

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan biopelumas dari minyak jelantah menggunakan katalis asam fosfat ini dilakukan dengan variasi konsentrasi volume katalis asam fosfat yaitu 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% (v/v) dan variasi waktu reaksi yaitu 130, 140, dan 150 menit.

4.1 Hasil Penelitian

Persentase *yield* biopelumas yang diperoleh dari proses sintesis serta hasil pengujian karakteristik fisik biopelumas berdasarkan parameter yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) disajikan pada tabel 4.2 hingga 4.4.

Tabel 4. 1 Data Pengujian Karakteristik Fisik Biopelumas Berdasarkan SNI dan Persentase *Yield*

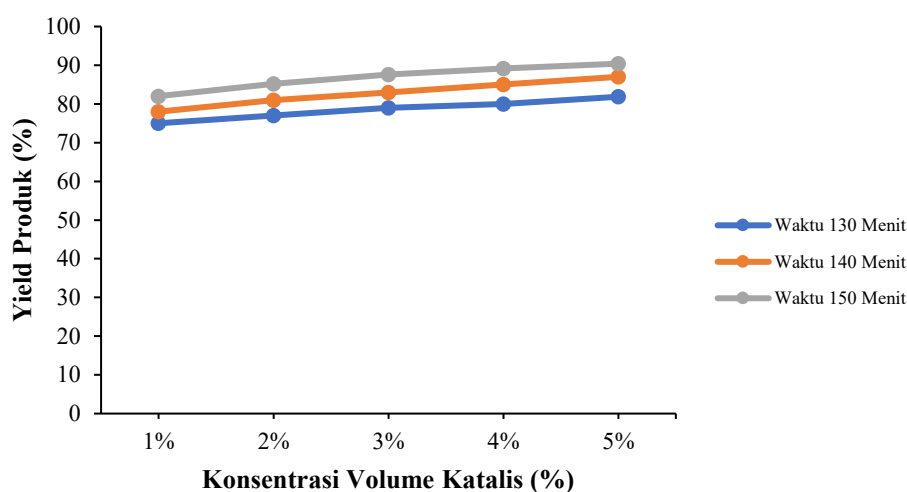
No.	Waktu Reaksi (menit)	Konsentrasi Katalis (%)	Densitas Produk (gr/mL)	Viskositas (cSt)	Titik Nyala (°C)	Titik Tuang (°C)	Yield produk (%)
1	130	1	0.9564	13.51	343	2	75
2		2	0.9548	12.57	355	2	77
3		3	0.9568	12.08	358	2	79
4		4	0.9560	12.01	363	2	80
5		5	0.9556	12.54	369	2	81.9
6	140	1	0.9564	12.07	370	1	78
7		2	0.9560	13.09	377	1	81
8		3	0.9556	13.96	380	1	83
9		4	0.9516	12.47	351	1	85
10		5	0.9584	11.52	394	1	87
11	150	1	0.9556	12.31	351	0	82
12		2	0.9616	11.49	356	0	85
13		3	0.9604	11.79	367	0	87.6
14		4	0.9588	12.4	375	0	89
15		5	0.9576	11.46	389	0	90
SNI 06-7069-6-2017			0,8867 - 1	11 – 13,5	min. 200	min. -1	-

4.2 Pembahasan

Hasil penelitian ini difokuskan pada pengaruh variasi konsentrasi katalis asam fosfat dan waktu reaksi terhadap yield serta karakteristik biopelumas yang dihasilkan. Analisis dilakukan berdasarkan data hasil pengujian sifat fisik dan karakterisasi produk yang telah dilakukan.

