

## Penerapan Kontrol Suhu PID pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jarak (*Ricinus Communis*) dengan Katalis Koh (0,75%, 1% W/W) dan ZNO (0,7%, 0,8% W/W)

Nikolaus Dharmawan Dharsono<sup>1</sup>  
Rifki Hermana<sup>2</sup>  
Slamet Supriyadi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Persatuan Guru Republik Indonesia, Jl. Sidodadi Timur Jalan Dokter Cipto No.24, Semarang

<sup>1</sup>Korespondensi penulis: nikolauz.dd@gmail.com

**Article Info:** Received: February 25, 2026; Accepted: May 14, 2026; Available online: May 15, 2026  
**DOI:** 10.30588/jeemm.v10i1.2626

**Abstract:** Biodiesel is an alternative fuel derived from renewable sources, one of which is castor oil. In previous studies, the biodiesel production process at the laboratory scale was still carried out using manual heating with an electric stove. In addition, earlier research generally used only single type of catalyst, either KOH or ZnO. To overcome the limitations of manual temperature control, this study applies temperature control system using PID autotuning autonics controller to automate temperature reaction. This research apply further modification by combining KOH (0.75% w/w and 1% w/w) with ZnO (0.7% w/w and 0.8% w/w) in the production of biodiesel from castor oil. The research aims to optimize biodiesel yield through the application of a PID-based temperature control system in the transesterification reaction using various catalyst combinations. The resulting biodiesel (B30) from the transesterification process is then tested directly on a diesel engine. The temperature control results using the autonics controller produced PID parameters of  $P = 4.3$ ,  $I = 208$  s, and  $D = 36$  s. The temperature control system response shows overshoot of 61 °C, rise time of 16 minutes, settling time of 24 minutes, and steady-state error of 0.6 °C. The PID temperature control can replaced manual control by providing a more stable temperature and eliminating reliance on manual adjustments. The highest biodiesel yield was obtained using a combination of 1% w/w KOH and 0.7% w/w ZnO catalysts reaching 91.25%. Interaction between KOH and ZnO tended to reduce yield, indicating that KOH is less suitable when used directly together with ZnO. The biodiesel consumption from the reaction is 270 ml/hour which is lower than that of biosolar at 300 ml/hour.

**Keywords:** biodiesel, catalyst, PID, system response, transesterification, yield

**Abstrak:** Biodiesel adalah salah satu bahan bakar alternatif yang berasal dari sumber terbarukan, salah satunya minyak jarak. Pada penelitian sebelumnya proses pembuatan biodiesel masih dilakukan pemanasan secara manual pada skala laboratorium dengan kompor listrik. Selain itu pada penelitian terdahulu hanya menggunakan salah satu jenis katalis saja baik katalis KOH maupun katalis ZnO. Untuk mengatasi kontrol suhu yang manual maka akan diterapkan sistem kontrol suhu dengan PID autotuning kontroler autonics untuk otomasi pengendalian suhu reaksi. Penelitian ini akan melakukan modifikasi lebih lanjut penggunaan katalis dengan menggabungkan katalis KOH (0,75%w/w dan 1% w/w) dengan ZnO (0,7% w/w dan 0,8% w/w) pada pembuatan biodiesel dari minyak jarak. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan *yield* biodiesel melalui penerapan kontrol suhu berbasis PID pada reaksi transesterifikasi dengan berbagai kombinasi katalis. Biodiesel (B30) hasil reaksi transesterifikasi akan diuji langsung pada mesin diesel untuk melihat nilai kepraktisannya. Hasil kontrol suhu menggunakan kontroler autonics nilai parameter  $P = 4,3$ ,  $I = 208$  s, dan  $D = 36$  s. Respon sistem suhu dengan parameter tersebut mengalami *overshoot* pada suhu 61 °C, *rise time* 16 menit, *settling time* 24 menit dan *steady state error* 0,6 °C. Hasil pengendalian suhu menggunakan PID mampu menggantikan kontrol manual karena menghasilkan suhu yang stabil dan tidak bergantung pada penyesuaian suhu secara manual. Yield dari biodiesel paling tinggi didapatkan dari penggunaan katalis KOH 1% w/w dan ZnO 0,7%w/w yaitu 91,25%. Interaksi katalis KOH dan ZnO membuat penurunan yield biodiesel sehingga katalis KOH kurang sesuai jika digunakan langsung dengan katalis ZnO. Penggunaan biodiesel hasil reaksi yaitu 270 ml/jam, lebih kecil daripada biosolar yaitu 300 ml/jam.

