

SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH DALAM REAKTOR ULTRASONIK

Tiara Priscilla¹, Muh. Irwan², Zainal Arifin²

¹Program Studi Terapan Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda, Indonesia;

²Program Studi Petro dan Oleo Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda, Indonesia;

Email : tiaraprisillaa@gmail.com (T.P), irwan_tl05@yahoo.co.id (M.I), zainalarifin@polnes.ac.id (Z.A);

Abstrak : Minyak jelantah dianggap alternatif yang menjanjikan untuk produksi biodiesel sebagai pengganti bahan bakar diesel karena ramah lingkungan, dapat terurai secara hayati, tidak beracun, dan sumber energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi operasi optimum reaktor ultrasonik pada produksi biodiesel menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM). RSM dengan desain CCD digunakan untuk mengetahui pengaruh jarak transduser (1-5 cm) dan waktu reaksi (5-20 menit) terhadap yield biodiesel, menentukan parameter operasi yang paling penting serta mengoptimalkan hasil biodiesel. Dalam penelitian ini, minyak jelantah ditransesterifikasi menjadi biodiesel dengan gelombang ultrasonik untuk mengintensifkan reaksi. Transesterifikasi minyak jelantah dilakukan dengan katalis natrium hidroksida menggunakan metanol. Larutan dimasukkan ke dalam erlenmeyer dengan jarak transduser dan waktu reaksi yang telah ditentukan oleh RSM. Setelah waktu reaksi tercapai, campuran biodiesel dan gliserol dipisahkan dalam corong pisah. Biodiesel yang diperoleh kemudian dicuci dan diuapkan sisa pelarutnya. Yield biodiesel diperoleh sebesar 88,33% pada kondisi optimal jarak transduser 1 cm dengan waktu reaksi 20 menit. Waktu reaksi merupakan parameter yang paling penting berdasarkan uji ANOVA. Sifat-sifat biodiesel yang dihasilkan termasuk viskositas kinematik, massa jenis, angka asam, kadar metil ester dan kadar monogliserida telah memenuhi persyaratan standar SNI 7182:2015.

Kata Kunci : biodiesel, RSM, transesterifikasi, transduser, ultrasonik

Abstract : Waste cooking oil is considered promising alternative to biodiesel production as substitute for diesel fuel because it is environmentally friendly, biodegradable, non-toxic, and renewable energy source. This study aims to obtain the optimum operating conditions of ultrasonic reactors in biodiesel production using Response Surface Methodology (RSM) method. RSM with CCD was used to determine effect of transducer distance (1-5 cm) and reaction time (5-20 minutes) on biodiesel yield, to determine optimal operating conditions and to

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2024, Vol. 5, No. 1, pp 44 – 56

Received : 25 Januari 2024

Accepted : 26 Februari 2024

Published : 18 Maret 2024



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).

optimize biodiesel yield. In this study, waste cooking oil was transesterified into biodiesel with ultrasonic waves to intensify reaction. Transesterification waste cooking oil was carried out in a sodium hydroxide catalyst using methanol. Solution inserted into the erlenmeyer with the transducer distance and reaction time to determined by RSM. Once the reaction time was reached, mixture of biodiesel and glycerol was separated in separate funnel. Biodiesel obtained was then washed and evaporated the remaining solvent. Biodiesel yield was obtained under 88.33% under optimal conditions of 1 cm transducer distance with reaction time 20 minutes. Reaction time was the most important parameter based on the ANOVA test. The properties biodiesel produced including kinematic viscosity, density, acid number, methyl ester contents and monoglycerida have met the requirements of standards SNI 7182: 2015.

Keywords : *biodiesel, RSM, transesterification, transducer, ultrasonic*

1. Pendahuluan

Kebutuhan minyak bumi yang semakin meningkat merupakan tantangan yang perlu diantisipasi dengan pencarian alternatif sumber energi lain yang dapat diperbarui. Salah satu jenis bahan bakar pengganti yang sangat potensial untuk dikembangkan ialah *fatty acid methyl ester* (FAME) atau dikenal dengan nama biodiesel (Wahyuni dkk., 2011). Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang menjanjikan, dapat diperoleh dari minyak tumbuhan, lemak binatang atau minyak bekas melalui reaksi transesterifikasi dengan alkohol (Szybist et al., 2005).

Pada saat ini, biodiesel semakin mendapat perhatian sebagai pengganti solar karena menghasilkan pembakaran yang ramah lingkungan, memiliki sifat fisiokimia yang mirip dengan solar, bersifat terbarukan, dapat terurai secara hayati, dan tidak beracun (Aghbashlo et al., 2016). Biodiesel juga memiliki titik nyala yang relatif tinggi (150°C), yang membuatnya tidak mudah menguap dan lebih aman dalam pengangkutan atau penanganan daripada bahan bakar diesel berbasis minyak bumi. Secara singkat, kelebihan-kelebihan biodiesel ini menjadikannya alternatif yang baik untuk bahan bakar berbasis minyak bumi.

Namun, terdapat kendala dalam memproduksi biodiesel yaitu terkait dengan bahan baku, karena memproduksi biodiesel dari minyak nabati yang dapat dikonsumsi tidak efisien secara biaya dan menyebabkan kelangkaan pangan. Minyak nabati yang tidak dapat dikonsumsi, lemak hewan dan minyak jelantah adalah bahan baku yang menjanjikan untuk produksi biodiesel (Suzihaque et al., 2022). Produksi biodiesel dari minyak jelantah juga ramah lingkungan karena dapat mendaur ulang minyak jelantah sehingga membantu mengatasi masalah pembuangan limbah minyak. Salah satu cara pengolahan biodiesel dari minyak jelantah dapat dilakukan menggunakan reaksi transesterifikasi.

