

Analisis Kandungan *Free Fatty Acid* (FFA) dan Viskositas Limbah Minyak Jelantah pada UMKM di Kota Malang sebagai Upaya Pengendalian Mutu Bahan Baku Biodiesel

Ahmad Setyo Putra, Areta Triani Putri, & Aswangga Bhagas Ramadhan

Universitas Negeri Malang, Alamat: Jl. Semarang 5 Kota Malang, Telp: +62 341-551312,

Website: www.um.ac.id, E-mail: ahmadputrasaja@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan *Free Fatty Acid* (FFA) dan viskositas pada limbah minyak goreng (*Waste Cooking Oil/WCO*) yang dihasilkan oleh UMKM di Kota Malang sebagai upaya pengendalian mutu bahan baku biodiesel. Pengujian dilakukan terhadap 60 sampel minyak dengan metode titrasi alkalimetri untuk FFA dan viskometer Brookfield untuk viskositas. Hasil analisis menunjukkan bahwa rata-rata kadar FFA sebesar 1,38% dengan kisaran 0,07–7,46%, sedangkan viskositas rata-rata sebesar 31,28 cP dengan kisaran 22,75–42,13 cP. Sebagian besar sampel memenuhi batas aman (<2%) untuk proses transesterifikasi langsung, sementara sekitar 25% sampel memerlukan pra-esterifikasi. Analisis korelasi Pearson menunjukkan hubungan negatif lemah namun signifikan ($r = -0,2898$; $p < 0,05$), menandakan FFA dan viskositas perlu dikendalikan secara independen. Hasil ini menegaskan pentingnya penerapan sistem pengendalian mutu sederhana di tingkat UMKM sebagai langkah awal menuju produksi biodiesel berkelanjutan.

Kata Kunci: *Free Fatty Acid, Viskositas, Biodiesel, Pengendalian Mutu, Minyak Jelantah*

Abstract

This research aims to analyze the *Free Fatty Acid* (FFA) content and viscosity of waste cooking oil (WCO) generated by small and medium enterprises (SMEs) in Malang City as part of quality control for biodiesel feedstock. Sixty oil samples were tested using the alkalimetric titration method for FFA and a Brookfield viscometer for viscosity measurement. The results showed an average FFA value of 1.38% (ranging from 0.07% to 7.46%) and an average viscosity of 31.28 cP (ranging from 22.75 to 42.13 cP). Most samples met the safe limit (<2%) for direct base-catalyzed transesterification, while approximately 25% required a pre-esterification process. The Pearson correlation indicated a weak but significant negative relationship ($r = -0.2898$; $p < 0.05$), suggesting that FFA and viscosity must be controlled independently. These findings highlight the importance of implementing a simple quality control system at the SME level to support sustainable biodiesel production.

Keywords: *Free Fatty Acid, Viscosity, Biodiesel, Quality Control, Waste Cooking Oil*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi yang terus meningkat mendorong upaya diversifikasi sumber energi guna mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan menekan emisi gas rumah kaca. Salah satu alternatif yang potensial adalah biodiesel, pemerintah Indonesia telah memperkuat kebijakan energi berkelanjutan melalui implementasi program mandat biodiesel B35, dengan proyeksi produksi mencapai sekitar 13 miliar liter pada tahun 2024, dan konsumsi

domestik lebih dari 7,42 juta kiloliter hingga pertengahan tahun berjalan[1]. Seiring dengan meningkatnya konsumsi minyak goreng nasional yang mencapai lebih dari 20 juta ton per tahun, potensi limbah minyak jelantah (*waste cooking oil – WCO*) sebagai bahan baku biodiesel menjadi sangat besar[2]. Kota Malang memiliki jumlah UMKM sektor kuliner yang tinggi dan menghasilkan limbah minyak goreng dalam jumlah signifikan setiap hari. Variasi kualitas minyak jelantah yang dihasilkan dari perbedaan bahan baku, frekuensi penggunaan, dan

teknik penggorengan menyebabkan ketidakseragaman mutu bahan baku biodiesel, yang pada akhirnya berpotensi menurunkan efisiensi proses produksi jika tidak dilakukan pengendalian mutu yang sistematis[3].

