

**LAPORAN AKHIR**  
**PENELITIAN INTERNAL DOSEN**  
**Progam Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi**



**Katalis L-Arginin Terimobilisasi Poli GMA-co-EDMA untuk Produksi  
Biodiesel**

**Tim Peneliti:**

**Erwanto, S.Si., M.Si**  
**M. Bakhru Thohir, S.Sc., M.Sc**  
**Ahmad Abdul Ali Asyrofi**

*Dibiayai oleh:*

*Universitas Bojonegoro*

*Periode 1 Tahun Anggaran 2024/2025*

**UNIVERSITAS BOJONEGORO**

**2025**

## HALAMAN PENGESAHAN

### LAPORN AKHIR PENELITIAN PENDANAAN PERGURUAN TINGGI

1. **Judul Penelitian** : **Katalis L-Arginin Terimobilisasi Poli GMA-co-EDMA untuk Produksi Biodiesel**
2. **Ketua Peneliti**
  - a. Nama Peneliti : Erwanto, S.Si., M.Si
  - b. NIDN : 0718129102
  - c. Program Studi : S1-Kimia
  - d. E-mail : erwantokimia@gmail.com
  - e. Bidang Keilmuan : Kimia Katalis dan Anorganik
3. **Anggota Peneliti 1**
  - a. Nama (Dosen/ Mahasiswa) : M. Bakhru Thohir, S.Si., M.Sc
  - b. NIDN/NIM : 0723039402
  - c. Program Studi : S1-Kimia
  - d. E-mail : muhammadbakhru@gmail.com
  - e. Bidang Keilmuan : Kimia Analitik dan Sensor
- Anggota Peneliti 2**
  - a. Nama (Dosen/ Mahasiswa) : Ahmad Abdul Ali Asyrofi
  - b. NIDN/NIM : 20472011001
  - c. Program Studi : S1-Kimia
  - d. E-mail : ahmadabdulaliasyrofi@gmail.com
  - e. Bidang Keilmuan : Kimia Katalis
4. **Jangka Waktu Penelitian** : 6 bulan
6. **Lokasi Penelitian** : Laboratorium Kimia Unigoro
7. **Dana Diusulkan** : 3.500.000

Bojonegoro, 04 November 2024

**Mengetahui,**  
Ketua LPPM Universitas Bojonegoro

Pengusul,

**Dr. Laily Agustina Rahmawati, S.Si., M.Sc.**  
NIDN 07 2108 8601

**Erwanto, S.Si., M.Si**  
NIDN. 0718129102

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur ke hadirat Allah SWT karena atas petunjuk, berkah dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan Usulan Penelitian Internal Dosen ini dengan baik.

Usulan ini berisi tentang rencana penelitian pengembangan produksi biodiesel dengan biaya rendah. Ucapan terima kasih penulis haturkan atas berbagai bantuan dan dukungan dari pihak LPPM Universitas Bojonegoro dalam pelaksanaan penelitian dengan judul “**Katalis L-Arginin Terimobilisasi Poli GMA-co-EDMA untuk Produksi Biodiesel**” sehingga kegiatan dapat berjalan dengan lancar dan selesai tepat waktu

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan kemajuan ini masih banyak terdapat kekurangan dan keterbatasan oleh karena itu penulis memohon maaf atas ketidak sempurnaan ini, tak lupa kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk keterbukaan dan penyempurnaan laporan ini. Semoga kegiatan Penelitian yang telah dilaksanakan dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang terkait.

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	1
RINGKASAN .....	6
BAB I .....	6
1.1    Latar Belakang.....	7
1.2    Rumusan Masalah .....	8
1.3    Tujuan Penelitian.....	8
2.1    Manfaat Penelitian.....	9
BAB II.....	10
2.1    Minyak Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku .....	10
2.2    Reaksi Transesterifikasi .....	12
2.3    Katalis.....	12
2.3.1.    Katalis Heterogen .....	12
2.3.2.    Katalis Asam Amino.....	13
2.3.3.    Penelitian Terdahulu.....	15
2.3.4.    Kerangka Konsep Penelitian .....	20
BAB III .....	21
METODE PENELITIAN .....	21
3.1    Jenis dan Pendekatan Penelitian .....	21
3.2    Lokasi Penelitian.....	21
3.3    Prosedur Kerja.....	21
3.3.1    Tranesterifikasi.....	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	23
4.1    Hasil Karakterisasi L-Arginine Functionalized Poly-(GM-co-EGM).....	23
4.2    Reaksi transesterifikasi .....	25
4.3    Hasil Biodiesel .....	27
4.4    Identifikasi Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Biodiesel dari Minyak Sawit Mentah.....	28
BAB V .....	31
5.1    Kesimpulan .....	31
5.2    Saran .....	31