Transesterifikasi trigliserida atau asam lemak dengan alkohol menggunakan katalis homogen maupun heterogen dalam reaktor yang diaduk secara mekanis merupakan salah satu prosedur transesterifikasi paling populer untuk mensintesis biodiesel dari berbagai bahan baku. Namun, metode pengadukan mekanis memerlukan waktu proses yang lama dan energi yang besar untuk meningkatkan reaksi antara alkohol dan minyak (Aghbashlo et al., 2016). Sehingga untuk mempercepat reaksi transesterifikasi berbagai teknik telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi reaksi transesterifikasi, salah satunya melalui gelombang ultrasonik.

Diantara teknologi pengolahan biodiesel yang dikembangkan hingga saat ini, metode transesterifikasi menggunakan ultrasonik dianggap sebagai salah satu teknologi intensifikasi proses

yang paling menjanjikan karena memerlukan biaya yang rendah dan dapat meningkatkan hasil biodiesel (Aghbashlo et al., 2016). Gelombang ultrasonik secara efisien dapat mengurangi waktu dan suhu proses yang diperlukan dibandingkan dengan proses transesterifikasi yang diaduk secara mekanis melalui penguatan perpindahan massa sistem cair-cair (Yin et al., 2012). Pemanfaatan teknologi ultrasonik menghasilkan efek kavitasi yang dapat meningkatkan kecepatan reaksi transesterifikasi hingga 100 kali lipat. Sehingga diperoleh konversi biodiesel yang lebih tinggi dalam waktu yang lebih singkat (Oliveira et al., 2018).

Selain pentingnya pemilihan metode untuk reaksi transesterifikasi, diperlukan optimasi proses produksi biodiesel untuk mencapai hasil produksi biodiesel yang optimal dan efisien. Penelitian terdahulu telah banyak mengoptimasikan parameter-parameter produksi biodiesel seperti rasio molar alkohol/minyak, waktu reaksi, suhu reaktor, amplitudo, jenis katalis, jenis alkohol, jenis bahan baku, kecepatan pengadukkan, dan konsentrasi katalis (Aghbashlo et al., 2016; Delavari et al., 2015; Amaniampong & Tongurai, 2011; Belkhanchi et al., 2021; Mbah et al., 2021; Mahesh et al., 2021). Namun sejauh penelusuran literatur yang dilakukan, belum ditemukan hasil penelitian optimalisasi parameter jarak transduser dan waktu reaksi pada sintesis biodiesel. Sehingga penelitian ini mengisi kesenjangan pengetahuan mengenai optimasi jarak transduser dan waktu reaksi pada sintesis biodiesel dari minyak jelantah dalam reaktor ultrasonik. Pada penelitian ini, analisis dan optimasi jarak transduser dan waktu reaksi dilakukan menggunakan perangkat lunak *Response Surface Methodology* (RSM) dari StatEase menggunakan *Central Composite Design*.

Dalam hal ini, banyak upaya penelitian yang telah dilakukan untuk produksi biodiesel dari beberapa bahan baku dalam beberapa tahun terakhir. Contohnya, Mantovani (2017) melakukan proses transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel pada suhu 80°C menggunakan metode pengadukkan dengan katalis CaO dari kulit telur. Suryanto et al., (2018) melakukan penelitian terhadap pengaruh konsentrasi katalis NaOH dan waktu reaksi transesterifikasi biodiesel dari minyak biji kapuk dengan metode ultrasonik. Pada penelitian lain, Wong et al., (2015) menggunakan metode permukaan respon atau *Response Surface Methodology* (RSM) dengan jenis *Central Composite Design* (CCD) untuk menentukan kondisi operasi optimal dan mengoptimalkan hasil biodiesel. Minyak sawit dan calcium-niobium (CaO-Nb₂O₅) digunakan sebagai bahan baku dan katalis dalam penelitian ini. Reaksi transesterifikasi menggunakan metode refluks yang dilengkapi dengan reflux condenser dan *magnetic stirrer*.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah menentukan parameter operasi jarak transduser dan waktu reaksi yang paling penting untuk produksi biodiesel dalam reaktor ultrasonik, menentukan pengaruh jarak transduser dan waktu reaksi terhadap yield biodiesel, serta mendapatkan kondisi operasi optimum reaktor ultrasonik pada produksi biodiesel berbahan baku minyak jelantah.

2. Metode

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor ultrasonik dengan daya 100 watt, ultrasonik generator, erlenmeyer 250 ml, alat gelas (gelas kimia, gelas ukur, dan corong pisah), sarung tangan, timbangan digital, *hot plate*, dan batang pengaduk. Sedangkan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak jelantah yang diperoleh dari UMKM Amplang di Kecamatan Samarinda Seberang, natrium hidroksida diperoleh dari Merck Chemical Industries, metanol tingkat analitis

dibeli dari bahan kimia industri di Kota Samarinda, akuades, etanol 95%, indikator phenolftalein, kalium hidroksida 0,1 N, dan indikator pH.

