

# Rancang Bangun Prototype Dekanter dengan Sistem Elektrokoagulasi untuk Proses Pemisahan Gliserol dalam Crude Biodiesel

Larisa Mandalini\*, Diva Stivano, Dyah Nirmala, Addin Akbar

Program Studi Teknologi Rekayasa Bioproses Energi Terbarukan, Politeknik ATI Padang, Indonesia

\*Koresponden email: larisamandalini228@gmail.com

Diterima: 22 Desember 2025

Disetujui: 19 Januari 2026

## Abstract

This study aims to examine the effectiveness of an electrocoagulation (EC) system in biodiesel purification using a combination of iron rod and aluminum disk electrodes in a cone-bottom decanter, compared to conventional gravity decantation. The apparatus design includes a 4-liter working volume, 1 cm electrode spacing, and operation at 15 V AC for 1 hour. The results indicate that EC significantly accelerates glycerol separation, requiring only 1 hour compared to gravity decantation, which takes over 24 hours. The glycerol separation efficiency with EC reached 98.49%, higher than that of gravity decantation (97.70%). Biodiesel produced via EC yielded a total glycerol content of 0.19%, meeting the SNI standards ( $< 0.24\%$ ), whereas gravity decantation resulted in 0.29%. Other parameters, such as density (0.86 g/mL), viscosity (5.8 cSt), water content (0.008%), and %FAME (98.36%), also complied with the standards. In conclusion, the electrocoagulation system with a stacked disk electrode configuration is more effective in accelerating separation and improving biodiesel quality.

**Keywords:** *biodiesel, electrocoagulation, stacked-disk electrode, glycerol, separation efficiency*

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengkaji efektivitas sistem elektrokoagulasi (EC) dalam pemurnian biodiesel menggunakan kombinasi elektroda batang besi dan *disk* aluminium pada dekanter berbentuk *cone bottom*, dibandingkan dengan dekantasi gravitasi konvensional. Rancangan alat meliputi volume kerja 4 liter, elektroda berjarak 1 cm dan operasi 15 V AC selama 1 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa EC mempercepat pemisahan gliserol secara signifikan, yaitu hanya 1 jam dibandingkan dekantasi gravitasi yang memerlukan lebih dari 24 jam. Efisiensi separasi gliserol dengan EC mencapai 98,49%, lebih tinggi daripada dekantasi gravitasi (97,70%). Biodiesel hasil EC memiliki kadar gliserol total 0,19% yang memenuhi standar SNI ( $<0,24\%$ ), sedangkan dekantasi gravitasi menghasilkan 0,29%. Parameter lain seperti densitas (0,86 g/mL), viskositas (5,8 cSt), kadar air (0,008%), dan % FAME (98,36%) juga sesuai standar. Dapat disimpulkan bahwa sistem elektrokoagulasi dengan konfigurasi *stacked disk electrode* lebih efektif dalam mempercepat pemisahan dan meningkatkan kualitas biodiesel.

**Kata Kunci:** *biodiesel, elektrokoagulasi, stacked-disk elektroda, gliserol, efisiensi separasi*

## 1. Pendahuluan

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan karena berasal dari sumber minyak nabati atau lemak hewani. Biodiesel diproduksi melalui proses transesterifikasi antara trigliserida dengan alkohol menggunakan katalis basa atau asam. Hasil utama dari proses tersebut adalah metil ester (FAME) sebagai biodiesel dan gliserol sebagai produk samping [1]. Namun, biodiesel yang dihasilkan masih berupa *crude* biodiesel yang mengandung pengotor seperti gliserol, sabun, metanol sisa, dan katalis yang tidak bereaksi, yang dapat menurunkan kualitas fisikokimia dan kinerja mesin. Oleh karena itu, diperlukan proses pemurnian lanjutan agar biodiesel memenuhi standar mutu yang menjamin keamanan dan kompatibilitasnya sebagai bahan bakar alternatif [2].

Proses pemisahan gliserol umumnya dilakukan dengan metode dekantasi gravitasi. Meskipun sederhana, metode ini memerlukan waktu yang lama, dapat mencapai lebih dari 24 jam, dan hasilnya belum optimal karena masih terdapat lapisan gliserol yang terdispersi di fase biodiesel. Alternatif lain seperti sentrifugasi atau filtrasi membran memang dapat mempercepat proses, tetapi biaya operasional dan perawatannya tinggi sehingga kurang sesuai untuk skala kecil atau laboratorium [3], [4].