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	32
-----------------------------	----

### **DAFTAR TABEL**

Tabel 2 1 Konsumsi Energi di Indonesia tahun 2022 .....	10
Tabel 2 2 Komposisi Minyak Kelapa Sawit dengan berbagai preparasi [11] .....	11
Tabel 2 3 Penelitian Terdahulu .....	15
Tabel 4. 1 Komposisi produk sintesis metil ester berdasarkan waktu retensi dan total luas puncak.	30

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2 1 Persamaan Reaksi Transesterifikasi [6] .....	12
Gambar 2 2 Struktur Kimia L-Arginine .....	14
Gambar 2 3 Mekanisme Reaksi Transesterifikasi Dengan Katalis Arginin [14] .....	15
Gambar 4. 1 Struktur kimia poli (GM-co-EGM) dan L-arginin poli fungsional (GM-co-EGM) 24	
Gambar 4. 2 Spektrum infra-merah poli (GM-co-EGM) dan poli fungsional L-arginin (GM-co-EGM) .....	24
Gambar 4. 3 Pemindaian Mikrofoto Elektron (SEM) dari L-arginine poli fungsional (GM-co-EGM) .....	25
Gambar 4. 4 Mekanisme reaksi yang diusulkan dari L-arginine functionalized poly(GM-co-EGM) dan X: kation minyak sawit mentah .....	25
Gambar 4. 5 Hasil biodiesel (FAME) Minyak Sawit Mentah yang dikatalisis oleh L-arginine functionalized poly(GM-co-EGM) .....	27
Gambar 4. 6 Kromatografi GC Sintesis Produk Biodiesel oleh poli fungsional L-arginin (GM-co-EGM) .....	29
Gambar 4. 7 Perbandingan spektrum GC-MS untuk (a) senyawa biodiesel yang dihasilkan dalam penelitian ini, dengan (b) database literatur (Entri: 207873, Perpustakaan: WILEY7. LIB) .....	29

## RINGKASAN

Biodiesel tidak menghasilkan cemaran yang berbahaya bagi lingkungan, salah satu metode produksi biodiesel adalah transesterifikasi. Katalis digunakan untuk mempercepat dan mengoptimalkan reaksi transesterifikasi. Oleh karena itu pada penelitian ini telah dilakukan produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi CPO menggunakan katalis L-arginin terimobilisasi pada polimer GMA-co-EDMA. Tahap pertama penelitian ini telah dilakukan sintesis polimer GMA-co-EDMA dari monomer GMA dan EDMA dengan rasio 6:2 dalam pelarut 1-propanol:1,4-butanediol:air (4:7:1) pada temperatur 60°C selama 24 jam. Tahapan kedua dilakukan imobilisasi L-arginin ke dalam polimer dengan variasi polimer:L-arginin sebesar (1:1), (1:2), dan (2:1) dalam buffer pH 11 NaHCO<sub>3</sub>-NaOH melalui pengadukan selama 2 jam pada temperatur kamar. Tahapan ketiga dilakukan reaksi transesterifikasi 50 gram CPO dan metanol, dengan menggunakan katalis L-arginin terimobilisasi dalam polimer GMA-co-EDMA sebanyak 7% (b/b) dan 3% (b/b), menggunakan metode refluks. Reaksi transesterifikasi dilakukan selama variasi waktu 60, 120, 180 menit, variasi temperatur 40°, 60°, dan 70°C, serta variasi CPO:metanol (mol/mol) sebesar (1:10), (1:15), dan (1:20). Analisis terhadap polimer yang terbentuk dilakukan dengan menggunakan FTIR. Sedangkan analisis terhadap produk transesterifikasi dilakukan dengan menggunakan GCMS. Karakter organoleptis produk transesterifikasi yang diukur meliputi densitas dan viskositas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa polimer GMA-co-EDMA telah terbentuk yang ditandai dengan tidak munculnya pita serapan gugus C=C pada bilangan gelombang 3000 – 3100 cm<sup>-1</sup>. Imobilisasi L-arginin telah terverifikasi melalui munculnya pita serapan gugus N-H sekunder pada bilangan gelombang 3367.29 cm<sup>-1</sup> dengan intensitas serapan tertinggi pada variasi polimer:L-arginin (2:1). Berdasarkan analisis, produk transesterifikasi pada kondisi variasi waktu reaksi 180 menit, katalis 3%, rasio CPO:metanol (1:20), dan temperatur reaksi 70°C, sebagai kondisi terbaik yang memberikan rendemen sebesar 33,78%. Hasil analisis GCMS terhadap produk transesterifikasi diperoleh puncak produk senyawa metil heksadekanoat (39,04%, tR=31.756 menit) dan metil 9-oktadekanoat (24,81%, tR=35.249 menit).