Prosedur Penelitian

Optimasi Sintesis Biodiesel Menggunakan RSM

Sintesis biodiesel dari minyak jelantah dilakukan dalam reaktor ultrasonik dengan katalis basa (NaOH) dan metanol. Reaksi transesterifikasi dipertahankan pada suhu ruangan. Rasio molar alkohol terhadap minyak sebesar 9 : 1. Konsentrasi katalis NaOH 1% dari berat dari minyak jelantah. Jarak transduser divariasikan pada rentang 1-5 cm sedangkan waktu reaksi divariasikan pada rentang 5, 10,15, dan 20 menit. 121 ml metanol dan 0,898 gram NaOH diaduk selama ± 15 menit agar homogen. Selanjutnya larutan ini dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang telah berisi 100 ml minyak jelantah. Ketika waktu reaksi telah tercapai, campuran antara biodiesel dan gliserol didiamkan selama 24 jam didalam corong pisah. Kemudian dilakukan proses pemisahan untuk mendapatkan biodiesel pada lapisan bawah serta metanol dan gliserol pada lapisan atas. Biodiesel yang diperoleh kemudian dicuci menggunakan akuades pada suhu 80°C. Proses pencucian bertujuan untuk menghilangkan alkohol dan katalis yang tidak bereaksi serta sabun yang tertinggal didalam biodiesel setelah reaksi. Perbandingan jumlah akuades yang dibutuhkan untuk pencucian biodiesel adalah 1:1 (v/v). Pencucian dihentikan bila pH akuades cucian diantara 6,8 – 7,2. Setelah itu biodiesel didiamkan selama 24 jam untuk memisahkan antara akuades dan biodiesel. Tahap akhir proses ialah proses pemanasan biodiesel yang bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa air yang berada didalam biodiesel. Pemanasan dilakukan dengan menggunakan pemanas listrik pada suhu 100°C selama 20 menit.

Uji Sifat dan Karakterisasi Biodiesel

Sifat bahan bakar seperti massa jenis pada 40°C, viskositas kinematik pada 40°C, angka asam, angka setana, kadar metil ester, dan kadar monogliserida. Pengujian massa jenis biodiesel pada 40°C, viskositas kinematik pada 40°C, dan angka asam dilakukan berdasarkan SNI 7182:2015. Sedangkan analisa angka setana dilakukan menggunakan alat Koehler Instrument K88600XL. Komposisi kimia biodiesel yang dihasilkan diselidiki dengan analisa gas chromatography. Dalam riset ini, analisa GC-MS digunakan sebagai pengukuran kualitatif dan kuantitatif untuk menganalisis kadar ester dalam biodiesel.

Desain Eksperimen

Dalam riset ini desain *Central Composite* dipilih untuk regresi dan analisis grafis data eksperimen. Perangkat lunak Desain Expert (versi 6.0.5) digunakan untuk merancang eksperimen dan melakukan regresi. Nilai kode dan nilai aktual dari variabel yang digunakan dalam desain CCD diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1.

Level dan Nilai Level

Variabel Berubah	$-\alpha$	-1	0	1	α
Jarak Transduser (cm)	0,17	1	3	5	5,83
Waktu Reaksi (menit)	1,89	5	12,5	20	23,11

Metode untuk mendapatkan variabel respon (yield biodiesel) seperti pada persamaan (1)

$$\% Yield = \frac{\text{massa biodiesel (gram)}}{\text{massa minyak jelantah (gram)}} \times 100\% \quad (1)$$

Tabel 2.

Matriks CCD Dari Dua Variabel Independen Beserta Respon Eksperimen

Run	A	B	Yield (%)
	Jarak Transduser (cm)	Waktu Reaksi (menit)	
1	3,00	12,50	85,37
2	1,00	20,00	89,06
3	3,00	1,8934	77,00
4	1,00	5,00	81,51
5	3,00	12,50	83,79
6	3,83	23,1066	85,90
7	5,00	20,00	86,15
8	3,00	12,50	83,55
9	3,00	12,50	87,68
10	5,82843	12,50	84,38
11	3,00	12,50	87,40
12	5,00	5,00	82,17
13	0,171573	12,50	86,88

3. Hasil dan Pembahasan

Analisa Kadar FFA (*Free Fatty Acid*) Minyak Jelantah

Metode penentuan kadar FFA dengan cara menimbang 5 gram minyak jelantah didalam erlenmeyer 250 ml. Kemudian menambahkan 25 ml etanol 95% kedalam erlenmeyer 250 ml yang telah berisi 5 gram minyak jelantah. Etanol 95% berfungsi untuk melarutkan asam lemak bebas yang terdapat didalam minyak jelantah. Setelah itu memanaskan larutan tersebut hingga larut pada suhu $\pm 50^{\circ}\text{C}$. Ketika minyak jelantah dan etanol 95% sudah larut kemudian menambahkan 2 tetes indikator PP. Indikator PP berfungsi untuk menunjukkan titik ekuivalen dari titrasi yang ditandai dengan adanya perubahan warna dari warna kuning menjadi merah muda. Selanjutnya titrasi dengan NaOH 0,1 N sebanyak 2,1 ml yang menghasilkan kadar FFA pada minyak jelantah sebesar 1,23%.

Menurut Dhawane et al.,(2018), untuk melakukan proses transesterifikasi diperlukan minyak jelantah dengan kadar FFA maksimum 2%. Berdasarkan tabel 4.1, kadar FFA minyak jelantah yang digunakan sebagai bahan baku dalam penelitian ini kurang dari 2% yang menyiratkan bahwa minyak jelantah dapat diolah menjadi biodiesel melalui konversi satu langkah tanpa melalui reaksi esterifikasi, dengan kata lain minyak jelantah yang digunakan dapat langsung diolah menjadi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi.

Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah

Biodiesel dari minyak jelantah disintesis menggunakan transesterifikasi katalis basa satu langkah menggunakan gelombang ultrasonik pada suhu kamar. Pemilihan teknologi ultrasonik untuk sintesis

biodiesel dari minyak jelantah karena gelombang ultrasonik menghasilkan getaran mekanik yang dapat mempercepat tumbukan antara molekul-molekul reaktan sehingga meningkatkan laju reaksi. Hal ini disebabkan oleh fenomena kavitasi, dimana gelembung-gelembung mikroskopis yang terbentuk dan meledak dalam cairan menciptakan kondisi mikrofluida yang memfasilitasi interaksi antara reaktan. Kavitasi menghasilkan aliran mikro yang kuat dan dapat membantu memecah minyak dan alkohol menjadi partikel yang lebih kecil, akibatnya partikel-partikel yang lebih kecil memungkinkan kontak yang lebih baik antara fase minyak dan fase alkohol. Sehingga dengan teknologi ultrasonik dapat menghasilkan yield biodiesel yang tinggi dengan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan metode konvensional.

Sebelum memulai penelitian, dilakukan pretreatment pada minyak jelantah dengan menyaring minyak menggunakan kain bekas untuk memisahkan partikel-partikel padat dan kotoran yang terbentuk selama proses penggorengan. Karena partikel-partikel padat dan kotoran yang terdapat dalam minyak jelantah dapat mengganggu proses reaksi transesterifikasi dan mempengaruhi kualitas biodiesel yang dihasilkan. Setelah minyak jelantah disaring kemudian membuat larutan metoksi yaitu 0,898 gram NaOH (1% dari massa minyak jelantah) dimasukkan kedalam gelas kimia 250 ml yang telah berisi 121 ml metanol dan diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 400 rpm. Menurut Lotero et al.,(2005), pembuatan larutan metoksi bertujuan untuk membentuk ion alkoksida sebagai nukleofilik untuk menyerang ikatan karbonil yang terdapat pada trigliserida didalam minyak jelantah.

Setelah itu dilanjutkan dengan pembuatan biodiesel yaitu 100 ml minyak jelantah dicampurkan dengan larutan metoksi dalam erlenmeyer 250 ml, kemudian erlenmeyer dimasukkan kedalam reaktor ultrasonik. Reaksi transesterifikasi dijalankan dengan mengatur jarak transduser dan waktu reaksi yang telah ditentukan oleh RSM. Setelah reaksi transesterifikasi selesai, campuran dipindahkan ke dalam corong pisah untuk memisahkan fasa biodiesel dan gliserol yang terbentuk. Pembentukan fasa ini disebabkan karena adanya perbedaan massa jenis antara biodiesel dan gliserol.

Setelah dipisahkan didalam corong pisah, biodiesel dicuci dengan akuades 80°C sebanyak 1:1 (v/v) dari biodiesel yang dihasilkan, hal ini bertujuan untuk menghilangkan kontaminan dan produk samping yang mungkin terbentuk selama reaksi transesterifikasi. Setelah dicuci, biodiesel didiamkan kembali didalam corong pisah selama 24 jam untuk memisahkan air yang masih tertinggal didalam biodiesel akibat proses pencucian. Kemudian biodiesel dikeringkan selama 20 menit pada suhu 100°C yang bertujuan untuk menghilangkan air yang masih terkandung didalam biodiesel.

Analisis Statistik

Perangkat lunak Desain Expert mengusulkan model kuadrat. Analisis statistik dilakukan pada model ini. Model yang disarankan bergantung pada analisis varians (ANOVA) seperti pada persamaan (2).

$$\text{Yield biodiesel} = 85,56 - 0,72A + 3,01B + 0,33A^2 - 1,76B^2 - 0,89AB \quad (2)$$

Dimana A, B masing-masing adalah jarak transduser dan waktu reaksi. Berdasarkan persamaan 2, menunjukkan bahwa respon yield biodiesel akan meningkat berbanding lurus dengan peningkatan waktu reaksi yang ditunjukkan dengan nilai konstanta positif. Namun respon yield biodiesel akan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan jarak transduser yang ditandai dengan nilai konstanta negatif. Kondisi yang ingin dicapai ialah yield biodiesel yang maksimum sehingga waktu reaksi memiliki pengaruh besar terhadap peningkatan yield biodiesel.

Tabel 3.
Analisis Model Summary Statistics

Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	2,12	0,6300	0,5560	0,3438	80,09	
2FI	2,16	0,6561	0,5415	0,3964	73,66	
<u>Quadratic</u>	<u>1,61</u>	<u>0,8506</u>	<u>0,7439</u>	<u>0,6237</u>	<u>45,92</u>	<u>Suggested</u>
Cubic	1,89	0,8534	0,6483	-0,6598	202,56	Aliased

Berdasarkan tabel 3 dapat diketahui bahwa model terpilih berdasarkan beberapa parameter yaitu model memiliki nilai PRESS (*Prediction Residuals Error Sum of Square*) terendah serta nilai Adjusted R-Squared dan Predicted R-Squared yang paling mendekati 1. Nilai PRESS menunjukkan prediksi kecilnya kesalahan model terpilih sehingga semakin kecil nilai PRESS maka prediksi kesalahan data semakin kecil. Tabel hasil model *summary statistics* menunjukkan bahwa model yang terpilih yaitu model kuadratik, karena model kuadratik memiliki nilai PRESS paling rendah yaitu sebesar 45,92 serta memiliki nilai Adjusted R-Squared dan nilai Predicted R-Squared yang paling mendekati 1.

Oleh karena itu, berdasarkan kriteria model pada *Model Summary Statistics*, dapat disimpulkan bahwa model yang terpilih untuk menjelaskan hubungan antara jarak transduser dan waktu reaksi terhadap respon yield biodiesel adalah model kuadratik. Model kuadratik merupakan model nonlinear dengan kurva parabola yang memiliki titik maksimum pada puncak garis lengkung. Kurva parabola menunjukkan bahwa faktor jarak transduser dan waktu reaksi akan menghasilkan satu titik optimum terhadap respon yield biodiesel.