Salah satu metode yang potensial untuk meningkatkan efisiensi pemisahan gliserol adalah elektrokoagulasi. Elektrokoagulasi memanfaatkan arus listrik untuk melepaskan ion logam dari elektroda

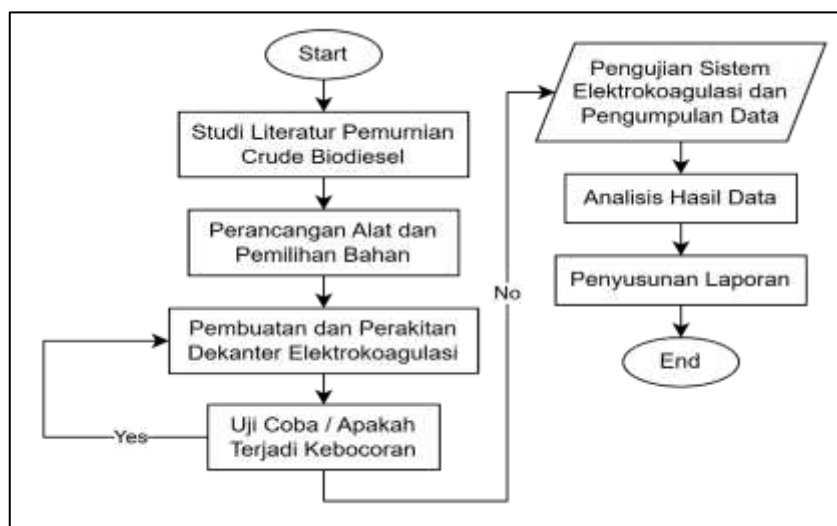
yang kemudian bereaksi membentuk flok hidroksida logam. Flok ini dapat mengadsorpsi dan mengikat partikel gliserol, sabun, serta pengotor lainnya sehingga mempercepat pemisahan fase antara gliserol dan biodiesel [5]. Prinsip ini telah banyak diterapkan pada pengolahan limbah cair, namun penerapannya pada pemurnian biodiesel masih jarang dilakukan, terutama untuk sistem yang bersifat sederhana dan berbiaya rendah.

Penelitian ini mengembangkan alat prototipe dekanter dengan sistem elektrokoagulasi (*electrocoagulation decanter system*) yang dirancang untuk mempercepat proses pemisahan gliserol dalam crude biodiesel. Alat ini dilengkapi dengan elektroda berbentuk batang besi dan *disk* aluminium dengan konfigurasi *stacked-disk*, serta memanfaatkan sumber arus AC agar mencegah pasivasi elektroda. Rancangan alat juga dibuat dengan dasar bentuk *cone bottom* agar mendukung dekantasi gliserol secara lebih cepat.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membangun alat *prototype* dekanter dengan sistem elektrokoagulasi untuk mempercepat proses pemisahan gliserol dalam *crude* biodiesel, serta menguji performa alat berdasarkan efisiensi pemisahan dan kualitas biodiesel yang dihasilkan sesuai standar SNI 7182:2015.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium dengan rancangan sistem elektrokoagulasi yang terintegrasi di dalam unit dekanter berbentuk *cone bottom*. Metode penelitian terdiri atas beberapa tahap, yaitu perancangan alat, pembuatan alat, pengujian alat, dan analisis hasil pengujian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### Bahan Penelitian

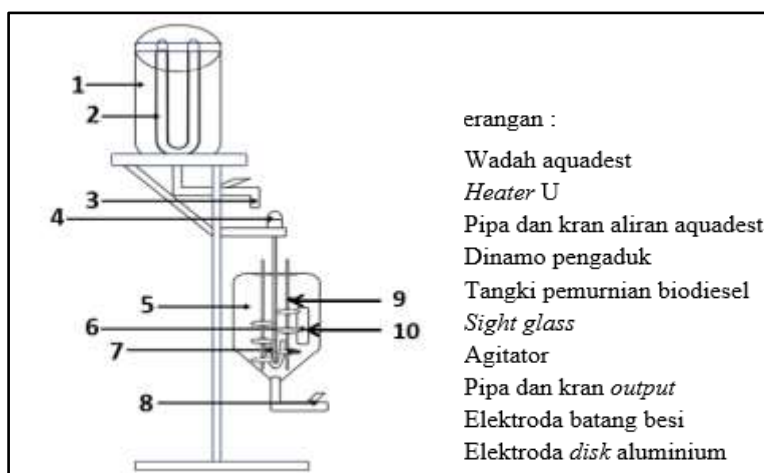
Bahan utama yang digunakan adalah *crude* biodiesel hasil proses transesterifikasi minyak sawit menggunakan katalis KOH dan metanol dengan perbandingan mol 1:3. Bahan lain yang digunakan adalah akuades panas (*aquadest*) untuk proses *wet washing*.