**Kata kunci:** *GMA, EDMA, L-Arginin, crude palm oil*, transesterifikasi

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya zaman sumber energi yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat juga semakin berkembang dan berubah terutama dalam hal bahan bakar. Dari yang awalnya digunakan kayu bakar atau bahan alam lain hingga mulai digunakannya bahan bakar dari fosil seperti minyak bumi, gas bumi, dan batu bara dikarenakan adanya peristiwa revolusi industri. Diketahui bahwa energi bahan bakar yang berasal dari fosil termasuk dalam energi tidak terbarukan atau memiliki waktu jutaan tahun untuk diproduksi kembali. Oleh karena itu diperlukannya memproduksi energi alternatif sebagai solusi dari keterbatasan ketersediaan fosil dalam bentuk minyak bumi, gas bumi, dan batu bara di alam [1]. Solusi yang dapat ditawarkan adalah mengganti energi fosil dengan bahan bakar nabati, yang umum disebut dengan biofuel. Biofuel sendiri dapat digolongkan menjadi bioetanol, biodiesel, dan *pure plant oil* [2].

Biodiesel termasuk dalam jenis *fatty ester*, yang umumnya berupa monoalkil ester yang terbuat dari minyak nabati atau minyak tumbuh-tumbuhan [3]. Biodiesel tidak menghasilkan cemaran yang berbahaya bagi lingkungan. Potensi yang dimiliki minyak nabati untuk kemudian diolah menjadi biodiesel sangatlah besar. Selain itu Indonesia juga kaya akan sumber minyak nabati. Minyak nabati memiliki viskositas yang sangat tinggi serta mengandung asam lemak yang menyebabkan minyak nabati membutuhkan pengolahan lebih lanjut agar dapat digunakan sebagai biodiesel atau bahan bakar [4]. Beberapa metode pengolahan yang dapat dilakukan adalah transesterifikasi, pirolisis, mikroemulsi, dan dilusi dengan cairan hidrokarbon (*blending*) dengan tujuan untuk mengurangi viskositas minyak nabati dan menghasilkan alkil ester dengan karakteristik sebanding dengan solar.

Transesterifikasi merupakan proses yang paling praktis di antara beberapa metode pengolahan minyak nabati [5]. Proses transesterifikasi diklasifikasikan menjadi metode katalitik dan non-katalitik. Katalis seringkali digunakan pada proses transesterifikasi untuk memaksimalkan reaksi agar rendemen yang dihasilkan tinggi. Material katalis terdiri dari katalis homogen, heterogen, dan biokatalis. Beberapa contoh katalis homogen yang umum digunakan pada proses transesterifikasi adalah KOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, dan NaOH. Kelemahan katalis homogen yaitu tidak ramah lingkungan karena tidak dapat dipakai kembali serta diperlukan proses pemisahan lanjut setelah proses transesterifikasi [6].

Sedangkan katalis heterogen yang sering digunakan adalah oksida logam alkali tanah (MgO, CaO, SrO), enzim lipase, resin penukar ion, dan larutan ionic. Katalis heterogen mudah dipisahkan setelah proses transesterifikasi terjadi, dan dapat digunakan kembali sehingga lebih ramah lingkungan. Kelemahan katalis heterogen terutama katalis berbahan alkali adalah dibutuhkan suhu yang tinggi sehingga energi yang dibutuhkan juga semakin besar, kemudian efektifitas aplikasi

katalis heterogen bergantung pada beberapa faktor seperti dispersi situs aktif, jumlah situs aktif yang tersedia, serta kestabilan katalis [6].

