + Al₂O₃ 50 ppm, diikuti oleh B30 + Al₂O₃ 30 ppm (5,49 Nm), B30 + Al₂O₃ 90 ppm (5,45 Nm), dan torsi terendah terlihat pada B30 + Al₂O₃ 70 ppm (5,44 Nm). Pada beban 9 kg, torsi tertinggi (16,33 Nm) berasal dari campuran B30 + Al₂O₃ 70 ppm, diikuti oleh B30 + Al₂O₃ 90 ppm (16,29 Nm), B30 + Al₂O₃ 50 ppm (16,27 Nm), dan yang terendah adalah B30 + Al₂O₃ 30 ppm (16,25 Nm). Penambahan Al₂O₃ pada konsentrasi 70 ppm secara signifikan meningkatkan torsi mesin dalam kondisi beban tinggi (Abdillah dkk., 2023; Kingkam dkk., 2024; Pourhoseini & Ghodrat, 2021). Kejadian ini dapat dikaitkan dengan ledakan mikro yang memecah tetesan semprotan bahan bakar menjadi partikel yang lebih kecil dan lebih mudah terbakar (Hoang, 2021), atomisasi yang lebih baik (Nayak & Pattanaik, 2014), keberadaan molekul oksigen yang lebih besar, dan pengurangan kandungan karbon dalam bahan bakar (dibandingkan dengan B30), yang semuanya berkontribusi pada pembakaran yang lebih efisien. Namun, pada konsentrasi yang lebih tinggi (90 ppm), torsi cenderung sedikit menurun, kemungkinan disebabkan oleh aglomerasi nanopartikel yang menghambat distribusi merata dalam bahan bakar dan mengurangi efisiensi pembakaran (Jiang dkk., 2019). Secara umum, torsi meningkat seiring dengan meningkatnya beban mesin. Ini sesuai dengan karakteristik mesin diesel yang memerlukan torsi lebih besar untuk mempertahankan rotasi mesin yang stabil ketika beban meningkat (Hegab dkk., 2017). Campuran B30 dengan Al₂O₃ menunjukkan potensi peningkatan kinerja, terutama pada konsentrasi 70 ppm yang menghasilkan torsi tertinggi pada beban tinggi.

3.2. Brake Power



Gambar 4. Brake Power terhadap Beban Mesin

Gambar 4 menggambarkan korelasi antara *brake power* (kW) dan beban mesin (kg) saat menggunakan bahan bakar B30 saja dan kombinasi B30 dengan aluminium oksida (Al₂O₃). Temuan menunjukkan bahwa penambahan Al₂O₃ pada konsentrasi 70 ppm menghasilkan *brake power* tertinggi di semua tingkat beban, terutama pada beban 9 kg, di mana mencapai 2,582 kW. Campuran ini juga mengungguli B30 dan campuran lainnya pada beban 3 kg, mencapai nilai 0,881 kW. Hal ini karena penambahan nanopartikel mengurangi viskositas bahan bakar, mencegah atomisasi yang buruk. Atomisasi yang buruk menghasilkan tetesan bahan bakar yang lebih besar, membuat pembakaran menjadi kurang efisien dan lebih sulit (Elkotb, 1982). Menambahkan nanopartikel ke dalam campuran bahan bakar meningkatkan proses pembakaran dan interaksi antara udara dan bahan bakar karena permukaan reaktif partikel-partikel tersebut, yang bertindak sebagai katalisator yang efektif. Ukuran kecil mereka meningkatkan luas permukaan sebanding dengan volume mereka, yang memperkuat reaksi katalitik dan meningkatkan kinerja pembakaran. Akibatnya, hal ini dapat menyebabkan penurunan *brake power* (Abdel Razek, 2017; Arockiasamy & Anand, 2015; Sadhik Basha & Anand, 2012). Sebaliknya, penambahan Al₂O₃ pada konsentrasi 90 ppm menghasilkan *brake power* terendah pada semua beban, yang kemungkinan disebabkan oleh aglomerasi nanopartikel yang menghambat efisiensi pembakaran (Saxena dkk., 2017). Secara umum, *brake power* meningkat seiring dengan meningkatnya beban mesin. Campuran B30 murni menunjukkan kinerja yang stabil, tetapi peningkatan signifikan dalam *brake power* diamati pada campuran B30 dengan Al₂O₃, terutama pada konsentrasi 70 ppm. Penurunan kinerja pada konsentrasi 90 ppm menunjukkan bahwa nanopartikel yang berlebih dapat menurunkan efisiensi pembakaran akibat aglomerasi.

4. Kesimpulan

Menambahkan nanopartikel ke bahan bakar B30 meningkatkan efisiensi mesin diesel, menghasilkan pembakaran yang lebih baik dan kinerja mesin secara keseluruhan. Penambahan nanopartikel Al₂O₃ ke dalam bahan bakar B30 meningkatkan torsi mesin, dengan 70 ppm menunjukkan kinerja terbaik pada beban yang lebih tinggi. Peningkatan pembakaran disebabkan oleh atomisasi yang lebih baik dan kandungan oksigen yang lebih tinggi. Namun, konsentrasi yang lebih tinggi (90 ppm) dapat mengurangi efisiensi karena aglomerasi nanopartikel. Penambahan 70 ppm Al₂O₃ ke bahan bakar B30 meningkatkan *brake power*, menunjukkan kinerja optimal pada semua beban karena atomisasi dan efisiensi pembakaran yang lebih baik. Namun, 90 ppm mengurangi kinerja karena aglomerasi nanopartikel.