Permasalahan utama yang muncul adalah ketidakkonsistenan mutu limbah minyak jelantah UMKM, yang secara langsung mempengaruhi keberhasilan proses transesterifikasi dan kualitas biodiesel yang dihasilkan. Dua parameter kunci yang menjadi indikator mutu bahan baku biodiesel adalah kandungan Free Fatty Acid (FFA) dan viskositas. Kandungan FFA yang tinggi dapat menyebabkan pembentukan sabun pada reaksi transesterifikasi basa, sehingga menurunkan hasil konversi (yield). Nilai viskositas yang tinggi berpotensi menurunkan efisiensi pembakaran dan mempengaruhi kinerja mesin. Berdasarkan hasil pengujian terhadap 60 sampel minyak jelantah UMKM di Kota Malang, diketahui bahwa rata-rata FFA sebesar 1,38% dengan rentang 0,07–7,46%, viskositas rata-rata sebesar 31,28 cP dengan rentang 22,75–42,13 cP. Hasil ini menunjukkan sebagian bahan baku layak digunakan langsung, sementara sebagian lainnya memerlukan pra-esterifikasi untuk menurunkan kadar FFA[4].

Meskipun topik mengenai karakteristik mutu minyak jelantah telah banyak diteliti, kajian yang mengintegrasikan analisis kuantitatif FFA dan viskositas secara simultan dengan fokus spesifik pada konteks UMKM daerah tertentu masih terbatas. Khusus di Kota Malang, belum banyak penelitian yang menyediakan data empiris terpusat mengenai distribusi nilai FFA dan viskositas serta hubungan statistik di antara keduanya yang dikaitkan dengan implikasi pengendalian mutu. Hasil awal dari penelitian ini menunjukkan adanya korelasi negatif lemah namun signifikan antara FFA dan viskositas ($r = -0,2898$; $p < 0,05$) dengan nilai determinasi rendah ($R^2 = 0,084$), yang mengindikasikan bahwa perubahan viskositas hanya sedikit dipengaruhi oleh kandungan FFA. Hal ini memperkuat pandangan bahwa setiap parameter harus dievaluasi secara independen dan bahwa mutu minyak jelantah ditentukan oleh lebih banyak faktor, termasuk kontaminasi, tingkat polimerisasi, dan kondisi operasional UMKM [5].

Penelitian ini memberikan kontribusi kebaruan berupa: (1) penyajian dataset empiris komprehensif dari 60 sampel WCO UMKM Kota Malang, (2) analisis statistik terintegrasi antara FFA dan viskositas untuk mengidentifikasi pola mutu bahan

baku biodiesel, serta (3) penyusunan rekomendasi pengendalian mutu sederhana dan aplikatif bagi UMKM, mencakup ambang pra-proses bagi sampel FFA tinggi serta langkah mitigasi viskositas melalui filtrasi, pemanasan, atau penyulingan. Temuan ini memperkuat pengetahuan ilmiah tentang karakteristik WCO lokal sekaligus mendukung implementasi energi berkelanjutan berbasis limbah di wilayah perkotaan [6], [7].

2. LANDASAN TEORI

2.1 Biodiesel dan Urgensi Pengendalian Mutu

Biodiesel merupakan bahan bakar cair yang diproduksi melalui proses transesterifikasi trigliserida dari minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol (umumnya metanol), menghasilkan metil ester dan gliserol sebagai produk samping. Bahan baku biodiesel sangat beragam, termasuk waste cooking oil (WCO) atau minyak jelantah, yang memiliki keunggulan dari sisi ketersediaan dan biaya rendah. Namun, kualitas biodiesel yang dihasilkan sangat bergantung pada mutu awal bahan baku, khususnya kadar Free Fatty Acid (FFA), kadar air, dan viskositas[2], [8].

Proses penggorengan menggunakan minyak jelantah berulang menyebabkan terjadinya hidrolisis dan oksidasi trigliserida, yang meningkatkan kandungan FFA dan menurunkan stabilitas kimia minyak. FFA yang tinggi dapat menyebabkan pembentukan sabun (*saponifikasi*) saat proses transesterifikasi basa, sehingga menurunkan efisiensi konversi dan menghambat pemisahan fase. Oleh karena itu, pengendalian mutu bahan baku biodiesel perlu dilakukan melalui analisis parameter FFA dan viskositas sebelum proses produksi[9].