4.2.1 Pengaruh Waktu Reaksi dan Konsentrasi Volume Katalis Terhadap % Yield Biopelumas

% *yield* merupakan persentase yang menunjukkan rasio antara jumlah produk yang diperoleh dari reaksi kimia dan jumlah bahan baku yang digunakan. Untuk mengetahui efisiensi proses sintesis dan optimalisasi konversi menjadi produk biopelumas, dilakukannya perhitungan presentase *yield*. Data hasil analisa pengaruh waktu reaksi dan konsentrasi volume katalis asam fosfat terhadap nilai % *yield* produk biopelumas yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.1 :



Gambar 4. 1 Pengaruh Waktu Reaksi dan Konsentrasi Volume Katalis Terhadap % *Yield* Produk Biopelumas

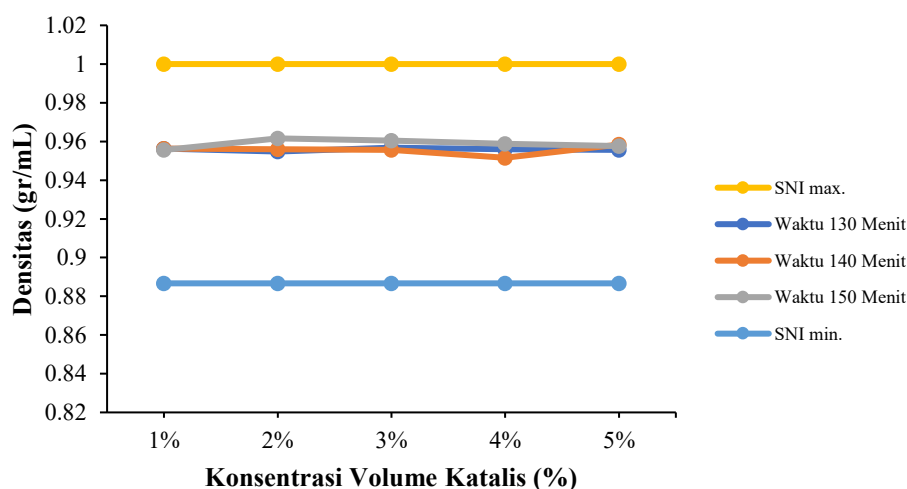
Berdasarkan Gambar 4.1, *yield* biopelumas yang dihasilkan meningkat seiring dengan peningkatan waktu reaksi pada semua variasi konsentrasi katalis asam fosfat. Semakin lama waktu reaksi, semakin besar peluang kontak antara reaktan yang meningkatkan konversi trigliserida menjadi senyawa ester yang merupakan komponen utama biopelumas. Selain itu, peningkatan konsentrasi katalis juga berpengaruh terhadap hasil *yield* yang diperoleh. Hasil menunjukkan bahwa *yield* tertinggi diperoleh pada waktu reaksi 150 menit dengan konsentrasi katalis 5%, yakni 90%. Kondisi ini menunjukkan bahwa reaksi berlangsung lebih optimal, sehingga sebagian besar reaktan berhasil dikonversi menjadi produk.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hilde dkk (2017) yang menyatakan bahwa penambahan waktu reaksi dan jumlah katalis dapat meningkatkan *yield* biopelumas. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, *yield* yang diperoleh pada penelitian ini lebih tinggi yaitu 90%, sedangkan Hilde

dkk (2017) memperoleh *yield* maksimum sebesar 79,77% dan Rochmat dkk (2018) sebesar 83,46%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan katalis asam fosfat pada sintesis biopelumas dari minyak jelantah berhasil meningkatkan perolehan produk dan menghasilkan *yield* yang lebih baik dibandingkan penelitian terdahulu.

4.2.2 Pengaruh Waktu Reaksi dan Konsentrasi Volume Katalis Terhadap Densitas Biopelumas

Densitas merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas biopelumas, karena berkaitan dengan massa jenis dan kemurnian produk biopelumas yang dihasilkan. Densitas dipengaruhi oleh kondisi reaksi, terutama waktu reaksi dan konsentrasi volume katalis yang dapat mempengaruhi komposisi ester produk akhir. Data hasil analisa pengaruh waktu reaksi dan konsentrasi volume katalis asam fosfat terhadap densitas produk biopelumas yang dihasilkan dan perbandingannya dengan standar SNI 06-7069-6-2017 dapat dilihat pada Gambar 4.2 :



Gambar 4. 2 Pengaruh Waktu Reaksi dan Konsentrasi Volume Katalis Terhadap Densitas Biopelumas