### Peralatan Penelitian

Alat utama yang digunakan adalah prototipe dekanter dengan sistem elektrokoagulasi, yang dirancang secara khusus untuk mempercepat proses pemisahan gliserol dari *crude* biodiesel. Komponen utama alat terdiri dari:

1. **Tabung utama dekanter**, berbentuk *cone bottom* dengan kapasitas total 5 liter (volume kerja 4 liter) terbuat dari *stainless steel* yang tahan terhadap pH rendah untuk pencegahan korosi. Dekanter juga dilengkapi *sight glass* pada dindingnya, sehingga memudahkan observasi proses pemisahan [6].
2. **Sistem elektrokoagulasi**, terdiri dari elektroda batang besi dan *disk* aluminium. Kedua jenis ion logam ini merupakan jenis logam yang mudah terhidrolisis menjadi hidroksida/polihidroksida yang berfungsi sebagai koagulan *in-situ* [7]. Elektroda disusun dalam konfigurasi *stacked-disk* horizontal dengan jarak antar *disk* 1 cm dan jarak antar elektroda 1,5 cm.
3. **Sumber arus listrik AC (15 V)** digunakan untuk mengaktifkan sistem elektrokoagulasi, karena arus bolak-balik mampu mencegah pasivasi elektroda [4].

4. **Sistem pembuangan bawah (*drain valve*)**, digunakan untuk mengeluarkan lapisan gliserol yang terendapkan di dasar tabung setelah proses pemisahan selesai.



**Gambar 2.** Desain 2D Konstruksi Alat Dekanter Elektrokoagulasi

**Tabel 1.** Spesifikasi Komponen Utama Alat Dekanter Elektrokoagulasi

No	Spesifikasi	Nilai	Satuan
1.	Tipe	Silinder vertikal cone bottom	-
2.	Bahan konstruksi	Stainless steel	-
3.	Jumlah unit	1	Unit
4.	Volume kerja	4.000	cm <sup>3</sup>
5.	Volume total dekanter	5.000	cm <sup>3</sup>
6.	Safety factor	20	%
7.	Diameter dekanter (Dt)	15	cm
8.	Tinggi dekanter (Ht)	30	cm
9.	Tebal dinding dekanter (Tt)	2,5	mm
10.	Panjang batang besi elektroda	20	cm
11.	Diameter <i>disk</i> aluminium	6	cm
12.	Jumlah <i>disk</i> aluminium	4	Buah
13.	Jarak elektroda	1,5	cm
14.	Tegangan elektroda	15	AC Volt
15.	Arus elektroda	1	A

## Prosedur Penelitian

### 1. Perancangan dan Pembuatan Alat

Perancangan alat dilakukan berdasarkan kebutuhan pemisahan gliserol dari crude biodiesel secara cepat dan efisien. Desain alat dibuat menggunakan perangkat lunak Solidworks sebelum dilakukan pembuatan secara fisik. Seluruh komponen elektroda dan tabung dekanter dirakit menjadi satu sistem terbuka

### 2. Pengujian Sistem Elektrokoagulasi

Pengujian dilakukan dengan mengisi tabung dekanter sebanyak 4 liter *crude* biodiesel. Elektroda dihubungkan ke sumber arus AC 15 V dan dioperasikan selama 1 jam. Selama proses, terbentuk flok halus di dalam cairan yang membantu pengendapan gliserol. Setelah itu, lapisan gliserol di bagian bawah tabung dikeluarkan melalui katup pembuangan.

### 3. Proses Pembanding (Dekantasi Gravitasi)

Sebagai pembanding, dilakukan dekantasi gravitasi tanpa elektrokoagulasi terhadap sampel *crude* biodiesel dengan kondisi sama. Proses dibiarkan selama 24 jam hingga terjadi pemisahan alami antara biodiesel dan gliserol.

### 4. Analisis Kualitas Biodiesel

Biodiesel hasil proses elektrokoagulasi dan dekantasi diuji mutu fisika-kimianya berdasarkan SNI 7182 : 2015 meliputi densitas, viskositas kinematik, kadar air, kadar gliserol total, dan kadar metil ester (% FAME).