2.2 Free Fatty Acid (FFA)

2.2.1 Pengertian FFA

Free Fatty Acid (FFA) atau asam lemak bebas adalah komponen asam lemak yang terbentuk akibat reaksi hidrolisis trigliserida oleh air atau oksidasi selama pemanasan berulang. Semakin sering minyak digunakan untuk menggoreng, semakin banyak trigliserida yang terurai menjadi FFA dan gliserol. Kadar FFA merupakan salah satu indikator utama degradasi minyak dan menjadi parameter penting dalam menentukan kelayakan minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel[4].

Standar mutu untuk bahan baku biodiesel menyebutkan bahwa nilai FFA tidak boleh melebihi

2% (berdasarkan asam oleat) agar dapat langsung digunakan dalam proses transesterifikasi basa (SNI 7182:2015). Jika kadar FFA melebihi batas tersebut, maka diperlukan pra-esterifikasi dengan katalis asam untuk menurunkannya[9].

2.2.2 Prinsip dan Rumus Perhitungan FFA

Pengujian FFA dilakukan dengan titrasi alkalimetri menggunakan larutan NaOH 0,1 N dan indikator fenolftalein (PP). Prinsipnya adalah netralisasi asam lemak bebas oleh basa, dan hasilnya dinyatakan dalam persen (% FFA). Persamaan perhitungannya adalah:

$$FFA(\%) = \frac{V_{NaOH} N_{NaOH} \times BM_{asam\ oleat}}{W_{sampel}} \times 100 \quad (1)$$

dengan:

- V_{NaOH} = volume NaOH (mL)
 N_{NaOH} = normalitas NaOH (N)
 $BM_{asam\ oleat}$ = berat asam oleat = 282 g/mol
 W_{sampel} = berat sampel minyak (gram)

Nilai FFA (%) menggambarkan jumlah asam lemak bebas dalam minyak, di mana nilai tinggi menandakan degradasi yang parah.

2.3 Viskositas

2.3.1 Pengertian dan Prinsip

Viskositas adalah ukuran ketahanan fluida terhadap aliran, yang menggambarkan gesekan internal antar molekul. Semakin tinggi viskositas, semakin sulit fluida mengalir. Dalam konteks biodiesel, viskositas menentukan kemampuan bahan bakar untuk diatomisasi saat disemprotkan ke ruang bakar. Nilai viskositas yang terlalu tinggi menyebabkan pembakaran tidak sempurna, meningkatkan emisi, dan menurunkan efisiensi mesin[10], [8].

Standar SNI 7182:2015 untuk biodiesel menetapkan viskositas kinematik antara 2,0 – 6,0 cSt pada suhu 40°C. Oleh karena itu, pengujian viskositas pada suhu konstan 40°C sangat penting untuk memastikan konsistensi hasil dan kesesuaian dengan kondisi standar[9].

2.3.2 Metode Pengujian Viskositas

Viskositas minyak diukur menggunakan viskometer Brookfield pada suhu 40°C, dengan empat variasi kecepatan putaran (6, 12, 30, dan 60 RPM). Setiap nilai viskositas yang diperoleh pada kecepatan tertentu dihitung nilai rata-ratanya (mean) sebagai hasil akhir uji viskositas, menggunakan persamaan:

$$Viskositas = \frac{V_6 + V_{12} + V_{30} + V_{60}}{4} \quad (2)$$

Hasil rata-rata ini memberikan representasi viskositas umum minyak pada kondisi termal dan mekanis yang stabil[8].

2.3.3 Hubungan FFA dan Viskositas

Hubungan antara FFA dan viskositas tidak selalu bersifat linier. FFA yang tinggi sering kali berasosiasi dengan peningkatan viskositas akibat pembentukan senyawa polimer hasil oksidasi minyak. Namun, hasil empiris menunjukkan bahwa korelasi keduanya dapat lemah atau bervariasi tergantung pada komposisi minyak awal, suhu operasi, dan tingkat oksidasi. Karena itu, kedua parameter ini perlu dianalisis secara independen dalam penentuan mutu bahan baku biodiesel[3], [9].