Perbaikan ini dapat membantu pemerintah mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi ketergantungannya pada bahan bakar fosil. Namun, studi ini tidak mengevaluasi stabilitas campuran nanopartikel dengan bahan bakar B30. Penelitian mendatang harus fokus pada pengujian stabilitas nanopartikel untuk menentukan berapa lama campuran tersebut tetap stabil dalam bahan bakar.

Daftar Pustaka

- Abdel Razek, S. M. (2017). Effect of Aluminum Oxide Nano-Particle in Jatropha Biodiesel on Performance, Emissions and Combustion Characteristics of D I Diesel Engine. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, V(IV), 358–372. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2017.4066>
- Abdillah, M., Amaliyah, N., Putra, A. E. E., & Surahman. (2023). Biodiesel Performance Improvement with the Addition of Al₂O₃ Nanoparticles on Diesel Engine. *International Journal of Heat and Technology*, 41(2), 423–430. <https://doi.org/10.18280/ijht.410217>
- Ağbulut, Ü., Karagöz, M., Sarıdemir, S., & Öztürk, A. (2020). Impact of various metal-oxide based nanoparticles and biodiesel blends on the combustion, performance, emission, vibration and noise characteristics of a CI engine. *Fuel*, 270, 117521. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2020.117521>
- Arockiasamy, P., & Anand, R. B. (2015). Performance, combustion and emission characteristics of a D.I. diesel engine fuelled with nanoparticle blended jatropha biodiesel. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 59(2), 88–93. <https://doi.org/10.3311/PPme.7766>
- Elkothb, M. M. (1982). Fuel atomization for spray modelling. *Progress in Energy and Combustion Science*, 8(1), 61–91. [https://doi.org/10.1016/0360-1285\(82\)90009-0](https://doi.org/10.1016/0360-1285(82)90009-0)
- Hegab, A., La Rocca, A., & Shayler, P. (2017). Towards keeping diesel fuel supply and demand in balance: Dual-fuelling of diesel engines with natural gas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 666–697. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.11.249>
- Hoang, A. T. (2021). Combustion behavior, performance and emission characteristics of diesel engine fuelled with biodiesel containing cerium oxide nanoparticles: A review. *Fuel Processing Technology*, 218(January), 106840. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106840>
- Jiang, G., Yan, J., Wang, G., Dai, M., Xu, C., & Wang, J. (2019). Effect of nanoparticles concentration on the evaporation characteristics of biodiesel. *Applied Surface Science*, 492, 150–156. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2019.06.118>
- Kingkam, W., Nuchdang, S., Phalakornkule, C., Suwanmanee, U., & Rattanaphra, D. (2024). Synergistic effect of La₂O₃-Al₂O₃ based catalysts for efficient biodiesel production. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/J.JIEC.2024.08.023>
- Nayak, S. K., & Pattanaik, B. P. (2014). Experimental Investigation on Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fuelled with Mahua Biodiesel Using Additive. *Energy Procedia*, 54, 569–579. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2014.07.298>
- Pourhoseini, S. H., & Ghodrat, M. (2021). Experimental investigation of the effect of Al₂O₃ nanoparticles as additives to B20 blended biodiesel fuel: Flame characteristics, thermal performance and pollutant emissions. *Case Studies in Thermal Engineering*, 27, 101292. <https://doi.org/10.1016/J.CSITE.2021.101292>
- Razek, S. (2017). Effect of Aluminum Oxide Nano-Particle in Jatropha Biodiesel on Performance, Emissions and Combustion Characteristics of D I Diesel Engine. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 358–372. <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2017.4066>
- Sadhik Basha, J., & Anand, R. B. (2012). Effects of nanoparticle additive in the water-diesel emulsion fuel on the performance, emission and combustion characteristics of a diesel engine. *International Journal of Vehicle Design*, 59(2–3), 164–181. <https://doi.org/10.1504/IJVD.2012.048692>
- Saxena, V., Kumar, N., & Saxena, V. K. (2017). A comprehensive review on combustion and stability aspects of metal nanoparticles and its additive effect on diesel and biodiesel fuelled C.I. engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 563–588. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.11.067>

- Shaafi, T., & Velraj, R. (2015). Influence of alumina nanoparticles, ethanol and isopropanol blend as additive with diesel-soybean biodiesel blend fuel: Combustion, engine performance and emissions. *Renewable Energy*, 80, 655–663. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2015.02.042>
- Sivakumar, M., Shanmuga Sundaram, N., Ramesh kumar, R., & Syed Thasthagir, M. H. (2018). Effect of aluminium oxide nanoparticles blended pongamia methyl ester on performance, combustion and emission characteristics of diesel engine. *Renewable Energy*, 116, 518–526. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2017.10.002>
- Sudarsanam, M., & Jayaprabakar, J. (2024). Effect of Alumina and Bio-Based Calcium Oxide Nanoadditives on Reduction of Emissions and Performance Improvement in a Common Rail Direct Injection Diesel Engine Fueled with B20 Blend of Waste Cooking Oil Biodiesel. *Energy Technology*. <https://doi.org/10.1002/ente.202301107>
- Vellaiyan, S. (2019). Enhancement in combustion, performance, and emission characteristics of a diesel engine fueled with diesel, biodiesel, and its blends by using nanoadditive. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 9561–9573. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04356-2>
- Wei, J., Yin, Z., Wang, C., Lv, G., Zhuang, Y., Li, X., & Wu, H. (2021). Impact of aluminium oxide nanoparticles as an additive in diesel-methanol blends on a modern DI diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 185, 116372. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2020.116372>
- Wu, Q., Xie, X., Wang, Y., & Roskilly, T. (2018). Effect of carbon coated aluminum nanoparticles as additive to biodiesel-diesel blends on performance and emission characteristics of diesel engine. *Applied Energy*, 221, 597–604. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2018.03.157>