**Kata kunci:** biodiesel, katalis, PID, respon sistem, transesterifikasi, *yield*

### I. Pendahuluan

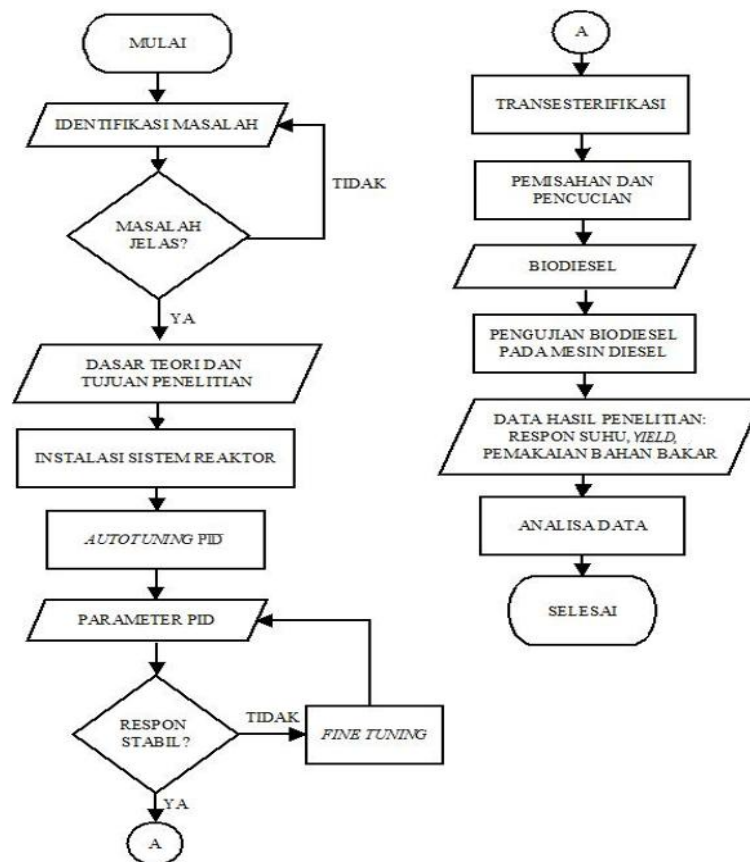
Biodiesel merupakan bahan bakar terbarukan yang tersusun atas metil ester asam lemak dan umumnya diproduksi melalui proses transesterifikasi minyak nabati atau lemak hewani. Minyak jarak (*castor oil*) menjadi salah satu bahan baku potensial karena ketersediaannya yang melimpah dan sifat kimianya yang mendukung proses konversi. Proses transesterifikasi biasanya menggunakan katalis basa seperti kalium hidroksida (KOH) atau natrium hidroksida (NaOH), sedangkan katalis heterogen seperti zink oksida (ZnO) juga telah menunjukkan efektivitas tinggi dalam meningkatkan *yield* biodiesel. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa KOH 1% pada suhu 60 °C dan ZnO 0,7% pada 65 °C mampu menghasilkan *yield* hingga 95%. Namun, sistem pemanasan yang digunakan masih bersifat manual sehingga kurang stabil dalam menjaga suhu reaksi.

Penelitian ini mengembangkan produksi biodiesel dari minyak jarak melalui kombinasi katalis KOH dan ZnO serta menerapkan sistem kontrol suhu otomatis menggunakan kontroler PID Autonics. Variasi katalis yang digunakan adalah KOH (0,75% dan 1%) serta ZnO (0,7% dan 0,8%), dengan suhu reaksi 60 °C selama 50 menit dan rasio metanol:minyak 9:1. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi performa biodiesel yang dihasilkan melalui pengujian bahan bakar B30 pada mesin diesel tanpa beban.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan *yield* biodiesel melalui penerapan kontrol suhu berbasis PID pada reaksi transesterifikasi dengan berbagai kombinasi katalis. Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi dalam pemanfaatan minyak jarak sebagai biodiesel dan menjadi rujukan untuk pengembangan reaktor biodiesel skala pilot.