2.4 Pengendalian Mutu Bahan Baku Biodiesel

Pengendalian mutu (quality control) bertujuan untuk memastikan bahwa bahan baku yang digunakan memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan agar proses transesterifikasi dapat berlangsung optimal. Dalam konteks minyak jelantah UMKM, pengendalian mutu dapat dilakukan melalui:

1. Analisis FFA dan viskositas rutin untuk menentukan kelayakan bahan baku.
2. Penentuan batas kendali mutu (control limit) menggunakan pendekatan statistik (misalnya $mean \pm 3\sigma$).
3. Tindakan pra-proses seperti pra-esterifikasi, filtrasi, atau pemanasan untuk menurunkan FFA dan viskositas.

Dengan pendekatan tersebut, mutu bahan baku biodiesel dapat dikendalikan secara sederhana namun efektif di tingkat UMKM[2].

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental kuantitatif yang bertujuan untuk menganalisis karakteristik kimia-fisik limbah minyak jelantah (*Waste Cooking Oil / WCO*) dari UMKM di Kota Malang sebagai bahan baku biodiesel. Analisis difokuskan pada dua parameter mutu utama, yaitu Free Fatty Acid (FFA) dan viskositas, yang berfungsi sebagai indikator utama kelayakan bahan baku sebelum proses transesterifikasi.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan pengambilan sampel dari beberapa UMKM sektor kuliner di Kota Malang yang secara rutin menghasilkan limbah minyak goreng. Seluruh proses pengujian laboratorium dilakukan di Laboratorium Energi, Universitas Negeri Malang, selama periode Mei hingga Juni 2025.

3.3 Bahan dan Alat Penelitian

Tabel 1 Bahan Penelitian

<i>Bahan</i>	<i>Fungsi</i>
<i>Limbah minyak jelantah (WCO)</i>	<i>Sampel utama yang dianalisis</i>
<i>NaOH 0,1 N</i>	<i>Larutan titran untuk pengujian FFA</i>
<i>Indikator Fenolftalein (PP)</i>	<i>Penanda titik akhir titrasi FFA</i>
<i>Etanol 95%</i>	<i>Pelarut minyak saat titrasi</i>
<i>Air suling (aquadess)</i>	<i>Membersihkan alat dan larutan sisa</i>

Tabel 2 Alat Penelitian

<i>Nama Alat</i>	<i>Spesifikasi</i>	<i>Fungsi</i>
<i>Buret & Pipet Volumetrik</i>	<i>Kapasitas 25 mL, akurasi $\pm 0,05$ mL</i>	<i>Mengukur volume larutan titrasi</i>

<i>Erlenmeyer & Beaker Glass</i>	<i>Kapasitas 100–250 mL</i>	<i>Tempat reaksi titrasi</i>
<i>Magnetic Stirrer & Termometer Digital</i>	<i>20–100°C</i>	<i>Memanaskan dan memantau suhu larutan</i>
<i>Viskometer Brookfield</i>	<i>Kecepatan 6, 12, 30, dan 60 RPM</i>	<i>Mengukur viskositas minyak</i>
<i>Timbangan Analitik</i>	<i>Ketelitian $\pm 0,001$ g</i>	<i>Menimbang sampel minyak</i>
<i>Water Bath</i>	<i>Suhu konstan 40°C</i>	<i>Menjaga kestabilan suhu</i>

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Persiapan Sampel

Sampel minyak jelantah dari UMKM disaring menggunakan kain halus untuk menghilangkan padatan sisa makanan, kemudian disimpan dalam wadah kaca tertutup rapat untuk mencegah oksidasi. Sebelum pengujian, setiap sampel dipanaskan hingga suhu 40°C menggunakan *water bath* untuk mencapai kondisi termal yang stabil.

3.4.2 Pengujian Kandungan FFA

Pengujian FFA dilakukan dengan metode titrasi alkalimetri. Sebanyak 5 gram sampel minyak dimasukkan ke dalam 50 mL etanol 95%, kemudian ditambahkan 3 tetes indikator fenolftalein (PP). Campuran tersebut dititrasi menggunakan larutan NaOH 0,1 N hingga warna merah muda stabil muncul sebagai titik akhir titrasi.