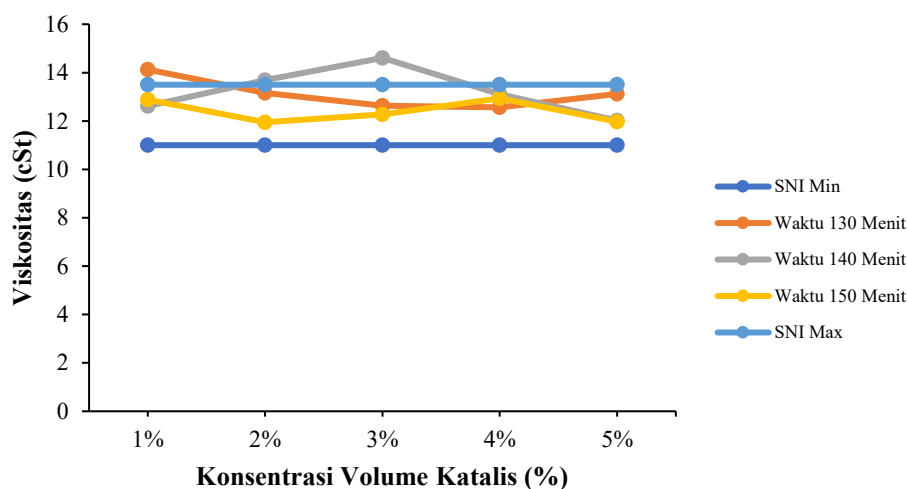
Berdasarkan Gambar 4.2, peningkatan konsentrasi katalis asam fosfat dari 1% hingga 5% tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap densitas biopelumas. Nilai densitas pada setiap variasi konsentrasi katalis cenderung berada pada rentang yang relatif sama, yaitu antara 0,9516 hingga 0,9616 g/mL. sebaliknya waktu reaksi menunjukkan pengaruh yang lebih nyata terhadap densitas produk.

Pada berbagai variasi konsentrasi katalis, densitas meningkat seiring bertambahnya waktu reaksi dari 130 menit menjadi 150 menit. Kondisi ini membuktikan bahwa reaksi berlangsung lebih sempurna sehingga menghasilkan produk dengan komposisi yang lebih stabil dan tingkat konversi yang lebih tinggi.

Ditinjau dari Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-7069-6-2017, seluruh nilai densitas biopelumas yang diperoleh telah memenuhi persyaratan, yaitu berada dalam rentang 0,8867 hingga 1,0 g/mL. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, nilai densitas yang dihasilkan pada penelitian ini lebih tinggi dimana, Annisa dkk (2024) memperoleh nilai densitas tertinggi sebesar 0,9001 dan Utari (2022) menghasilkan nilai densitas terbaik sebesar 0,9248 gr/cm³. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sintesis biopelumas dari minyak jelantah menggunakan katalis asam fosfat berhasil menghasilkan produk dengan karakteristik densitas yang baik dan sesuai dengan standar yang berlaku.

4.2.3 Pengaruh Waktu Reaksi dan Konsentrasi Volume Katalis Terhadap Viskositas Biopelumas

Viskositas merupakan parameter yang menyatakan tingkat kekentalan fluida berdasarkan besarnya gaya gesek yang terjadi antar lapisan fluida saat mengalir. Viskositas adalah parameter kunci dalam menentukan kualitas pelumas karena mempengaruhi kemampuan pelumas dalam mengurangi gesekan, mencegah keausan dan menjaga lapisan pelumas yang stabil pada permukaan yang bergerak. Data hasil analisa pengaruh waktu reaksi dan konsentrasi volume katalis asam fosfat terhadap viskositas produk biopelumas yang dihasilkan dan perbandingannya dengan standar SNI 06-7069-6-2017 dapat dilihat pada Gambar 4.3 :



Gambar 4. 3 Pengaruh Waktu Reaksi dan Konsentrasi Volume Katalis Terhadap Viskositas Biopelumas