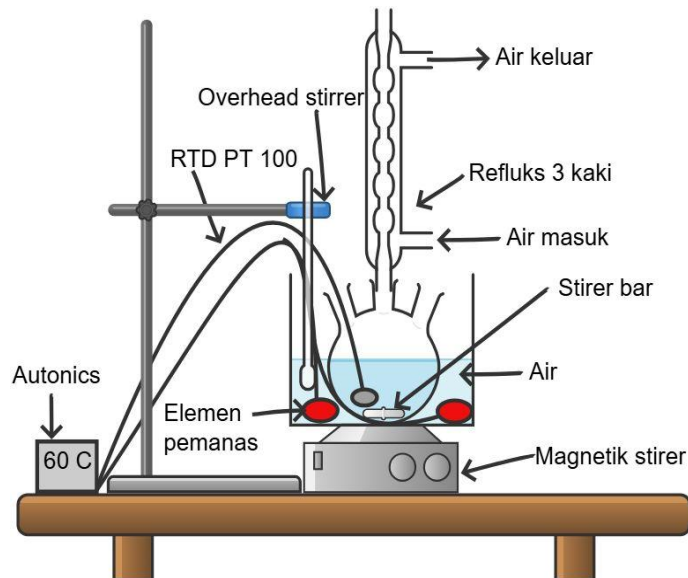
### II. Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah : kalium hidroksida, zink oksida, metanol, minyak jarak, NaOH, air suling, etanol 96%, indikator PP (*Fenolftalein*), pertamina dex, biosolar. Diagram alur penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Prosedur pembuatan biodiesel dimulai dengan menganalisa kadar asam lemak bebas pada bahan baku minyak jarak (*ricinus communis*). Setelah itu mereaksikan minyak jarak dan metanol ke reaktor dalam reaktor lalu katalis KOH dan ZnO dimasukkan ke reaktor. Sistem pengadukan reaktor menggunakan *stirrer bar*. Pemanasan menggunakan pemanasan tidak langsung dengan media pemanas adalah air. Setelah semua bahan dimasukkan lalu autonics dinyalakan. Sistem kontrol suhu akan menaikkan suhu di dalam reaktor sampai ke suhu 60 °C, suhu dijaga pada 60 °C karena pada kondisi tersebut reaksi transesterifikasi berlangsung optimal sehingga dapat meningkatkan laju reaksi dan mendukung peningkatan *yield* biodiesel. Selama proses berlangsung pendingin *refluks* berfungsi untuk mendinginkan metanol yang menguap. Waktu reaksi adalah 50 menit, setelah 50 menit reaktor dimatikan dan hasil reaksi dimasukkan ke corong pemisah untuk dilakukan pemurnian lalu setelah itu dilakukan pengeringan. Rancangan alat yang akan digunakan untuk penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Rancangan Alat Penelitian

Rancangan percobaan katalis pada penelitian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Katalis Penelitian

Percobaan	KOH %(w/w)	ZnO %(w/w)
1	0,75	0,7
2	0,75	0,8
3	1	0,7
4	1	0,8
kontrol	0	0

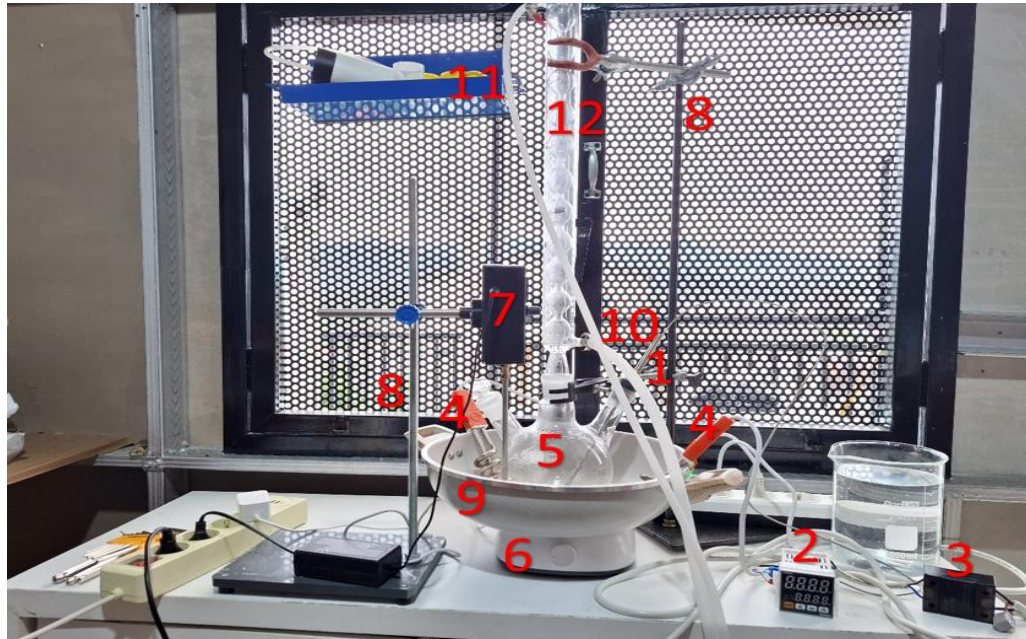
### III. Hasil dan Pembahasan

#### 1. Kadar Asam Lemak Bebas

Kadar asam lemak bebas pada minyak jarak adalah 1,408%. Karena kadar asam lemak bebas <2% maka minyak jarak bisa langsung diubah menjadi biodiesel dengan reaksi transesterifikasi.