Katalis heterogen untuk reaksi transesterifikasi dalam bentuk katalis basa antara lain,  $\text{CaMgSiO}_3$ ,  $\text{MgO/MgAlO}$  dilaporkan dapat mengatasi kelemahan katalis heterogen. Namun demikian katalis tersebut memiliki masalah seperti, diperlukan pencucian komponen aktif yang timbul akibat lemahnya interaksi dengan bahan penyangga sehingga menurunkan kemampuan katalitiknya. Dengan demikian diperlukan eksplorasi penggunaan katalis heterogen padat yang lebih stabil dan efisien melalui penambahan material berpori [7]. Dewasa ini pengembangan katalis heterogen juga memanfaatkan peranan biokatalis dari asam amino L-arginin yang diimbangkan dalam material katalis seperti polimer untuk produksi biodiesel. Keunggulan dari biokatalis L-arginin adalah tingkat rendemen hasil yang tinggi, tidak beracun serta ramah lingkungan [8].

Polimer yang umum digunakan sebagai bahan pengemban dalam katalis heterogen adalah polimer berbasis metakrilat. Metakrilat memiliki gugus epoksida yang dapat mengikat asam amino L-arginin dalam ikatan kovalen [7]. Namun demikian penggunaan polimer berbasis metakrilat untuk katalis heterogen sebagai pengemban biokatalis L-arginin untuk proses transesterifikasi belum banyak dilakukan.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dalam penelitian ini menguji kemampuan katalis heterogen dari L-arginin terimmobilisasi poli-(GMA-co-EDMA) dengan untuk reaksi transesterifikasi Crude Palm Oil (CPO) dalam upaya menghasilkan produk biodiesel. Penelitian ini akan difokuskan pada pengaruh kondisi reaksi (lama reaksi, suhu reaksi, rasio mol minyak dan metanol dan jumlah dosis katalis yang digunakan) untuk reaksi transesterifikasi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

- 1 Bagaimana pengaruh lama reaksi, suhu reaksi rasio mol minyak dan metanol dan jumlah dosis katalis basa heterogen L-Arginin terimmobilisasi polimer GMA-co-EDMA untuk transesterifikasi Crude Palm Oil?
- 2 Bagaimana karakterisasi (asam lemak bebas, kandungan metil ester dan rendemen) hasil Crude Palm Oil setelah reaksi katalisis transesterifikasi?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

- 1 Untuk mengetahui pengaruh lama reaksi, suhu reaksi rasio mol minyak dan metanol dan jumlah dosis katalis basa heterogen L-Arginin terimmobilisasi polimer GMA-co-EDMA untuk transesterifikasi Crude Palm Oil.
- 2 Untuk mengetahui karakterisasi (asam lemak bebas, kandungan metil ester dan rendemen) hasil Crude Palm Oil setelah reaksi katalisis transesterifikasi.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

- 1 Menghasilkan kondisi optimum berdasarkan pengaruh lama reaksi, suhu reaksi rasio mol minyak dan metanol dan jumlah dosis katalis basa heterogen L-Arginin terimobilisasi polimer GMA-co-EDMA untuk transesterifikasi Crude Palm Oil.
- 2 Menghasilkan kualitas (asam lemak bebas, kandungan metil ester dan rendemen) hasil Crude Palm Oil setelah reaksi katalisis transesterifikasi

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Minyak Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku

Di Indonesia sendiri, dikutip dari handbook of energy and economic statistic of Indonesia, konsumsi energi pada tahun 2022 sebesar 1,185.56 Juta BOE dengan peningkatan 30% dari konsumsi energi pada tahun 2021 yang sebesar 909,24 Juta BOE . Dengan jumlah konsumsi energi terbesar adalah bahan bakar minyak yaitu sebanyak 477.82 Juta BOE atau sebesar 40,3% dari total keseluruhan konsumsi energi pada tahun 2022. Rincian informasi tersebut dilampirkan pada tabel 2.1.