**Gambar 3.** Prototipe Dekanter Elektrokoagulasi yang Telah Dirakit

### 3. Hasil dan Pembahasan

Dekanter elektrokoagulasi dirancang untuk mempercepat proses pemisahan gliserol dalam crude biodiesel dengan sistem elektrokoagulasi terintegrasi di dalam tabung utama. Tabung utama berbentuk cone bottom dengan kapasitas total 5 liter dan volume kerja 4 liter, terbuat dari bahan akrilik transparan agar proses dapat diamati secara visual.

Rancangan alat terdiri atas beberapa bagian utama, yaitu:

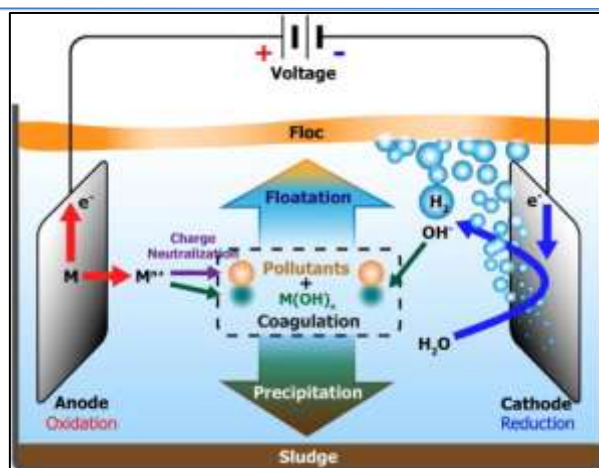
1. Tabung utama sebagai wadah proses elektrokoagulasi dan dekantasi *crude* biodiesel.
2. Sistem elektrokoagulasi dengan kombinasi elektroda batang besi dan *disk* aluminium yang disusun horizontal dengan konfigurasi *stacked-disc*.
3. Terminal listrik tegangan untuk menghubungkan sumber arus AC 15 V ke elektroda.
4. Katup pembuangan bawah untuk mengeluarkan lapisan gliserol yang terpisah setelah proses selesai.
5. Bentuk *cone bottom* pada dekanter berfungsi memusatkan endapan gliserol di bagian bawah tabung sehingga memudahkan pemisahan [8]. Selain itu, elektroda disusun dengan jarak antar disk 1 cm untuk menjaga kestabilan medan listrik dan memperluas area ionisasi.

### Prinsip Kerja

Prinsip kerja alat ini didasarkan pada proses elektrokoagulasi, yaitu pengendapan pengotor dan gliserol melalui pembentukan flok akibat reaksi elektroda. Ketika arus AC 15 V dialirkan, ion logam  $\text{Fe}^{2+}$  dari besi dan  $\text{Al}^{3+}$  dari aluminium akan terlepas ke dalam larutan. Ion-ion ini bereaksi dengan ion hidroksida dalam campuran biodiesel untuk membentuk endapan hidroksida logam ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dan  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) [9], [10].

Endapan ini berfungsi sebagai koagulan yang dapat mengikat molekul gliserol, sabun, dan katalis sisa. Flok yang terbentuk kemudian menggumpal dan mengendap ke bagian bawah tangki akibat gravitasi. Proses elektrokoagulasi ini tidak hanya mempercepat pemisahan gliserol, tetapi juga menurunkan kandungan sabun dan air dalam biodiesel [5].

Arus bolak-balik (AC) dipilih karena mampu mencegah terbentuknya lapisan pasif pada permukaan elektroda yang dapat menurunkan efisiensi reaksi. Dengan demikian, pelepasan ion logam dapat berlangsung stabil selama proses berlangsung [11].



**Gambar 1.** Prinsip Kerja Sistem Elektrokoagulasi  
Sumber: AlJaberi and Mohammed (2018)

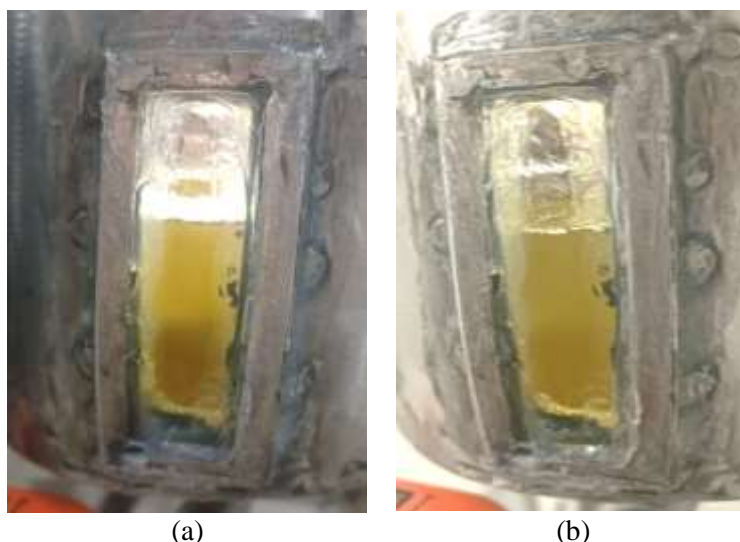
### Pengujian Alat

Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan alat selama 1 jam menggunakan 4 liter crude biodiesel. Tegangan dijaga konstan pada 15 V AC. Setelah proses selesai, lapisan gliserol yang terendap di bagian bawah tabung dipisahkan melalui katup pembuangan.