#### 2. Realisasi Sistem Reaktor dan Respon Sistem Suhu Reaktor

Realisasi sistem reaktor dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Reaktor Biodiesel dengan Kontroler Autronics

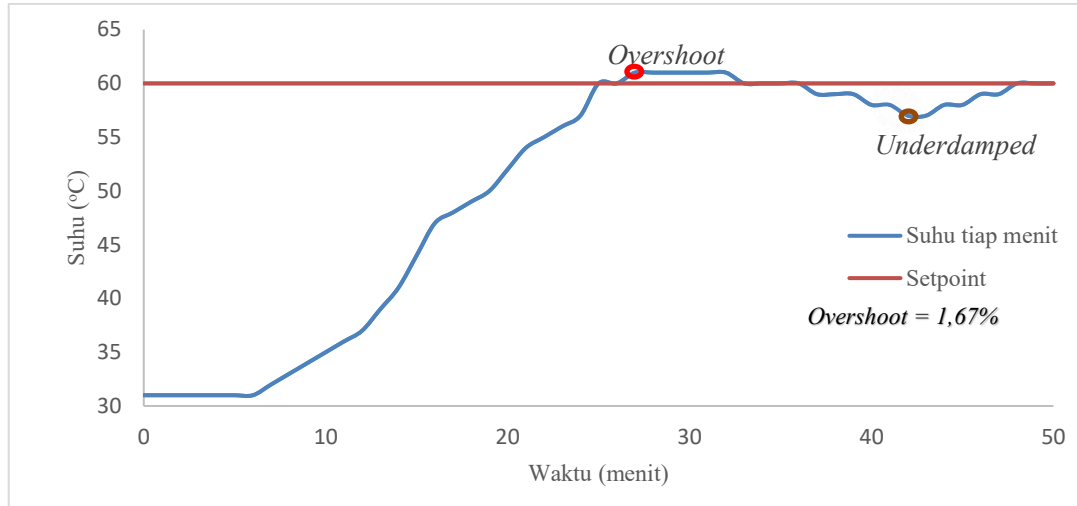
Keterangan pada gambar : 1.sensor suhu tipe *resistance temperature detector* PT100, 2. kontroler autronics TCN4S, 3. *solid state relay*, 4. elemen pemanas 600W, 5. labu leher tiga, 6. *magnetic stirrer*, 7. *overhead stirrer*, 8. klem statif, 9. panci pemanas, 10. selang air masuk, 11. selang air keluar, 12. kondensor.

Parameter PID awal didapatkan dengan menggunakan *autotuning* dari alat autronics yang dilanjutkan dengan *finetuning*. *Tuning* parameter PID dapat dilihat pada tabel 2. Sistem respon suhu dari parameter PID terbaik dapat dilihat pada gambar 4.

Tabel 2. *Finetuning* sistem kontrol suhu PID

Proses	P	I (detik)	D (detik)	Rise time (menit)	Overshoot (°C)	Settling time (menit)	Steady state error (°C)
<i>Autotuning</i>	4,7	308	16	15	64	28	0,71
<i>Fine tuning</i> 1	4,5	308	16	17	64	41	2
<i>Fine tuning</i> 2	4,3	308	16	17	63	42	1,6
<i>Fine tuning</i> 3	4,3	258	16	19	63	39	1
<i>Fine tuning</i> 4	4,3	158	16	16	63	39	0,92
<i>Fine tuning</i> 5	4,3	208	16	17	62	38	0,5
<i>Fine tuning</i> 6	4,2	208	16	18	62	37	0,69
<i>Fine tuning</i> 7	4,2	208	26	20	62	27	0,71
<i>Fine tuning</i> 8	4,2	208	46	21	61	26	0,833
<i>Fine tuning</i> 9	4,2	208	36	17	61	26	0,77
<b><i>Fine tuning</i> 10</b>	<b>4,3</b>	<b>208</b>	<b>36</b>	<b>16</b>	<b>61</b>	<b>24</b>	<b>0,6</b>

Dari hasil respon sistem suhu maka parameter *fine tuning* ke 10 digunakan untuk proses reaksi transesterifikasi karena parameter tersebut mengalami *overshoot* yaitu 61 °C yang mendekati suhu setpoint 60 °C atau naik sebesar 1,67% dari *setpoint* dan parameter PID dari *fine tuning* 10 menunjukkan respon sistem suhu yang baik dengan *rise time* 16 menit, *settling time* 24 menit dan *steady state error* 0,6 °C dibandingkan parameter lainnya. Nilai-nilai parameter tersebut ditampilkan pada mode tampilan pengaturan pada perangkat autonics. Parameter yang digunakan yaitu P = 4,3, I = 208 detik, D = 36 detik.