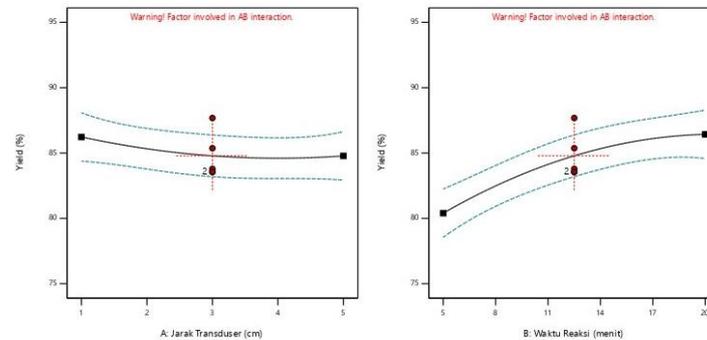
Tabel 4.
Uji ANOVA

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob>F	
Model	103,81	5	20,76	7,97	0,0083	Significant
A	4,18	1	4,18	1,61	0,2455	
B	72,70	1	72,70	27,91	0,0011	
A ²	0,77	1	0,77	0,29	0,6047	
B ²	21,51	1	21,51	8,26	0,0239	
AB	3,19	1	3,19	1,22	0,3053	
Residual	18,23	7	2,60			
Lack of Fit	3,14	3	1,05	0,28	0,8396	Not Significant
Pure Error	15,09	4	3,77			
Cor Total	122,04	12				

Berdasarkan tabel 4 menunjukkan bahwa model kuadratik memiliki nilai P sebesar 0,0083 yang artinya model kuadratik memberikan pengaruh secara nyata atau signifikan sebagai kriteria pada uji ANOVA dan signifikan terhadap respon yield biodiesel. Parameter pengaruh signifikan dari suatu model ialah nilai Prob>F harus kurang dari 5%. Model faktor jarak transduser dinyatakan sebagai A, sedangkan faktor waktu reaksi dinyatakan sebagai B. Pada tabel 4.8 dijelaskan bahwa nilai P model pada interaksi A dan B terhadap respon yield biodiesel memiliki nilai masing-masing sebesar 0,2455 dan 0,0011 yang berarti hanya faktor jarak transduser tidak memberikan pengaruh signifikan

terhadap respon yield biodiesel, sedangkan faktor waktu reaksi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap yield biodiesel.

Pengaruh Variabel Berubah Terhadap Variabel Respon



Gambar 2. Pengaruh Jarak Transduser dan Waktu Reaksi Terhadap Yield Biodiesel

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak transduser dan waktu reaksi memberikan pengaruh signifikan terhadap yield biodiesel yang ditandai dengan munculnya koefisien A dan B pada persamaan 2. Namun pengaruh waktu reaksi terhadap respon yield biodiesel lebih besar daripada pengaruh jarak transduser. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada jarak transduser yang rendah, yield biodiesel akan meningkat seiring dengan meningkatnya waktu reaksi.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa yield biodiesel dicapai dalam waktu yang singkat (1,89 menit) berbantuan ultrasonik menggunakan suhu ruang, sedangkan waktu reaksi yang lebih lama diperlukan untuk memperoleh yield biodiesel yang lebih tinggi dari 77% pada 1,89 menit menjadi 89,06% pada 20 menit. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sinaga dkk.,(2014) penulis melakukan reaksi transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel menggunakan katalis NaOH dan metanol dengan metode pengadukkan dan pemanasan. Hasilnya ialah didapatkan yield biodiesel sebesar 72,87% pada waktu reaksi 30 menit. Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sinaga dkk.,(2014), penelitian ini membuktikan bahwa dengan bantuan ultrasonik yield biodiesel yang dihasilkan jauh lebih tinggi dan waktu reaksi yang digunakan lebih singkat daripada metode konvensional.

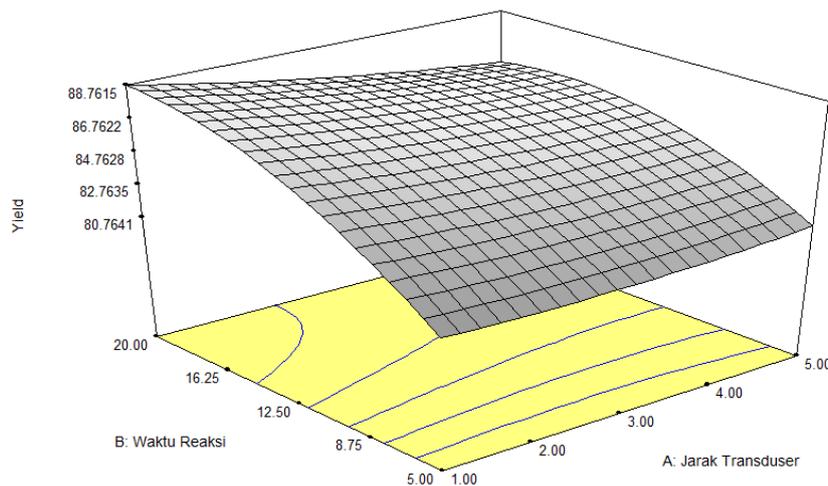
Peningkatan yield biodiesel yang berbanding lurus dengan peningkatan waktu reaksi disebabkan karena semakin lamanya paparan gelombang ultrasonik maka akan meningkatkan emulsifikasi reaktan yang tidak dapat bercampur sehingga bahan baku dan reaktan bereaksi lebih optimal untuk menghasilkan biodiesel. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Mahesh et al.,(2021), pada waktu reaksi yang lebih singkat akan menghasilkan biodiesel yang sedikit. Campuran reaksi memerlukan waktu tertentu untuk dispersi larutan yang tepat. Sehingga dengan meningkatnya waktu reaksi maka biodiesel yang dihasilkan juga akan semakin meningkat.