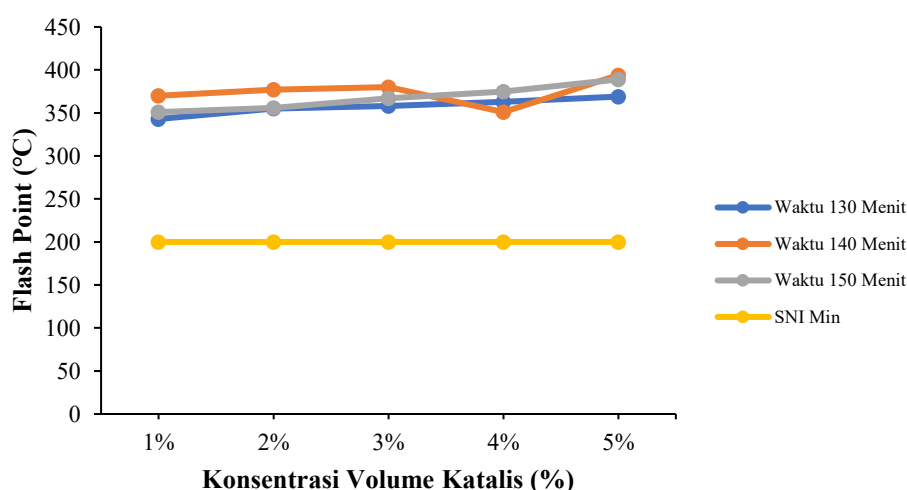
Berdasarkan Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa variasi waktu reaksi dan konsentrasi katalis memberikan pengaruh terhadap nilai viskositas produk biopelumas yang dihasilkan. Pada waktu reaksi 130 menit, peningkatan konsentrasi katalis dari 1% hingga 5% menyebabkan viskositas menurun dari 13,51 cSt menjadi 12,54 cSt. Pada waktu reaksi 140 menit, viskositas meningkat hingga mencapai nilai tertinggi pada konsentrasi katalis 3% hal ini disebabkan oleh terjadinya reaksi esterifikasi secara intensif sehingga menghasilkan ester etilen glikol dengan berat molekul yang lebih tinggi sehingga melebihi batas Standar Nasional Indonesia. Sementara itu, pada waktu reaksi 150 menit, nilai viskositas cenderung lebih rendah dan relatif stabil pada rentang 11,46 hingga 12,40 cSt. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu reaksi, proses pembentukan ester berlangsung lebih sempurna sehingga menghasilkan produk dengan karakteristik viskositas yang lebih seragam.

Ditinjau dari Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-7069-6-2017, sebagian besar biopelumas yang dihasilkan telah memenuhi persyaratan viskositas yang ditetapkan. Nilai viskositas yang paling mendekati batas maksimum standar diperoleh pada waktu reaksi 140 menit dengan konsentrasi katalis 2% yaitu sebesar 13,09 cSt. Nilai tersebut masih berada dalam rentang yang diperbolehkan dan hanya memiliki selisih 0,41 cSt dari batas maksimum SNI. Oleh karena itu, kombinasi waktu reaksi 140 menit dan konsentrasi katalis 2% dapat dianggap sebagai kondisi

terbaik berdasarkan parameter viskositas karena menghasilkan produk yang memenuhi standar mutu dan memiliki karakteristik pelumasan yang baik.

4.2.4 Pengaruh Waktu Reaksi dan Konsentrasi Volume Katalis Terhadap *Flash Point* Biopelumas

Titik nyala (*Flash Point*) adalah salah satu parameter yang digunakan untuk menilai keamanan dan kualitas produk biopelumas. Semakin tinggi nilai *Flash Point*, semakin rendah kecenderungan produk untuk menguap dan terbakar pada kondisi operasi. Perbedaan waktu reaksi dan konsentrasi volume katalis dapat mempengaruhi komposisi senyawa yang terbentuk selama proses sintesis, sehingga berpengaruh terhadap nilai *flash point* produk biopelumas yang dihasilkan (Fernando dkk., 2025). Hasil pengujian *Flash Point* pada berbagai variasi waktu reaksi dan konsentrasi katalis serta perbandingannya dengan standar SNI dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Pengaruh Waktu Reaksi dan Konsentrasi Volume Katalis Terhadap *Flash Point* Biopelumas