3.4.3 Pengujian Viskositas

Pengujian viskositas dilakukan menggunakan viskometer Brookfield pada suhu konstan 40°C. Setiap sampel diukur pada empat variasi kecepatan putaran (6, 12, 30, dan 60 RPM). Nilai viskositas diperoleh dalam satuan centipoise (cP) untuk setiap kecepatan, kemudian dihitung nilai rata-ratanya (mean).

3.5 Teknik Analisis Data

3.5.1 Analisis Statistik Deskriptif

Data hasil pengujian FFA dan viskositas dianalisis secara deskriptif meliputi nilai rata-rata,

standar deviasi, rentang, nilai maksimum, dan minimum untuk menggambarkan karakteristik mutu minyak jelantah.

3.5.2 Analisis Korelasi Pearson

Hubungan antara FFA dan viskositas dianalisis menggunakan korelasi Pearson (r), untuk mengetahui kekuatan hubungan linier antarvariabel, dengan interpretasi nilai r dari -1 hingga +1.

3.5.3 Analisis Regresi Linier

Hubungan fungsional antara FFA dan viskositas dimodelkan menggunakan regresi linier sederhana, dengan persamaan:

$$Y = a + bX \quad (3)$$

di mana Y = viskositas (cP), X = FFA (%), a = konstanta, dan b = koefisien regresi.

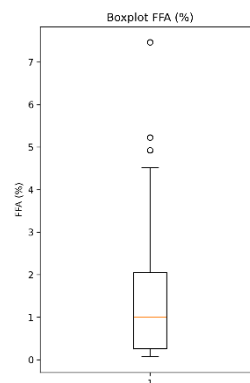
3.5.4 Evaluasi Kelayakan Mutu

Nilai FFA dibandingkan dengan batas standar bahan baku biodiesel menurut SNI 7182:2015 (FFA < 2%), sementara nilai viskositas dianalisis terhadap kecenderungan mutu fisik bahan baku.

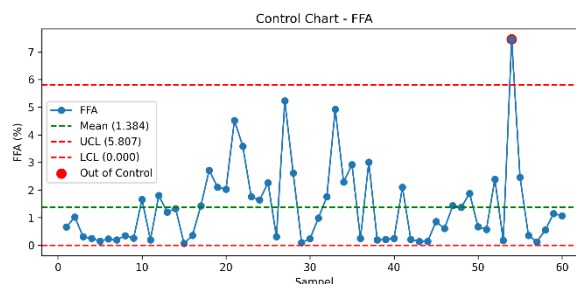
4. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Analisis Kandungan Free Fatty Acid (FFA)

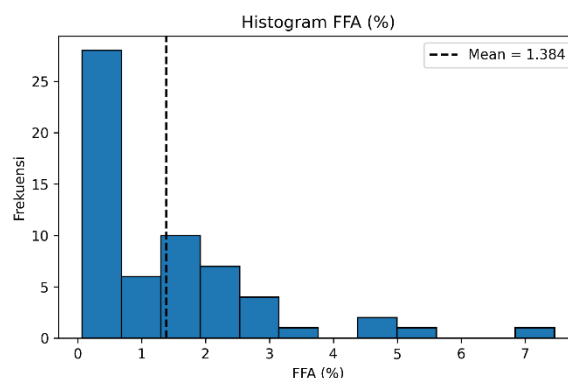
Nilai FFA pada 60 sampel minyak jelantah berkisar antara 0,07% hingga 7,46%, dengan rata-rata 1,38% dan standar deviasi $\pm 1,35$. Distribusi data menunjukkan sebagian besar sampel berada pada rentang 0,5–2%, yang masih memenuhi batas aman menurut SNI 7182:2015, yaitu FFA < 2% untuk proses transesterifikasi basa langsung. Namun, terdapat beberapa sampel dengan nilai FFA di atas 5%, menandakan tingkat degradasi minyak yang tinggi akibat pemanasan berulang dan kontaminasi air selama penggunaan.