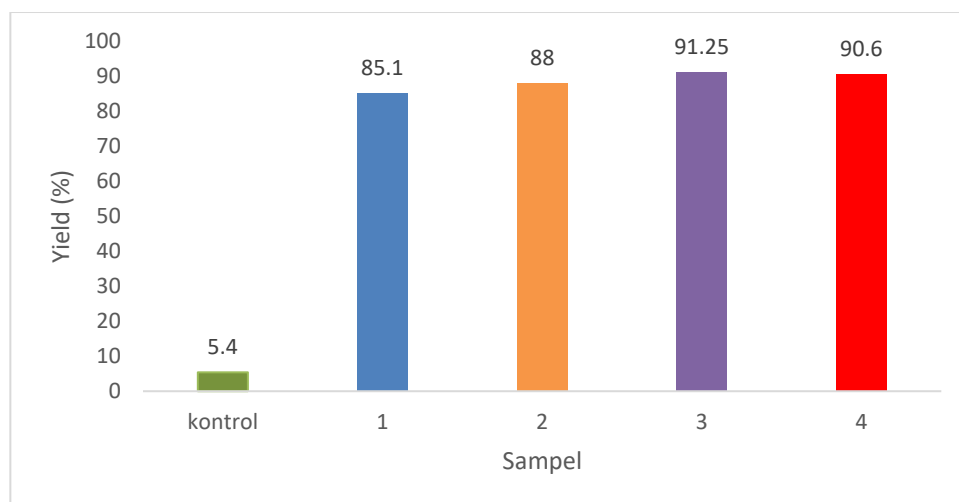


Gambar 4. Sistem Respon Kontrol Suhu Reaktor

Hasil *finetuning* menghasilkan parameter PID yaitu P = 4,3, I = 208 detik, D = 36 detik. Hasil pengujian kontrol suhu menunjukkan bahwa suhu maksimum yang dicapai adalah 61 °C dengan *overshoot* sebesar 1,67% (sekitar 1 °C di atas *setpoint*). *Rise time* 16 menit, *settling time* 24 menit dan *steady state error* 0,6 °C Sistem memiliki *dead time* sekitar 6 menit sebelum suhu mulai meningkat, dipengaruhi oleh viskositas minyak jarak yang masih tinggi pada awal pemanasan. Suhu sempat turun hingga 57 °C pada menit ke-41 hingga menit ke-44, dengan *dead band* berada pada kisaran 57–61 °C ( $\pm 2,5$  °C dari *setpoint*). Respon kontrol menunjukkan karakteristik *underdamped* ringan dan tetap stabil tanpa osilasi besar. Secara keseluruhan, kontroler PID autotuning mampu menjaga kestabilan suhu reaktor dan mengembalikan suhu ke *setpoint* meskipun terjadi fluktuasi selama proses.

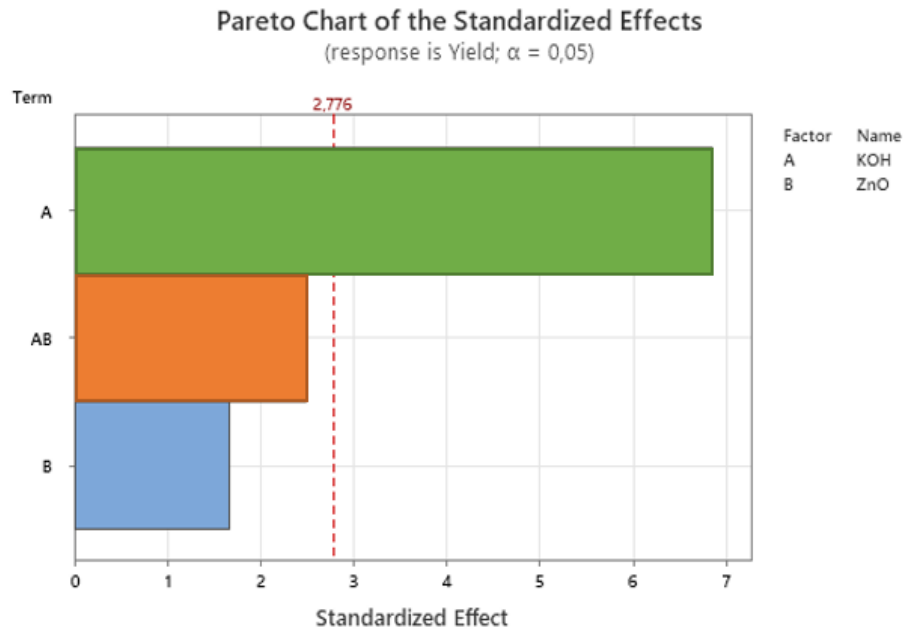
### 3. Yield Biodiesel

*Yield* biodiesel pada penelitian dapat pada gambar 5.