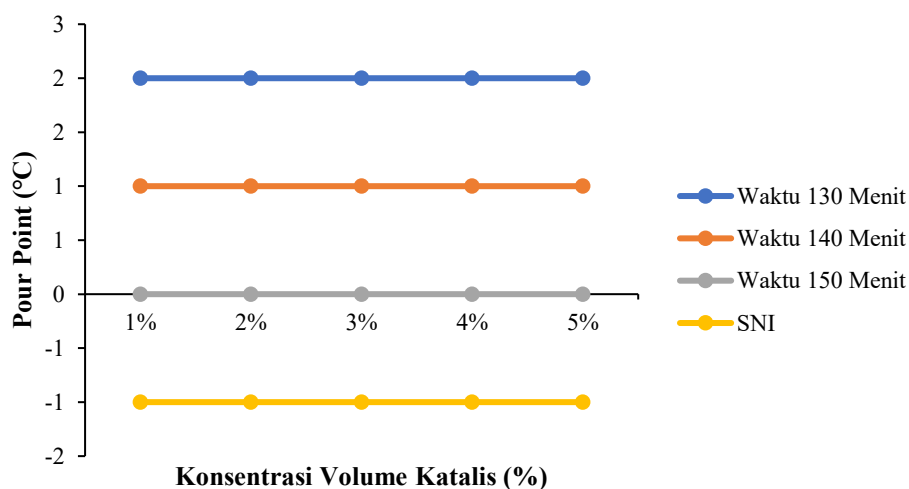
Berdasarkan Gambar 4.4, variasi konsentrasi katalis asam fosfat dan waktu reaksi berpengaruh terhadap nilai *flash point* biopelumas yang dihasilkan. Nilai *flash point* yang diperoleh berada pada rentang 343°C hingga 394°C dan secara umum cenderung meningkat seiring bertambahnya konsentrasi katalis. Peningkatan ini menunjukkan bahwa kandungan senyawa volatil dalam produk semakin berkurang sehingga biopelumas menjadi lebih stabil terhadap pemanasan dan memiliki tingkat keamanan yang lebih baik terhadap resiko penyalaan. Selain itu,

waktu reaksi yang lebih lama juga mendukung peningkatan nilai *flash point* karena memberikan kesempatan yang lebih besar bagi reaktan untuk bereaksi lebih sempurna.

Nilai *flash point* tertinggi diperoleh pada waktu reaksi 140 menit dengan konsentrasi katalis 5% yaitu sebesar 394°C, sedangkan nilai terendah diperoleh pada waktu reaksi 130 menit dengan konsentrasi katalis 1%, yaitu sebesar 343°C. meskipun terjadi sedikit penurunan nilai *flash point* pada beberapa kondisi tertentu, secara keseluruhan hasil penelitian menunjukkan kecenderungan peningkatan kestabilan termal produk. Ditinjau dari SNI 06-7069-6-2017 yang mensyaratkan nilai *flash point* minimum sebesar 200°C, data biopelumas yang dihasilkan telah memenuhi bahkan melampaui batas standar yang ditetapkan. Hal ini menunjukkan bahwa produk biopelumas memiliki karakteristik keamanan dan kestabilan termal yang sangat baik.

4.2.5 Pengaruh Waktu Reaksi dan Konsentrasi Volume Katalis Terhadap *Pour Point* Biopelumas

Pour point (titik tuang) merupakan suhu terendah di mana biopelumas masih dapat mengalir karena gravitasi. *Pour point* ini merupakan indikator penting untuk menentukan kualitas biopelumas terutama untuk aplikasi di lingkungan bersuhu rendah. Semakin rendah titik tuang, maka semakin baik kemampuan alir biopelumas pada suhu rendah. Variasi waktu reaksi dan konsentrasi katalis asam fosfat dapat mempengaruhi sifat produk yang dihasilkan, sehingga mempengaruhi nilai titik tuang. Hasil analisa *flash point* (titik tuang) pada variasi waktu reaksi dan konsentrasi volume katalis, beserta perbandingannya dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) ditunjukkan pada Gambar 4.5.