Selain pentingnya menentukan waktu reaksi yang optimal, penentuan jarak transduser dalam reaksi transesterifikasi penting untuk dilakukan mengingat gelombang ultrasonik yang dipancarkan oleh transduser memiliki kekuatan yang tidak seragam ketika melewati suatu cairan. Sehingga perlu dilakukan penentuan jarak optimum transduser dengan sampel dan mengetahui pengaruhnya terhadap nilai yield transesterifikasi biodiesel dari minyak jelantah. Berdasarkan uji ANOVA bahwa jarak transduser yang optimum yaitu 1 cm. Pada gambar 4.3 grafik jarak transduser mengalami

penurunan yield seiring dengan meningkatnya jarak transduser. Hal ini dapat disebabkan oleh jarak yang lebih dekat dengan transduser memiliki intensitas gelombang ultrasonik yang lebih tinggi sehingga menghasilkan gelembung-gelembung dari efek kavitasi yang lebih banyak. Gelembung-gelembung dari efek kavitasi yang banyak akan menyebabkan pencampuran antar reaktan menjadi lebih baik sehingga yield biodiesel yang dihasilkan akan semakin meningkat.

Jarak transduser yang optimal dapat menghasilkan kavitasi yang lebih merata yang meningkatkan efisiensi pengolahan material (Cheeke, 2002). Selain itu, jarak transduser yang optimal mempengaruhi posisi amplitudo yang maksimum dalam membentuk energi kavitasi yang besar sehingga akan menghasilkan gelombang yang keras dan berkecepatan tinggi untuk memecah dinding sel minyak jelantah. Fenomena kavitasi menyebabkan penetrasi larutan metoksi ke dalam minyak jelantah menjadi lebih efisien sehingga akan menghasilkan lebih banyak pelepasan sel minyak ke dalam media massa dan bereaksi menghasilkan ester (biodiesel).

Optimalisasi Jarak Transduser dan Waktu Reaksi



Gambar 3. Grafik 3D Interaksi Variabel Proses

Berdasarkan proses optimasi pada program *Design Expert* 6.0.5, kondisi proses dengan jarak transduser 1 cm dan waktu reaksi 20 menit direkomendasikan sebagai solusi formula yang optimal. Setelah mendapatkan formula dan nilai yield prediksi kemudian dilakukan verifikasi data. Transesterifikasi dilakukan pada kondisi optimum pada jarak transduser 1 cm dan waktu reaksi 20 menit. Yield biodiesel yang didapatkan dihitung sebanyak dua kali ulangan, didapatkan rata-rata yield aktual biodiesel sebesar 88,33% dengan %kesalahan yang didapatkan sebesar 0,4885% dan validitas data sebesar 99,5115%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa optimasi permukaan respon dan analisis statistik menunjukkan keandalan dan kepraktisan model regresi yang baik dalam membuat prediksi untuk optimalisasi proses produksi biodiesel.

Sifat Biodiesel yang Dihasilkan

Tabel 5.

Hasil Analisa Biodiesel

Parameter	Biodiesel Yang Dihasilkan	SNI 7182:2015
Yield (%)	88,33	-
Massa Jenis @40°C (kg/m ³)	885	850 – 890
Viskositas kinematik @40°C (cSt)	5,37	2,3 – 6,0
Angka asam (mg KOH/gr)	0,135	Maks. 0,5
Angka Setana	44,6	Min. 51
Kadar metil ester (%-massa)	97,14	Min. 96,5
Monogliserida (%-massa)	0,72	Maks. 0,8

Sintesis biodiesel dari minyak jelantah berbantuan ultrasonik yang dioptimasi menggunakan *Response Surface Methodology* telah dilakukan dalam penelitian ini. Peristiwa kavitasi yang dihasilkan oleh gelombang ultrasonik dapat menyebabkan kontak yang memadai antara reaktan karena pola pencampuran yang seragam, akibatnya dapat mengurangi kebutuhan energi yang diperlukan dalam produksi biodiesel.

Pada tabel 5 memaparkan sifat-sifat biodiesel yang dihasilkan berbantuan ultrasonik. Sifat-sifat biodiesel yang dihasilkan diantaranya massa jenis, viskositas kinematik, angka setana, angka asam, kadar metil ester dan monogliserida yang diukur dan dibandingkan menggunakan standar SNI 7182:2015. Viskositas kinematik merupakan salah satu karakteristik suatu bahan bakar yang sangat penting dan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap pengikisan bagian-bagian mesin. Tujuan utama dari proses transesterifikasi adalah untuk menurunkan viskositas minyak nabati. Viskositas yang tinggi dapat menyebabkan atomisasi bahan bakar menjadi lebih sedikit, kerusakan pada filter bahan bakar, pembakaran yang buruk, dan peningkatan gas buang (Özgür & Tosun, 2017). Viskositas merupakan parameter resistansi bahan bakar untuk mengalir karena viskositas yang terlalu tinggi akan mempersulit pengaliran bahan bakar, sedangkan yang terlalu rendah memungkinkan terjadinya kebocoran.

Selain viskositas, massa jenis merupakan parameter penting dari biodiesel yang berdampak pada kualitas bahan bakar. Massa jenis biodiesel dapat berdampak besar pada pencampuran solar dan biodiesel sehingga massa jenis bahan bakar biodiesel harus sedemikian rupa agar fasa solar dan bahan bakar biodiesel tidak terpisah setelah pencampuran.