Sebagai pembanding, dilakukan juga proses dekantasi gravitasi tanpa arus listrik dengan volume dan bahan yang sama, kemudian diamati selama 24 jam. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pemisahan fase dengan elektrokoagulasi terjadi jauh lebih cepat dan menghasilkan biodiesel yang lebih jernih dibanding metode konvensional.

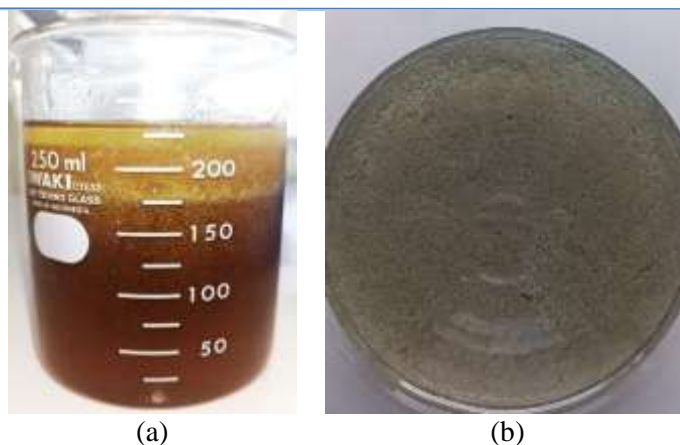
**Tabel 1.** Perbandingan Hasil Pemisahan antara Metode Elektrokoagulasi dan Dekantasi Gravitasi

Parameter	Satuan	Metode Dekantasi Gravitasi	Metode Elektrokoagulasi (EC)
Waktu Pemisahan	Jam	24	1
Kadar Gliserol Total Akhir	%-massa	0,29	0,19
Efisiensi Separasi Gliserol	%	97,70	98,32



**Gambar 2.** Visualisasi Biodiesel dan Gliserol saat Proses Elektrokoagulasi (a) Mula-mula; (b) Setelah 1 jam





**Gambar 3.** Hasil Gliserol yang Sudah Terpisah Menggunakan Sistem Elektrokoagulasi  
(a) Tampak samping; (b) Tampak atas pengumpulan flok

### *Efisiensi Pemisahan / Separation Efficiency*

Efisiensi pemisahan gliserol dihitung berdasarkan perbandingan volume gliserol yang berhasil terpisah terhadap total gliserol awal dalam *crude biodiesel* [13]. Berdasarkan hasil pengamatan, metode elektrokoagulasi menghasilkan efisiensi pemisahan sebesar 98,32%, sedangkan metode dekantasi gravitasi hanya mencapai 97,70%.

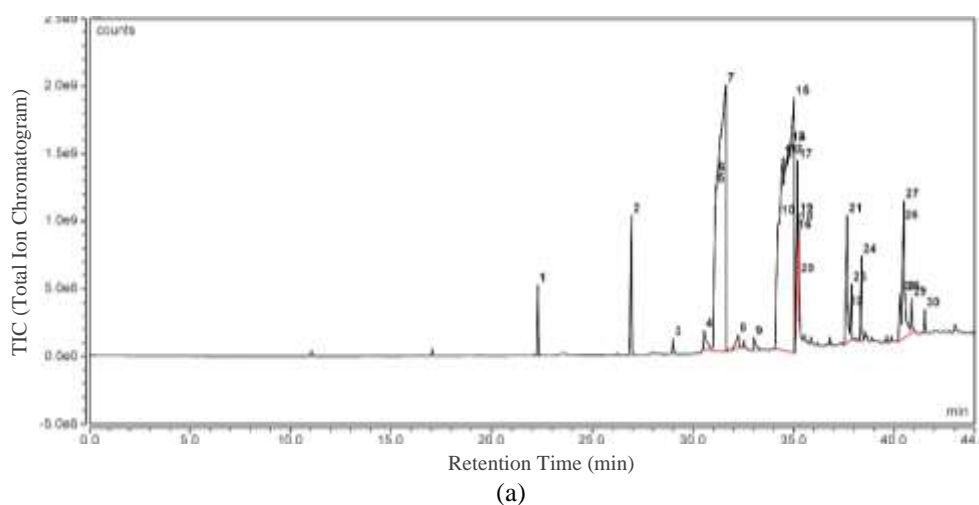
Peningkatan efisiensi ini disebabkan oleh pembentukan flok halus yang mempercepat dekantasi dan meningkatkan gaya tarik antar partikel. Selain itu, medan listrik yang merata akibat konfigurasi *stacked-disk* memperluas area reaksi elektroda sehingga proses koagulasi berjalan lebih efektif [14].