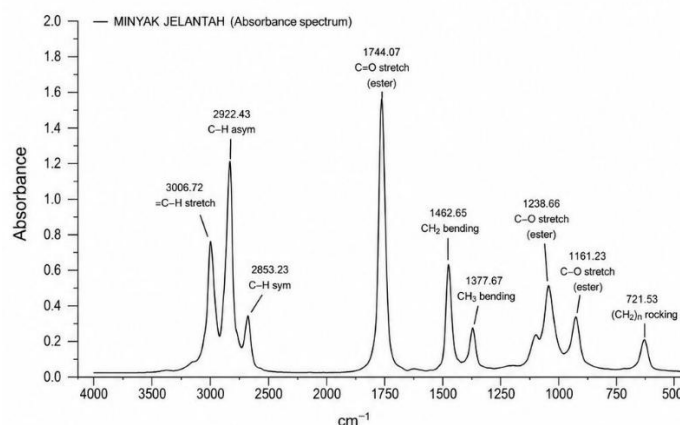
Gambar 4. 5 Pengaruh Waktu Reaksi dan Konsentrasi Volume Katalis Terhadap *Pour Point* Produk Biopolumas dan SNI

Berdasarkan Gambar 4.5, waktu reaksi memberikan pengaruh yang lebih nyata terhadap nilai *pour point* biopolumas dibandingkan konsentrasi katalis asam fosfat. Nilai *pour point* cenderung menurun seiring bertambahnya waktu reaksi, sedangkan perubahan konsentrasi katalis tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Pada waktu reaksi 130 menit, semua data didapatkan nilai *pour point* sebesar 2°C, kemudian menurun menjadi 1°C pada waktu reaksi 140 menit dan mencapai 0°C pada waktu reaksi 150 menit. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu reaksi, semakin baik kemampuan biopolumas untuk tetap mengalir pada suhu rendah.

Penurunan nilai *pour point* tersebut mengindikasikan bahwa proses sintesis berlangsung lebih sempurna sehingga menghasilkan produk yang lebih homogen dan mengurangi pembentukan kristal pada suhu rendah. Ditinjau dari SNI 06-7069-6-2017 yang mensyaratkan nilai *pour point* sebesar -1°C, semua data yang didapatkan masih berada pada rentang 0 hingga 2°C. Meskipun demikian, kondisi yang paling mendekati standar diperoleh pada waktu reaksi 150 menit untuk seluruh variasi konsentrasi katalis dengan nilai *pour point* sebesar 0°C atau hanya berbeda 1°C dari batas yang dipersyaratkan SNI.

4.2.6 Interpretasi Gugus Fungsi Minyak Jelantah (FTIR)

Analisa FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam minyak jelantah sebagai bahan baku. Hasil karakterisasi ini digunakan sebagai acuan dalam analisis perubahan struktur kimia yang terjadi selama proses sintesis. Interpretasi grafik dan data hasil analisa FTIR pada minyak jelantah sebagai bahan baku tertera pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.5.



Sumber : Pusat Laboratorium Forensik. 2026

Gambar 4. 6 Interpretasi Gugus Fungsi Minyak Jelantah (FTIR)

Tabel 4. 2 Interpretasi Gugus Fungsi Minyak Jelantah (FTIR)