Tabel 2 1 *Konsumsi Energi di Indonesia tahun 2022*

Sumber Energi	Jumlah (Juta BOE)	%
Batu Bara	299.19	25,230
Bahan Bakar Minyak	477.82	40,300
Gas	74.58	6,310
Listrik	183.41	15,463
LPG	72.99	6,156
Biomassa konvensional	71.90	6,064
Biogas	0.21	0,017
Biomassa industri	4.52	0,381
Pemanas air tenaga surya	0.94	0,079
Geotermal	0.00	0,000
<b>TOTAL</b>	<b>1,185.56</b>	<b>100</b>

Dengan besarnya konsumsi bahan bakar minyak di Indonesia, maka diperlukannya memproduksi energi alternatif sebagai solusi dari keterbatasan ketersediaan fosil dalam bentuk minyak bumi, gas bumi, dan batu bara di alam [1]. Pengganti energi fosil dengan bahan bakar nabati, umumnya disebut dengan biofuel. Biofuel sendiri dapat digolongkan menjadi bioetanol, biodiesel, dan *pure plant oil* [2]. Selama beberapa dekade terakhir, minyak nabati telah menjadi fokus perhatian para peneliti sebagai alternatif bahan bakar konvensional. Minyak nabati dan turunannya (biodiesel) dapat diperoleh dari berbagai tanaman seperti bunga matahari, kedelai, biji rami, kelapa sawit, kelapa, lobak, kacang tanah, mustard, karanja, jarak pagar, nimba, kastor, kapas, dan sebagainya. Kompetensi minyak nabati sebagai bahan bakar mesin berasal dari fakta bahwa minyak nabati memiliki

nilai kalor yang baik dan hampir tidak mengeluarkan senyawa sulfur atau polisiklik aromatic [9].

Pemilihan minyak nabati yang akan digunakan sebagai bahan baku biodiesel harus mempertimbangkan beberapa faktor seperti, ketersediaan, harga, dan kualitas minyak nabati. Indonesia sendiri merupakan produsen terbesar minyak kelapa sawit atau CPO (*Crude Palm Oil*) di dunia [10]. Oleh karena itu pada penelitian ini minyak nabati yang akan digunakan sebagai bahan baku produksi biodiesel adalah minyak kelapa sawit mentah. CPO (*Crude Palm Oil*) atau minyak kelapa sawit mentah didapatkan dari proses ekstraksi mesokarp segar buah sawit yang kemudian produk hasilnya mengandung sejumlah kecil komponen dan pengotor yang tidak diinginkan, seperti serat mesokarp, asam lemak bebas (FFA), fosfolipid, logam sisa, produk oksidasi, dan zat lain. Minyak sawit atau CPO biasanya disuling untuk mendapatkan produk yang stabil, yang dapat digunakan untuk konsumsi langsung atau untuk formulasi produk yang dapat dimakan [11].

Tabel 2 2 Komposisi Minyak Kelapa Sawit dengan berbagai preparasi [11]

Asam Lemak (%)	C <sub>x</sub> ;Y	Massa molar	CPO (%)	BPO (%)	RPO-LLE (%)	RPO (%)
Laurat	C12;0	200.32	0	0.25	0.00	0.00
Mirisat	C14;0	228.38	0.92	10.6	0.87	0.93
Palmitat	C16;0	256.43	41.89	40.53	40.66	42.13
Palmitoleat	C16;1	254.42	0.17	0.31	0.17	0.15
Stearal	C18;0	284.49	5.01	4.96	5.08	4.99
Oleat	C18;1	282.47	40.75	41.49	42.03	40.76
Linoleat	C18;2	280.45	10.38	10.46	10.30	10.31
Linoleaniat	C18;3	278.43	0.31	0.32	0.28	0.18
Arakiolat	C20;0	312.54	0.41	0.41	0.43	0.40
Gadoleat	C20;1	310.52	0.16	0.18	0.18	0.15

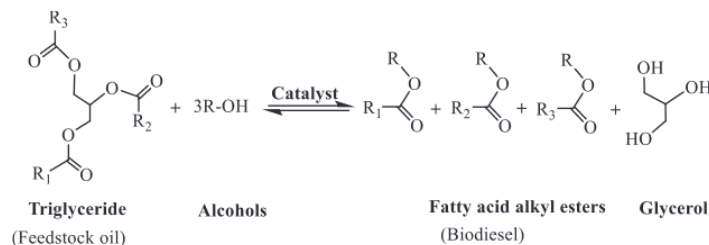
C<sub>x</sub> : jumlah atom karbon; Y: jumlah ikatan rangkap; CPO (*Crude Palm Oil*): Minyak kelapa sawit mentah; BPO (*Bleached Palm Oil*): minyak kelapa sawit yang telah di bleaching; RPO-LLE (*Refined Palm Oil deacidified by Liquid-Liquid Extraction*): kelapa sawit hasil olahan ekstraksi cair-cair dan RPO (*Refined Palm Oil*): kelapa sawit olahan.