Gambar 1 Boxplot Kandungan FFA



Gambar 2 Control Chart FFA



Gambar 3 Histogram Distribusi FFA

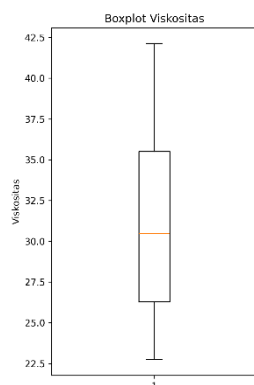
Gambar 1. boxplot FFA memperlihatkan bahwa sebagian besar data terdistribusi pada kisaran rendah, dengan beberapa *outlier* signifikan di atas 5%, menandakan adanya minyak jelantah yang telah mengalami oksidasi berat. Kondisi ini menunjukkan ketidakkonsistenan mutu bahan baku antar-UMKM, yang dapat berpengaruh langsung terhadap efisiensi konversi biodiesel

Gambar 2 control chart FFA, terlihat bahwa sebagian besar sampel masih berada dalam batas kendali statistik (UCL = 5,807; LCL = 0,000), dengan satu titik data yang melewati batas atas, yaitu sampel dengan nilai FFA 7,46%. Hal ini mengindikasikan kondisi proses yang tidak terkendali pada sebagian kecil UMKM, kemungkinan disebabkan oleh penggunaan minyak goreng secara ekstrem.

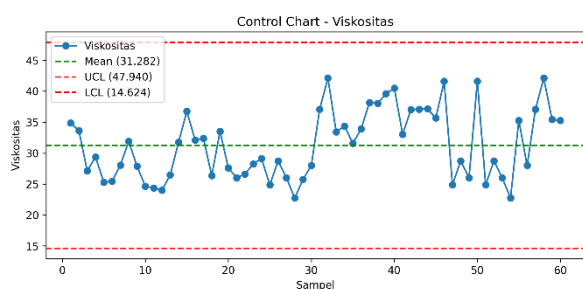
Histogram FFA memperlihatkan sebaran data yang miring ke kanan (*right-skewed*), menandakan mayoritas minyak masih tergolong layak sebagai bahan baku biodiesel tanpa pra-esterifikasi.

4.3 Analisis Viskositas Minyak Jelantah

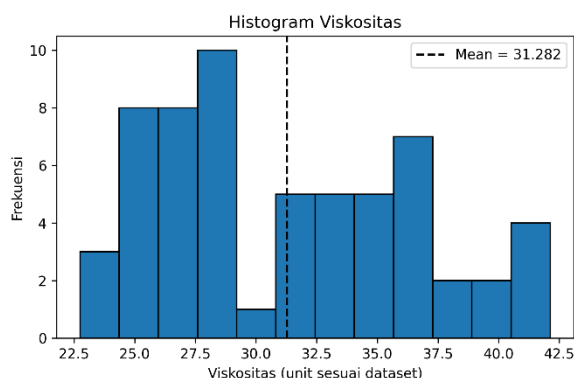
Nilai viskositas minyak jelantah UMKM berkisar antara 22,75 hingga 42,13 cP dengan rata-rata 31,28 cP. Meskipun viskositas absolut minyak jelantah lebih tinggi dibandingkan standar biodiesel (2–6 cSt), nilai ini masih wajar untuk bahan baku sebelum proses transesterifikasi. Variasi viskositas mencerminkan perbedaan kandungan polimer, residu makanan, dan oksidasi lemak yang terjadi selama penggorengan.



Gambar 4. Boxplot Viskositas



Gambar 5. Control Chart Viskositas



Gambar 6. Histogram Distribusi Viskositas

Gambar boxplot viskositas menunjukkan distribusi data yang cukup lebar dengan median di sekitar 30 cP. Sementara itu, control chart memperlihatkan seluruh data berada dalam batas kendali (UCL = 47,94; LCL = 14,62), yang menandakan bahwa variasi viskositas masih dalam kondisi stabil dan tidak ada anomali ekstrem. Histogram viskositas menggambarkan distribusi yang cenderung normal dengan sedikit pergeseran ke kanan, memperlihatkan bahwa sebagian besar minyak memiliki viskositas menengah.

Secara umum, hasil uji menunjukkan bahwa meskipun terjadi variasi antar-sampel, nilai viskositas masih berada dalam pola terkontrol. Fenomena ini dapat dikaitkan dengan proses degradasi termal minyak, di mana oksidasi dan polimerisasi asam lemak meningkatkan kekentalan, namun tidak secara signifikan di seluruh sampel.