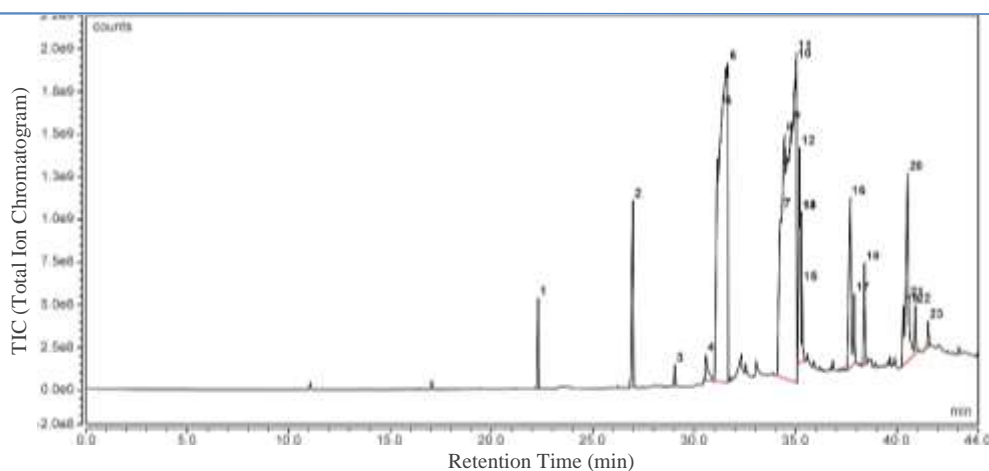
**Tabel 1.** Perbandingan Hasil Perhitungan Efisiensi Pemisahan Gliserol dengan Sistem Elektrokoagulasi dan Dekantasi Gravitasi

Parameter	Simbol	Satuan	Dekantasi Gravitasi	Elektrokoagulasi (EC)
Kadar Gliserol Sebelum Pemisahan	$V_i$	%-massa	12,58	11,27
Kadar Gliserol Setelah Pemisahan	$V_f$	%-massa	0,29	0,19
Efisiensi Pemisahan Gliserol ( $\eta_g(\%)$ )	$\eta_g(\%) = \left( \frac{V_f}{V_i} \right) \times 100\%$	%	97,70	98,32

### Analisis Kualitas Biodiesel

#### a. Hasil Uji Biodiesel dengan GC-MS





(b)

**Gambar 4.** Hasil Uji % FAME pada Biodiesel Menggunakan GC-MS

(a) Menggunakan Dekantasi dengan Sistem Elektrokoagulasi; (b) Menggunakan Dekantasi Gravitasi

Berdasarkan **Gambar 4** hasil pengujian biodiesel untuk mengukur %FAME menggunakan instrumen GC-MS menunjukkan bahwa total kandungan senyawa *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) pada biodiesel hasil dekantasi dengan sistem elektrokoagulasi dan gravitasi memiliki persentase yang sangat tinggi sebagai komponen utama. Pada biodiesel hasil dekantasi dengan sistem elektrokoagulasi (a), akumulasi dari seluruh senyawa metil ester yang terdeteksi (seperti metil palmitat, metil oleat, metil stearat, dan lainnya) mencapai sekitar 98,36% dari total area kromatogram. Sementara itu, pada biodiesel hasil dekantasi gravitasi (b), total kandungan %FAME tercatat sebesar 96,50%. Perbedaan tipis ini menunjukkan bahwa kedua sampel telah berhasil dikonversi menjadi biodiesel dengan efisiensi yang hampir serupa melalui proses transesterifikasi.