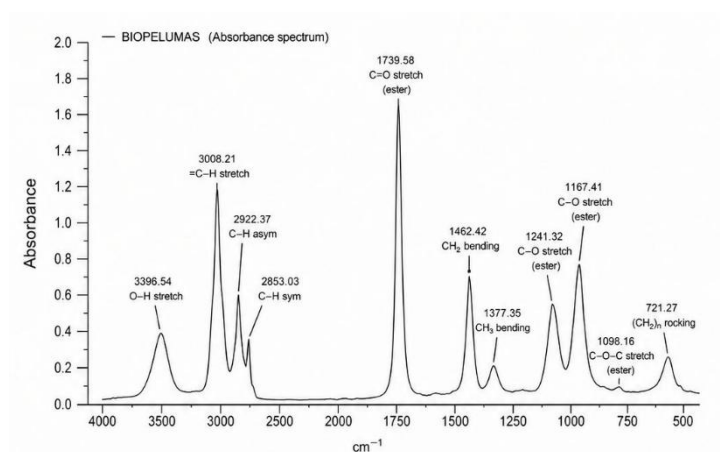
Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Jenis Vibrasi	Klasifikasi	Keterangan
3006,72	=C-H	<i>Stretching</i>	Alkena	Asam lemak tak jenuh
2922,43	-CH ₂ -	<i>Asymmetric stretching</i>	Alkana	Rantai hidrokarbon panjang
2853,23	-CH ₂ -	<i>Symmetric stretching</i>	Alkana	Rantai hidrokarbon jenuh
1744,07	C=O Ester	<i>Stretching</i>	Ester	Ester trigliserida
1462,65	-CH ₂ -	<i>Bending</i>	Alkana	Rantai hidrokarbon
1377,67	-CH ₃	<i>Bending</i>	Alkana	Gugus metil
1238,66	C-O	<i>Stretching</i>	Ester	Gugus ester
1161,23	C-O	<i>Stretching</i>	Ester	Gugus ester
721,53	(CH ₂) _n	<i>Rocking</i>	Alkana	Rantai hidrokarbon panjang

Sumber : Pusat Laboratorium Forensik. 2026

Interpretasi data FTIR minyak jelantah menunjukkan puncak karakteristik trigliserida pada bilangan gelombang $1744,07\text{ cm}^{-1}$ yang berasal dari vibrasi ulur gugus karbonil ester ($\text{C}=\text{O}$). Keberadaan gugus ester diperkuat oleh puncak serapan pada $123,66\text{ cm}^{-1}$ dan $1161,23\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi ulur ikatan $\text{C}-\text{O}$. puncak pada $2922,43\text{ cm}^{-1}$, $2853,23\text{ cm}^{-1}$, $1462,65\text{ cm}^{-1}$, dan $721,53\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya rantai hidrokarbon Panjang penyusun asam lemak, sedangkan puncak $3006,72\text{ cm}^{-1}$ menyatakan keberadaan ikatan rangkap pada asam lemak tak jenuh. Hasil ini menunjukkan bahwa minyak jelantah masih didominasi oleh senyawa trigliserida yang mengandung rantai karbon Panjang dan gugus ester, sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan baku dalam sintesis biopelumas.

4.2.7 Interpretasi Gugus Fungsi Biopelumas (FTIR)

Analisa FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam produk biopelumas hasil sintesis dari minyak jelantah dan etilen glikol menggunakan katalis asam fosfat. Keberhasilan sintesis biopelumas dapat dibuktikan dengan munculnya gugus fungsi ester yang merupakan komponen utama penyusun biopelumas. Grafik hasil analisa FTIR pada biopelumas yang dihasilkan tertera pada Gambar 4.7 dan Tabel 4.6.



Sumber : Pusat Laboratorium Forensik. 2026

Gambar 4. 7 Interpretasi Gugus Fungsi Biopelumas (FTIR)

Tabel 4. 3 Interpretasi Gugus Fungsi Biopelumas (FTIR)

Bilangan Gelombang (cm⁻¹)	Gugus Fungsi	Jenis Vibrasi	Klasifikasi	Keterangan
3396,54	O-H	<i>Stretching</i>	Alkohol	Gugus hidroksil sisa etilen glikol
3008,21	=C-H	<i>Stretching</i>	Alkena	Asam lemak tak jenuh
2922,37	-CH ₂ -	<i>Asymmetric stretching</i>	Alkana	Rantai hidrokarbon panjang
2853,03	-CH ₂ -	<i>Symmetric stretching</i>	Alkana	Rantai hidrokarbon jenuh
1729,58	C=O Ester	<i>Stretching</i>	Ester	Gugus karbonil ester
1462,42	-CH ₂ -	<i>Bending</i>	Alkana	Rantai hidrokarbon panjang
1377,35	-CH ₃	<i>Bending</i>	Alkana	Gugus metil
1241,32	C-O	<i>Stretching</i>	Ester	Gugus ester reaksi sintesis
1167,41	C-O	<i>Stretching</i>	Ester	Gugus ester
1098,16	C-O-C	<i>Stretching</i>	Polioliol ester	Gugus ester
721,27	(CH ₂) _n	<i>Rocking</i>	Alkana	Rantai karbon panjang