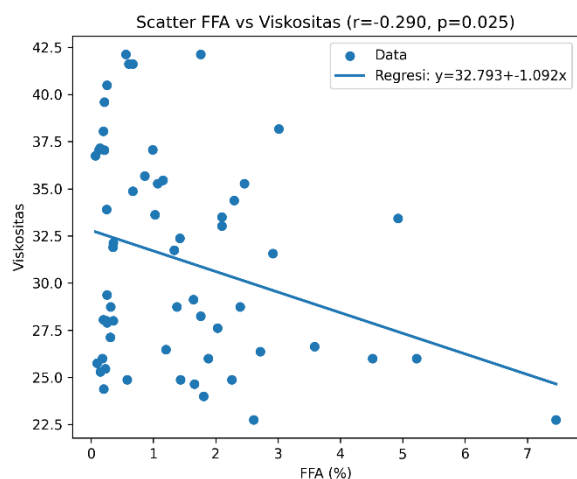
4.4 Hubungan Statistik antara FFA dan Viskositas

Analisis korelasi Pearson menunjukkan hubungan negatif lemah namun signifikan antara FFA dan viskositas, dengan nilai $r = -0,2898$ ($p < 0,05$). Hasil ini berarti peningkatan FFA cenderung diikuti penurunan kecil pada viskositas, tetapi hubungan tersebut tidak kuat. Nilai determinasi $R^2 = 0,084$ menunjukkan bahwa hanya sekitar 8,4% variasi viskositas dapat dijelaskan oleh FFA, sementara sisanya dipengaruhi oleh faktor lain seperti oksidasi, kontaminasi, dan tingkat pemanasan.

Persamaan regresi linier sederhana yang diperoleh adalah:

$$Y = 32,793 - 1,092X \quad (4)$$

dengan (Y) = viskositas (cP) dan (X) = FFA (%). Persamaan ini menggambarkan kecenderungan umum bahwa setiap kenaikan 1% FFA dapat menurunkan viskositas sekitar 1,09 cP, meskipun efeknya tidak dominan. Pola hubungan ini menguatkan hipotesis bahwa kedua parameter bersifat independen dan harus dikendalikan secara terpisah dalam proses mutu biodiesel.



Gambar 7. Scatter Plot dan Regresi Linier antara FFA dan Viskositas

Grafik scatter memperlihatkan sebaran data yang menyebar luas, tanpa pola linier yang kuat. Hal ini menunjukkan bahwa viskositas tidak dapat diprediksi hanya berdasarkan nilai FFA. Dalam konteks pengendalian mutu, hasil ini menegaskan perlunya pemantauan simultan kedua parameter untuk memastikan bahan baku biodiesel memenuhi syarat teknis.

4.5 Evaluasi Kelayakan Bahan Baku dan Implikasi Pengendalian Mutu

Dari 60 sampel yang diuji, sekitar 75% menunjukkan nilai FFA di bawah 2%, sehingga layak langsung digunakan dalam proses transesterifikasi basa. Sementara 25% sisanya memerlukan pra-esterifikasi untuk menurunkan kadar FFA hingga batas aman. Viskositas yang bervariasi antara 22,75–42,13 cP menunjukkan adanya minyak yang lebih kental, yang memerlukan perlakuan tambahan seperti filtrasi, pemanasan awal, atau penyulingan ulang agar proses reaksi lebih efisien.

Analisis *Statistical Process Control* (SPC) memperlihatkan bahwa baik parameter FFA maupun viskositas berada dalam batas kendali, yang berarti variasi yang terjadi masih bersifat alami dan tidak menunjukkan anomali proses. Hasil ini memperkuat bahwa sistem pengendalian mutu sederhana di tingkat UMKM dapat diterapkan dengan efektif melalui pengujian berkala kedua parameter tersebut. Selain itu, temuan ini mendukung strategi implementasi biodiesel berkelanjutan di daerah perkotaan, karena menunjukkan potensi besar minyak jelantah sebagai bahan baku alternatif yang terukur mutunya.

5. SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa mutu limbah minyak jelantah (WCO) dari UMKM Kota Malang dipengaruhi oleh perbedaan proses penggorengan dan penggunaan minyak. Dari 60 sampel yang diuji pada suhu 40°C, diperoleh rata-rata kandungan FFA sebesar 1,38% (0,07–7,46%) dan viskositas 31,28 cP (22,75–42,13 cP). Sebagian besar sampel (75%) memenuhi syarat kelayakan FFA < 2% untuk transesterifikasi basa, sedangkan 25% lainnya memerlukan pra-esterifikasi. Korelasi negatif lemah antara FFA dan viskositas ($r = -0,2898$; $R^2 = 0,084$) menegaskan bahwa kedua parameter perlu dikendalikan secara terpisah. Hasil *Statistical Process Control* menunjukkan kondisi mutu yang masih terkendali, menandakan pengolahan minyak jelantah di UMKM dapat diarahkan pada sistem pengendalian mutu sederhana melalui pemantauan FFA dan viskositas. Temuan ini menegaskan potensi besar minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel berkelanjutan sekaligus mendukung pengelolaan limbah ramah lingkungan di perkotaan.

KEPUSTAKAAN

- [1] R. Nabizadeh *et al.*, “Energy and cost analysis of bottom waste cooking oil (B-WCO) based solid alcohol biofuel and supernatant waste cooking oil (S-WCO) based biodiesel,” *Heliyon*, vol. 11, no. 4, p. e42180, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.heliyon.2025.e42180.
- [2] H. Hosseinzadeh-Bandbafha *et al.*, “Environmental life cycle assessment of biodiesel production from waste cooking oil: A systematic review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 161, p. 112411, June 2022, doi: 10.1016/j.rser.2022.112411.
- [3] V. Beghetto, “Waste Cooking Oils into High-Value Products: Where Is the Industry Going?,” *Polymers*, vol. 17, no. 7, p. 887, Mar. 2025, doi: 10.3390/polym17070887.
- [4] T. A. Degfie, T. T. Mamo, and Y. S. Mekonnen, “Optimized Biodiesel Production from Waste Cooking Oil (WCO) using Calcium Oxide (CaO) Nano-catalyst,” *Sci Rep*, vol. 9, no. 1, p. 18982, Dec. 2019, doi: 10.1038/s41598-019-55403-4.
- [5] S. M. Farouk, A. M. Tayeb, S. M. S. Abdel-Hamid, and R. M. Osman, “Recent advances in transesterification for sustainable biodiesel production, challenges, and prospects: a comprehensive review,” *Environ Sci Pollut*

- Res*, vol. 31, no. 9, pp. 12722–12747, Jan. 2024, doi: 10.1007/s11356-024-32027-4.
- [6] A. I. Osman *et al.*, “Optimizing biodiesel production from waste with computational chemistry, machine learning and policy insights: a review,” *Environ Chem Lett*, vol. 22, no. 3, pp. 1005–1071, June 2024, doi: 10.1007/s10311-024-01700-y.
- [7] R. Nabizadeh *et al.*, “Energy and cost analysis of bottom waste cooking oil (B-WCO) based solid alcohol biofuel and supernatant waste cooking oil (S-WCO) based biodiesel,” *Heliyon*, vol. 11, no. 4, p. e42180, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.heliyon.2025.e42180.
- [8] M. U. H. Suzihaque, H. Alwi, U. Kalthum Ibrahim, S. Abdullah, and N. Haron, “Biodiesel production from waste cooking oil: A brief review,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 63, pp. S490–S495, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.04.527.
- [9] S. M. Farouk, A. M. Tayeb, S. M. S. Abdel-Hamid, and R. M. Osman, “Recent advances in transesterification for sustainable biodiesel production, challenges, and prospects: a comprehensive review,” *Environ Sci Pollut Res*, vol. 31, no. 9, pp. 12722–12747, Jan. 2024, doi: 10.1007/s11356-024-32027-4.
- [10] T. Žvirblis, K. Čižiūnienė, and J. Matijošius, “Application of Machine Learning for Fuel Consumption and Emission Prediction in a Marine Diesel Engine Using Diesel and Waste Cooking Oil,” *JMSE*, vol. 13, no. 7, p. 1328, July 2025, doi: 10.3390/jmse13071328.