Selain senyawa FAME, dalam kedua sampel tersebut juga terdeteksi keberadaan senyawa minor non-ester lainnya. Senyawa-senyawa ini meliputi asam lemak bebas seperti octadecanoic acid dan ricinoleic acid, serta senyawa antara atau pengotor seperti glycerol 1-palmitate dan oxacyclododecan-2-one. Meskipun terdapat senyawa lain, dominasi % FAME yang melebihi angka 90% pada biodiesel dari kedua metode menunjukkan bahwa kualitas produk biodiesel tersebut secara komposisi kimia sudah memenuhi persyaratan standar SNI 7182:2015 yaitu 96,50% [15].

#### b. Perbandingan Hasil Uji Mutu Biodiesel

Berdasarkan **Tabel 2** di bawah, hasil pengujian biodiesel untuk mengukur %FAME menggunakan instrumen GC-MS menunjukkan bahwa parameter massa jenis dan viskositas kinematik pada kedua metode dinyatakan lolos karena berada dalam rentang syarat mutu, perbedaan signifikan terlihat pada tingkat kemurnian produk. Metode Dekantasi Gravitasi dinyatakan gagal pada parameter Kadar Air dan Sedimen (0,103%) serta Gliserol Total (0,29%) karena melebihi batas maksimal SNI, sedangkan metode Elektrokoagulasi berhasil menekan angka tersebut hingga 0,008% dan 0,19% sehingga dinyatakan Lolos pada seluruh parameter uji. Secara keseluruhan, penggunaan teknologi elektrokoagulasi terbukti lebih efektif dibandingkan dekantasi gravitasi dalam memisahkan pengotor dan meningkatkan kualitas akhir biodiesel sesuai standar nasional.

**Tabel 2.** Perbandingan Hasil Uji Mutu Biodiesel antara Metode Elektrokoagulasi dan Dekantasi

No.	Parameter Uji	Satuan	Persyaratan SNI 7182:2015	Hasil Dekantasi Gravitasi	Hasil Elektrokoagulasi (EC)	Status
1	Massa Jenis (40°C)	kg/m <sup>3</sup> (g/mL)	850 – 890 (0,85–0,89)	870 (0,87)	860 (0,86)	Lolos
2	Viskositas Kinematik (40°C)	cSt	2,3 – 6,0	5,9	5,8	Lolos
3	Kadar Air dan Sedimen	%-vol	maks. 0,05	0,103	0,008	EC Lolos, DG Gagal
4	Gliserol Total	%-massa	maks. 0,24	0,29	0,19	EC Lolos, DG Gagal
5	Kadar Ester Metil (FAME)	%-massa	min. 96,50	96,50	98,36	Lolos

Secara teoritis, perbedaan ini dapat dijelaskan melalui mekanisme elektrokoagulasi. Proses ini menghasilkan ion logam dari elektroda (Fe dan Al) yang berfungsi sebagai koagulan in-situ. Ion tersebut mengalami hidrolisis dan membentuk flok hidroksida logam yang mampu menjebak partikel pengotor, sabun, dan sisa gliserol dalam biodiesel [9], [10]. Mekanisme ini tidak hanya mempercepat pemisahan fase, tetapi juga meningkatkan kejernihan biodiesel yang dihasilkan. Hal ini sejalan dengan penelitian Ampairojanawong (2023) yang menunjukkan bahwa elektrokoagulasi mampu mempercepat waktu pemisahan dari lebih 24 jam menjadi hanya beberapa menit, dengan kualitas biodiesel mencapai standar EN 14214 dan ASTM D6751 [5].

Sementara itu, dekantasi gravitasi hanya mengandalkan perbedaan densitas antara biodiesel dan gliserol. Dalam 1 jam, pemisahan belum maksimal karena gliserol masih terbawa pada fase biodiesel. Akibatnya, kualitas biodiesel yang diperoleh lebih rendah dan membutuhkan tahapan pemurnian tambahan untuk mencapai standar mutu.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, alat prototype dekanter dengan sistem elektrokoagulasi berhasil dirancang dan diuji untuk mempercepat pemisahan gliserol dalam crude biodiesel. Sistem ini menggunakan kombinasi elektroda batang besi dan disk aluminium dalam konfigurasi stacked disk, serta sumber arus AC 15 V untuk mencegah pasivasi elektroda. Bentuk cone bottom efektif memusatkan endapan gliserol, menurunkan waktu pemisahan dari >24 jam menjadi 1 jam dengan efisiensi 98,49%. Biodiesel hasil proses memenuhi standar SNI 7182:2015, dengan kadar gliserol total 0,19% dan parameter lain sesuai. Sistem ini merupakan solusi efektif, hemat waktu, dan ekonomis untuk pemurnian biodiesel skala laboratorium hingga semi-industri. Penelitian lanjutan disarankan untuk pengembangan skala semi-kontinu dan optimasi tegangan serta waktu operasi.