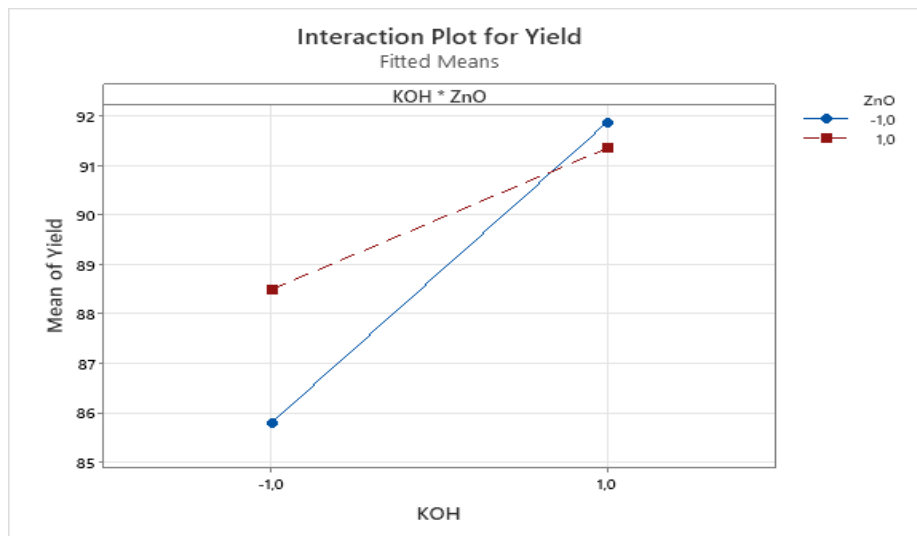
Gambar 5. Yield Biodiesel

Data pada Gambar 5 diperoleh dari hasil eksperimen transesterifikasi biodiesel menggunakan variasi kombinasi katalis. Sampel kontrol merupakan proses tanpa katalis, sedangkan sampel 1 sampai 4 merupakan hasil variasi penggunaan konsentrasi katalis. *Yield* biodiesel dihitung berdasarkan perbandingan massa produk biodiesel yang dihasilkan setelah pemurnian terhadap massa minyak jarak sebelum transesterifikasi. *Yield* paling besar terdapat pada sampel 3 dengan *yield* 91,25%. Komposisi sampel 3 adalah KOH 1 %w/w dan ZnO 0,7 %w/w . Dari hasil *yield* ini dianalisa untuk mengetahui pengaruh katalis yang digunakan menggunakan *software* minitab. Hasil signifikansi katalis dari analisa minitab dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Sigfinikasi Katalis

Dari gambar pareto dapat dilihat bahwa katalis KOH yang paling signifikan, melewati batas signifikansi sedangkan katalis ZnO dan gabungan katalis KOH-ZnO tidak begitu signifikan terhadap *yield* biodiesel. Hal ini diperkuat dari gambar interaksi katalis yang dapat dilihat pada gambar 7.



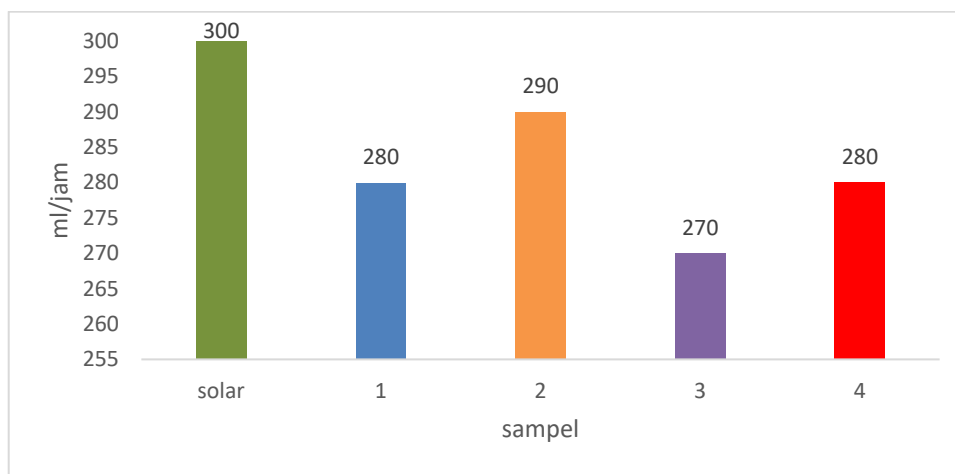
Gambar 7. Interaksi Katalis KOH-ZnO

Berdasarkan grafik interaksi, terlihat bahwa penggunaan ZnO 1 (0,8%) cenderung menurunkan *yield* biodiesel. Penurunan ini terjadi karena katalis KOH dan ZnO dicampurkan secara langsung tanpa

proses peleburan katalis terlebih dahulu. Kondisi tersebut menyebabkan ZnO tidak berperan sebagai katalis yang mendukung reaksi, tetapi justru menghambat kontak antara KOH dan metanol dalam proses pembentukan metoksida, senyawa yang berperan penting dalam reaksi transesterifikasi. Akibatnya katalis ZnO bertindak sebagai inhibitor dan menurunkan efektivitas katalis KOH karena ZnO memiliki energi aktivasi yang lebih tinggi pada reaksi. Untuk menghindari efek penghambatan tersebut maka diperlukan proses peleburan terlebih dahulu agar KOH dan ZnO dapat berinteraksi secara sinergis dalam reaktor.