Sumber : Pusat Laboratorium Forensik. 2026

Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya pita serapan khas ester pada bilangan gelombang 1739,58 cm⁻¹ (C=O ester), 1241,32 cm⁻¹ dan 1167,41 cm⁻¹ (C-O ester), serta 1098,16 cm⁻¹ (C-O-C ester). Kemunculan gelombang tersebut mengindikasikan proses sintesis telah berhasil menghasilkan senyawa ester sebagai komponen utama biopelumas. Namun keberadaan gelombang O-H pada 3396 cm⁻¹ menunjukkan bahwa kemungkinan masih terdapat sedikit etilen glikol atau gugus hidroksil yang belum bereaksi sempurna. Selain itu, terdeteksinya gelombang serapan C-H alifatik pada 2922,37 cm⁻¹ dan 2853,03⁻¹ menunjukkan keberadaan rantai hidrokarbon panjang yang berkontribusi terhadap sifat pelumasan produk.

4.2.8 Interpretasi Perbandingan Gugus Fungsi Minyak Jelantah dan Gugus Fungsi Biopelumas yang Dihasilkan

Interpretasi perbandingan spektrum FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi yang terjadi setelah proses sintesis biopelumas. Munculnya gugus fungsi baru, pergeseran bilangan gelombang, dan perubahan karakteristik serapan menjadi indikator terjadinya modifikasi struktur kimia dari trigliserida

dalam minyak jelantah menjadi senyawa ester yang menyusun biopelumas. Hasil interpretasi perbandingan spektrum FTIR minyak jelantah dan biopelumas ditunjukkan pada Gambar dan Tabel 4.7.

Tabel 4. 4 Interpretasi Perbandingan Spektrum FTIR Minyak Jelantah dan Biopelumas

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		Perubahan
	Minyak Jelantah	Biopelumas	
O-H	-	3396,54	Muncul
=C-H	3006,72	3008,21	Tetap
-CH ₂ -	2922,43	2922,37	Tetap
-CH ₂ -	2853,23	2853,03	Tetap
C=O Ester	1744,07	1729,58	Bergeser
-CH ₂ -	1462,65	1462,42	Tetap
-CH ₃	1377,67	1377,35	Tetap
C-O	1238,66	1241,32	Sedikit Bergeser
C-O	1161,23	1167,41	Meningkat
C-O-C	-	1098,16	Muncul
(CH ₂) _n	721,53	721,27	Tetap

Sumber : Pusat Laboratorium Forensik. 2026

Perbandingan spektrum FTIR antara minyak jelantah dan biopelumas menunjukkan adanya perubahan struktur kimia yang signifikan setelah proses sintesis menggunakan etilen glikol dan katalis asam fosfat. Munculnya puncak O-H pada 3396,54 cm⁻¹, terbentuknya puncak C-O-C pada 1098,16 cm⁻¹, serta pergeseran puncak C=O ester dari 1744,07 cm⁻¹ menjadi 1739,58 cm⁻¹ menunjukkan bahwa telah terjadi reaksi esterifikasi dan transesterifikasi yang menghasilkan senyawa ester baru. Sementara itu, pita serapan C-H pada 2922 c⁻¹ dan 2853 cm⁻¹ tetap muncul dengan intensitas yang hampir sama menandakan bahwa rantai hidrokarbon Panjang penyusun minyak masih terjaga. Dengan demikian hasil FTIR membuktikan bahwa minyak jelantah berhasil dimodifikasi menjadi biopelumas berbasis polioliol ester melalui reaksi menggunakan etilen glikol dengan katalis asam fosfat, sehingga produk yang diperoleh telah memenuhi karakteristik dasar biopelumas.