#### 5. Referensi

- [1] E. I. Rhofita, "Perancangan Mesin Pencuci Biodiesel dengan Sistem Penyemprotan Air dalam Minyak," *Tekno. Inf. dan Komun. Ind.*, vol. 9, no. x, pp. 529–537, 2017.
- [2] H. Niawanti, "Review Perkembangan Metode Produksi Dan Teknologi Pemurnian Dalam Pembuatan Biodiesel," *J. Chemurg.*, vol. 04, no. 1, p. 27, 2020.
- [3] R. Ampairojanawong, A. Boripun, S. Ruankon, T. Suwanasri, and T. Kangsadan, "Development of Purification Process Using Electrocoagulation Technique for Biodiesel Produced via Homogeneous Catalyzed Transesterification Process of Refined Palm Oil," *E3S Web Conf.*, vol. 141, 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202014101010.
- [4] J. U. Putra, L. Kalsum, and Y. Bow, "Effect of DC Voltage on Prototype of Biodiesel Electrostatic Separator with Glycerin from Waste Cooking Oil," *Indones. J. Fundam. Appl. Chem.*, vol. 3, no. 3, pp. 89–93, 2018, doi: 10.24845/ijfac.v3.i3.89.
- [5] R. Ampairojanawong, A. Boripun, S. Ruankon, T. Suwanasri, K. Cheenkachorn, and T. Kangsadan, "Separation Process of Biodiesel-Product Mixture from Crude Glycerol and Other Contaminants Using Electrically Driven Separation Technique with AC High Voltage," *Electrochem*, vol. 4, no. 1, pp. 123–144, 2023, doi: 10.3390/electrochem4010011.
- [6] D. Yuliana and H. Irawan, "Sight-Glass Degradation in Urea Carbamate Solution," *Indones. J. Eng. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 041–045, 2021, doi: 10.51630/ijes.v3i1.34.
- [7] P. I. Omwene and M. Kobya, "Treatment of domestic wastewater phosphate by electrocoagulation using Fe and Al electrodes: A comparative study," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 116, pp. 34–51, 2018, doi: 10.1016/j.psep.2018.01.005.
- [8] P. Menesklou, H. Nirschl, and M. Gleiss, "Dewatering of finely dispersed calcium carbonate-water slurries in decanter centrifuges: About modelling of a dynamic simulation tool," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 251, p. 117287, 2020, doi: 10.1016/j.seppur.2020.117287.
- [9] J. N. Hakizimana *et al.*, "Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches," *Desalination*, vol. 404, pp. 1–21, 2017, doi: 10.1016/j.desal.2016.10.011.
- [10] M. Y. A. Mollah, P. Morkovsky, J. A. G. Gomes, M. Kesmez, J. Parga, and D. L. Cocke, "Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation," *J. Hazard. Mater.*, vol. 114, no. 1–3, pp. 199–210, 2004, doi: 10.1016/j.jhazmat.2004.08.009.
- [11] E. S. B. H. Hmida, H. Abderrazak, and T. Ounissi, "Electrocoagulation," *Adv. Sci. Technol. Innov.*, vol. Part F2460, pp. 227–237, 2024, doi: 10.1007/978-3-031-48228-1\_15.



- 
- [12] F. Y. AlJaberi and W. T. Mohammed, "The Most Practical Treatment Methods for Wastewaters: A Systematic Review," *Mesopotamia Environ. J.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–28, 2018, [Online]. Available: [www.bumej.com](http://www.bumej.com)
- [13] W. Sakkamas, A. Boripun, R. Ampairojanawong, S. Ruankon, T. Suwanasri, and T. Kangsadan, "Electrocoagulation with AC Electrical Current at Low Voltage for Separation of Crude Glycerol from Biodiesel Product Mixture," *E3S Web Conf.*, vol. 141, 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202014101011.
- [14] A. H. Jauharoh, A. Nurmiyanto, and A. Yulianto, "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Pada Industri Elektroplating (Studi Kasus Kegiatan Elektroplating X) Di Yogyakarta," *J. Sains & Teknologi Lingkung.*, vol. 12, no. 1, pp. 25–44, 2020, doi: 10.20885/jstl.vol12.iss1.art3.
- [15] Badan Standarisasi Nasional, "Standar Nasional Indonesia 7182:2015 Biodiesel," *Badan Standarisasi Nas.*, no. 1, pp. 1–88, 2015.