Jumlah asam yang rendah menunjukkan bahwa logam yang dilalui oleh bahan bakar tidak mudah terkorosi oleh bahan bakar saat digunakan. Hal ini penting karena korosi pada mesin berhubungan dengan banyak aspek keselamatan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa massa jenis, viskositas kinematik, angka asam, kadar metil ester, dan monogliserida telah sesuai dengan batasan baku mutu biodiesel dalam SNI 7182:2015. Sedangkan angka setana pada penelitian ini belum memenuhi standar SNI 7182:2015, namun menurut Patel & Shah (2015) secara umum mesin diesel beroperasi dengan baik pada angka setana antara 40 hingga 55.

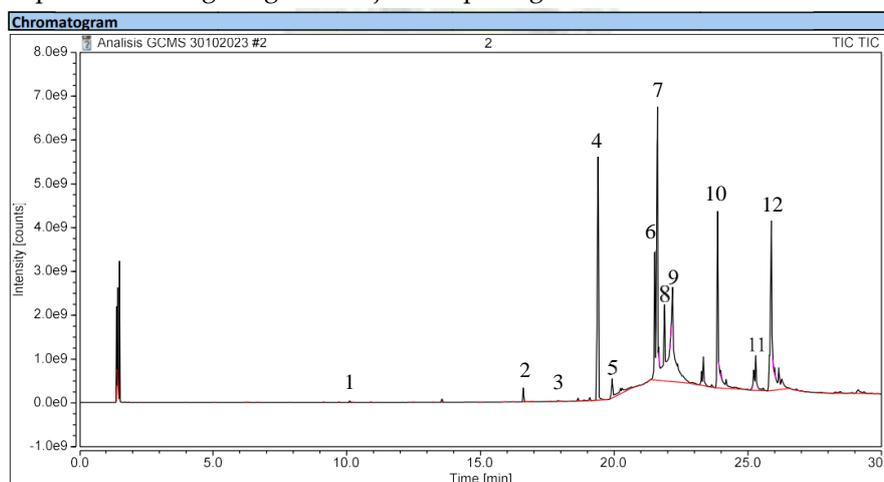
Analisis Hasil Biodiesel Dengan Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

Tabel 6.

Kandungan Senyawa Metil Ester

No. Peak	Persentase (%)	Senyawa Terindikasi
1	0,01	Metil Oktadienoat
2	0,41	Metil Miristat
3	0,18	Metil Palmitoleat
4	13,87	Metil Palmitat
5		Metil Palmitat
6	5,46	Metil Linoleat
7	43,67	Metil Oleat
8	3,42	Metil Heptadekanoat
9	14,51	Metil Stearat
10		Metil Sterat
11	1,39	Metil Linolenat
12	9,67	Metil Miristat

Asam lemak jenuh dan tidak jenuh ditemukan dalam biodiesel melalui analisis kromatografi gas untuk mengetahui komposisi metil ester yang terkandung didalamnya. Metil ester yang teridentifikasi dibandingkan dengan standar menggunakan perbandingan data waktu retensi masing-masing yang dikonfirmasi dengan analisis spektrofotometri massa. Jenis ester rantai pendek bersifat polar daripada ester rantai panjang. Hukum *like dissolve like ester* menyatakan bahwa jenis ester dengan rantai yang lebih panjang akan tertahan dalam kolom, sedangkan ester rantai pendek akan lolos bersama fasa gerak keluar dari kolom. Rantai pendek polar akan lebih awal muncul daripada rantai panjang non polar. Asam-asam lemak merupakan komponen utama dari lemak karena hampir 95-96% berat molekul lemak terdiri dari asam lemak yang pada umumnya merupakan rantai karbon panjang dan lurus. Lemak yang umum digunakan sebagai bahan dasar pembuatan biodiesel merupakan trigliserida yang mengandung asam palmitat, stearat, dan oleat. Puncak kromatogram yang terdeteksi pada kromatografi gas ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Kromatogram Biodiesel Hasil Analisis GC-MS

Berdasarkan tabel 6 terdapat 5 jenis metil ester rantai tidak jenuh dan 5 jenis metil ester rantai jenuh pada sintesis biodiesel dari minyak jelantah. Kandungan metil ester pada biodiesel sebesar 97,14%, hal ini memenuhi standar SNI 7182:2015 untuk kadar metil ester minimal 96,50%. Kandungan metil ester terbanyak pada biodiesel yang dihasilkan adalah metil oleat yang memiliki kadar 43,67%. Menurut Setyawardhani dkk.,(2021) bahwa biodiesel yang memiliki metil palmitat dan metil oleat yang tinggi memiliki potensi yang baik untuk dijadikan bahan bakar biodiesel yang berkualitas.

Selain menentukan kadar metil ester yang terkandung didalam biodiesel, kadar monogliserida juga diukur dalam penelitian ini. Kadar monogliserida yang terkandung didalam biodiesel sebesar 0,72%. Adanya kandungan monogliserida didalam biodiesel disebabkan karena terdapat bagian dari reaktan yang tidak dapat bereaksi dengan sempurna untuk membentuk *fatty acid metil ester* karena kurangnya tekanan gelombang ultrasonik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Menurut uji ANOVA, faktor yang paling penting dalam penelitian ini adalah waktu reaksi karena memiliki pengaruh yang signifikan terhadap produksi biodiesel. Waktu reaksi yang lebih lama menunjukkan produksi biodiesel yang lebih tinggi, sedangkan yield biodiesel akan mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya jarak transduser.
2. Formula optimasi yang disarankan oleh RSM adalah jarak transduser sebesar 1 cm dan waktu reaksi selama 20 menit menghasilkan yield biodiesel sebesar 88,33%. Berdasarkan formula yang optimal, biodiesel yang dihasilkan diuji sifat fisiknya yang meliputi viskositas kinematik dan massa jenis pada 40°C, angka asam, serta angka setana dengan nilai berturut-turut 5,37 cSt, 885 kg/m³, 0,135 mg KOH/gram, dan 44,6. Sedangkan untuk kadar metil ester dan monogliserida yang terkandung didalam biodiesel sebesar 97,14% dan 0,72%. Berdasarkan parameter viskositas kinematik, massa jenis, angka asam, kadar metil ester, dan monogliserida, biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi standar biodiesel SNI 7182:2015, namun untuk parameter angka setana belum memenuhi standar biodiesel yang berlaku.