#### IV. Penggunaan Bahan Bakar pada Mesin Diesel

Biodiesel dari hasil penelitian dilakukan pengujian untuk mengetahui pemakaian dari bahan bakar per jamnya dan dibandingkan dengan bahan bakar solar B30. Biodiesel dicampur dengan Pertamina Dex dengan perbandingan 300 ml biodiesel : 700 ml Pertamina Dex untuk mendapatkan campuran B30. Pengujian bahan bakar menggunakan mesin diesel Changfa R180B dengan spesifikasi 1h output 5.67 kW, 2600 r/min. Hasil pengujian bahan bakar biodiesel dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pemakaian Biodiesel per Jam

Data konsumsi bahan bakar yang disajikan pada Gambar 8 diperoleh melalui pengujian biodiesel pada mesin diesel dengan kondisi tanpa beban. Pengukuran volume pemakaian bahan bakar dilakukan selama 60 menit dengan volume bahan bakar 1 liter untuk setiap jenis sampel guna mendapatkan nilai konsumsi rata-rata dalam satuan ml/jam. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa sampel 3 memiliki pemakaian bahan bakar yang paling kecil yaitu 270 ml/jam. Pada sampel 3 konsumsi bahan bakar lebih kecil 10% daripada bahan bakar solar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel 3 dengan spesifikasi B30 pemakaian bahan bakar untuk mesin diesel lebih hemat 10% dari bahan bakar solar. Pada sampel 2 dan 4 dengan kadar ZnO yang lebih tinggi, terdapat sisa katalis ZnO masih terbawa dalam biodiesel akibat proses pemisahan yang kurang sempurna. Keberadaan residu ZnO ini dapat menurunkan kemurnian biodiesel, sehingga kualitas pembakaran menjadi kurang optimal dan berpotensi meningkatkan konsumsi bahan bakar.

Sampel 3 dengan kadar ZnO yang lebih rendah hasil biodiesel memiliki kemurnian yang lebih baik sehingga proses pembakaran di dalam mesin diesel lebih efisien dan menurunkan konsumsi bahan bakar. Dari hasil pengujian bahan bakar dapat disimpulkan bahwa biodiesel B30 pada sampel 3 lebih hemat sekitar 10% dibandingkan biosolar dengan pemakaian bahan bakar 300 ml/jam. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa penggunaan ZnO dalam jumlah yang lebih banyak dapat menurunkan efisiensi pembakaran karena residu katalis ZnO masih tersisa dalam biodiesel. Hal ini disebabkan karena katalis ZnO tidak tercampur secara sempurna dengan air selama proses pencucian sehingga masih terdapat sisa katalis yang terbawa dalam biodiesel.

#### V. Kesimpulan

Hasil autotuning menggunakan autonics didapatkan parameter P yaitu 4,3, parameter I yaitu 208

detik dan parameter D yaitu 36 detik. *Overshoot* sistem respon pada suhu 61 °C, *rise time* 16 menit, *settling time* 24 menit dan *steady state error* 0,6 °C. Sistem PID mampu menggantikan kontrol suhu manual karena memberikan kontrol suhu yang stabil selama reaksi. *Yield* biodiesel didapatkan bahwa sampel yang memiliki *yield* paling tinggi adalah sampel 3 (KOH 1%w/w dan ZnO 0,7%w/w) dengan *yield* 91,25 %. Interaksi antara katalis KOH dan ZnO membuat penurunan *yield* biodiesel sehingga katalis KOH kurang sesuai jika digunakan langsung dengan katalis ZnO. Pemakaian biodiesel paling kecil terdapat pada sampel 3 yaitu 270 ml/jam. Pada sampel 3 konsumsi bahan bakar lebih kecil 10% daripada bahan bakar solar yaitu 300 ml/jam.