5. Daftar Pustaka

- Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Hosseinpour, S., Hosseini, S. S., Ghaffari, A., Khounani, Z., & Mohammadi, P. (2016). Development and evaluation of a novel low power, high frequency piezoelectric-based ultrasonic reactor for intensifying the transesterification reaction. *Biofuel Research Journal*, 3(4), 528–535.
- Amaniampong, P. N., & Tongurai, C. (2011). Effect of catalysts and their concentrations on biodiesel production from waste cooking oil via ultrasonic-assisted transesterification. *TICHE International Conference*, 1–6.
- Belkhanchi, H., Rouan, M., Hammi, M., Ziat, Y., & Chigr, M. (2021). Synthesis of biodiesel by transesterification of used frying oils (Ufo) through basic homogeneous catalysts (naoh and koh). *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(5), 12858–12868.
- Cheeke, J. D. . (2002). *Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves*. CRC Press.
- Delavari, A., Halek, F., & Amini, M. (2015). Continuous biodiesel production in a helicoidal reactor using ultrasound-assisted transesterification reaction of waste cooking oil. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17(1), 273–279.

- Dhawane, S. H., Karmakar, B., Ghosh, S., & Halder, G. (2018). Parametric optimisation of biodiesel synthesis from waste cooking oil via Taguchi approach. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 3971–3980.
- Lotero, E., Liu, Y., Lopez, D. E., Suwannakarn, K., Bruce, D. A., & Goodwin, J. G. (2005). Synthesis of biodiesel via acid catalysis. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 44(14), 5353–5363.
- Mahesh, S., Ramanathan, A., Begum, K. M. M. S. B., & Narayanan, A. (2021). Biodiesel production from waste cooking oil using ionic liquids as catalyst. *Energy Conversion and Management*, 91, 442–450.
- Mantovani, S. A. (2017). Pengaruh Jumlah Katalis Dan Waktu Reaksi Terhadap Konversi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Katalis CaO Dari Kulit Telur. *UMS Digital Library*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Mbah, C. G., Esonye, C. V., Onukwuli, D. O., & Chukwuemeka, V. (2021). Use of response surface methodology (RSM) in optimisation of biodiesel production from cow tallow. *Novateur Publications International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 8(8), 2394–3696.
- Oliveira, P. A., Baesso, R. M., Moraes, G. C., Alvarenga, A. V., & Costa-Félix, R. P. B. (2018). Ultrasound Methods for Biodiesel Production and Analysis. In *Biofuels - State of Development*. IntechOpen Limited.
- Özgür, C., & Tosun, E. (2017). Prediction of density and kinematic viscosity of biodiesel by artificial neural networks. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 39(10), 985–991.
- Patel, N. K., & Shah, S. N. (2015). Biodiesel from Plant Oils. In *Food, Energy, and Water: The Chemistry Connection* (pp. 277–307). Elsevier Inc.
- Setyawardhani, D. A., Distantina, S., Henfiana, H., & Dewi, A. S. (2021). Peningkatan Kualitas Biodiesel dari Asam Lemak Jenuh Minyak Biji Karet dengan Proses Hidrolisis. *Ekuilibrium*, 9(2), 47–50.
- Sinaga, S. V., Haryanto, A., & Triyono, S. (2014). Pengaruh suhu dan waktu reaksi pada pembuatan biodiesel dari minyak jelantah. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 3(1), 27–34.
- Suryanto, A., Zakir Sabara, H. W., Ismail, H., Artiningsih, A., Zainuddin, U., Al Mukmin, A., Nurichsan, U., & Niswah, F. W. (2018). Production Biodiesel from Kapok Seed Oil Using Ultrasonic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 175(1), 1–6.
- Suzihaque, M. U. H., Alwi, H., Kalthum Ibrahim, U., Abdullah, S., & Haron, N. (2022). Biodiesel Production from Waste Cooking Oil: A Brief Review. *Materials Today: Proceedings*, 63, S490–S495.
- Szybist, J. P., Boehman, A. L., Taylor, J. D., & McCormick, R. L. (2005). Evaluation of Formulation Strategies to Eliminate the Biodiesel NOx Effect. *Fuel Processing Technology*, 86(10), 1109–1126.
- Wahyuni, S., Kadarwati, S., & Latifah. (2011). Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah Sebagai Sumber Energi Alternatif Solar. *Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah Sebagai Sumber Energi Alternatif Solar*, 9(1), 51–62.
- Wong, Y. C., Tan, Y. P., Taufiq-Yap, Y. H., & Ramli, I. (2015). An optimization study for transesterification of palm oil using response surface methodology (RSM). *Sains Malaysiana*, 44(2), 281–290.
- Yin, X., Ma, H., You, Q., Wang, Z., & Chang, J. (2012). Comparison of four different enhancing methods for preparing biodiesel through transesterification of sunflower oil. *Applied Energy*, 91(1), 320–325.