#### Daftar Pustaka

- Adhari, H., Yusnimar, & Utami, S. P. (2016). Pemanfaatan minyak jelantah menjadi biodiesel dengan katalis ZnO presipitan zinc karbonat: Pengaruh waktu reaksi dan jumlah katalis. *Jom FTEKNIK*, 3(2), 1–7. Fakultas Teknik, Universitas Riau.
- Al-Ghani, R., Nandiyanto, A. B. D., & Kurniawan, T. (2023). Design of biodiesel reactor using nanocatalyst ZnO from castor oil. *Journal of Mechanical and Electrical Technology*, 2(1), 1–7.
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., & Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), 2070–2093. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.003>
- Astmaiya, M., Azhari, A., & Jalaluddin, J. (2023). Ekstraksi dan karakterisasi minyak biji jarak pagar (*Jatropha curcas* L) dan biji jarak kepyar (*Ricinus communis*) dengan menggunakan pelarut petroleum eter. *Journal of Biodiesel Research and Innovation*, 1(1). <https://doi.org/10.29103/jbrain.v1i1.13380>.
- Banurea, M., Tanjung, D. I. Y., Pratama, M., Arifin, I., & Dongoran, M. R. R. (2025). Efisiensi penggunaan bahan bakar biodiesel B40, untuk kebutuhan dunia industri dan transportasi. *Mars: Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Ilmu Komputer*, 3(1), 114–119. <https://doi.org/10.61132/mars.v2i6.601>
- Dewi, S. W., Pauzi, G. A., Junaidi, & Suciwati, S. W. (2022). Furnace control system using the TCN4S temperature controller. *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 3(3).
- European Committee for Standardization. (2012). Liquid petroleum products – Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines and heating applications – Requirements and test methods (EN 14214:2012). Brussels: CEN.
- Indra Darmawan, F. (2013). Proses produksi biodiesel dari minyak jelantah dengan metode pencucian dry-wash sistem (Vol. 2). Universitas Negeri Surabaya.
- Keera, S. T., El Sabagh, S. M., & Taman, R. (2018). Castor oil biodiesel production and optimization. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 979–984. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.03.004>
- Meher, L. C., Vidya Sagar, D., & Naik, S. N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(3), 248–268. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.09.002>
- Mittelbach, M., & Renschmidt, C. (2004). Biodiesel: The comprehensive handbook. Vienna: Martin Mittelbach.
- Oko, S., & Dzahabiah, H. (2019). Pengaruh rasio mol dan waktu reaksi pada sintesis biodiesel dari minyak jarak dengan menggunakan katalis CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2019* (hlm. 17–21). Politeknik Negeri Samarinda. ISBN: 978-602-60766-7-0.
- Permata Lestari, L., & Sylvia, N. (2021). Pengaruh suhu dan waktu reaksi transesterifikasi minyak jarak kepyar (castor oil) terhadap metil ester dengan menggunakan katalis abu tandan kelapa sawit. *Chemical Engineering Journal Storage*, 1(2).

- Prasetyo, D. H. T., Ilminnafik, N., & Muhammad, A. (2022). The effect of the transesterification process using KOH catalyst on the characteristics of biodiesel from *Sterculia foetida* seeds as an alternative fuel. *Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP)*, 10(3), 253–267. <https://doi.org/10.19028/jtep.10.3.253-267>
- Putri, D. R., Irwan, Muh., & Nadir, M. (2024). Pengaruh jenis katalis pada pembuatan biodiesel dari minyak jelantah. *Dalton: Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*, 7(2), 108. <https://doi.org/10.31602/dl.v7i2.15158>
- Puspitaningati, S. R., Permatasari, R., & Gunardi, I. (2013). Pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit dengan menggunakan katalis berpromotor ganda berpenyangga  $\gamma$ -alumina ( $\text{CaO/KI}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) dalam reaktor fluidized bed.
- Salamah, S. (2011). Pemanfaatan limbah industri kapuk untuk pembuatan bahan bakar alternatif biodiesel dengan proses transesterifikasi. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pemerintah Provinsi DIY*, 3(4), 75–80.
- Sudjana, (2002), *Metoda Statistik*, Tarsito, Bandung.
- Suryanto, & Rahman, A. (2021). Pengaruh penggunaan bahan bakar biodiesel pada sistem injector mesin diesel. In *Prosiding 5th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat. Politeknik Negeri Ujung Pandang*. ISBN 978-623-98762-1-0. *Jurnal Teknik POMITS*, 2(2), F-193. ISSN: 2337-3539 (Online), 2301-9271.
- Yusuf, A. K., Mamza, P., Ahmed, A. S., Mamza, P. A. P., Ahmed, A. S., & Agunwa, U. (2015). Extraction and characterization of castor seed oil from wild *Ricinus communis* Linn. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(5), 1392–1404.
- Verma, P., & Sharma, M. P. (2016). Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1063–1071. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.054>
- Wulandari, D. A., Wardoyo, Syaefuddin, E. A., Indrawan, A. D., Sholehudin, F., Dhiyaulhaq, N. R., Setianto, R., & Melando, E. (2023). Pengolahan minyak jelantah menjadi biodiesel sebagai upaya pemberdayaan masyarakat pesisir. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian kepada Masyarakat (SNPPM-2023)* (hlm. 316–324). Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
- Zaki, A., Wuryandari, T., & Suparti. (2014). Analisis varian percobaan faktorial dua faktor RAKL dengan metode Fixed Additive Main Effects and Multiplicative Interaction. *Jurnal Gaussian*, 3(4), 529–536. ISSN: 2339-2541.