Berdasarkan tabel 2.2 diketahui bahwa komposisi terbesar minyak sawit dengan beberapa macam metode preparasi tersebut merupakan asam lemak palmitat, oleat, serta linoleate. Asam lemak ini nantinya akan memiliki peran sebagai reaktan dalam reaksi transesterifikasi pada proses produksi biodiesel.

## 2.2 Reaksi Transesterifikasi

Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam memilih metode untuk produksi biodiesel. Kandungan asam lemak bebas (FFA) dalam substrat penting dalam menentukan jenis proses yang akan digunakan. Minyak dengan kandungan FFA lebih dari 1% dapat diolah dengan menggunakan transesterifikasi dua langkah (esterifikasi katalis asam diikuti transesterifikasi katalis alkali). Secara umum biodiesel diproduksi dalam bentuk asam lemak alkil ester (FAAE) melalui reaksi esterifikasi asam lemak dengan alkohol rantai pendek atau reaksi transesterifikasi trigliserida (TG) dengan alkohol rantai pendek yang nantinya menghasilkan produk samping berupa gliserol [12].

Proses transesterifikasi akan berlangsung dalam tiga tahapan yaitu trigliserida akan bereaksi dengan metanol menghasilkan digliserida, yang kemudian akan bereaksi dengan metanol dan menghasilkan monogliserida. Tahapan terakhir adalah Ketika monogliserida ini bereaksi dengan metanol menghasilkan metil ester dan gliserol [13]. Mekanisme transesterifikasi katalis basa menunjukkan bahwa metoksida bertindak sebagai nukleofil untuk reaksi transesterifikasi. Metoksida terbentuk dari reaksi antara katalis basa dan metanol dan konsentrasi metoksida menentukan laju reaksi transesterifikasi [14].



Gambar 2 1 *Persamaan Reaksi Transesterifikasi* [6]

## 2.3 Katalis

### 2.3.1. Katalis Heterogen

Berbagai literatur melaporkan bahwa lebih banyak biodiesel dari proses transesterifikasi menggunakan bantuan katalis untuk mempercepat langkah metilasi karena kelarutan minyak dalam metanol yang buruk. Katalis tersebut mencakup katalis homogen, katalis heterogen dan biokatalis [15].

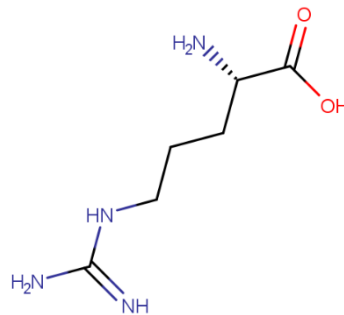
Penggunaan katalis basa homogen seperti, NaOH dan KOH untuk reaksi transesterifikasi memiliki kelemahan yaitu terbentuknya sabun pada saat reaksi terjadi yang menyebabkan sulitnya proses pemisahan. Sedangkan penggunaan katalis asam homogen seperti, asam sulfat, asam klorida, dan asam sulfonate memiliki kelemahan yaitu hasil rendemen biodiesel yang lebih rendah jika dibandingkan dengan katalis basa homogen [15]. Kelemahan katalis homogen basa dan asam adalah tidak dapat digunakan kembali dan diperlukan proses pemurnian yang menyebabkan banyaknya limbah yang akan dihasilkan [6]

Beberapa contoh katalis basa heterogen adalah oksida logam alkali tanah (MgO, CaO, SrO), resin penukar anion basa, dan larutan ionic basa. Asam heteropoly, resin penukar ion asam, larutan ionic asam, oksida logam sulfat adalah beberapa contoh katalis asam heterogen. Kinerja reaksi katalis heterogen dipengaruhi oleh dispersi situs aktif, jumlah ketersediaan situs aktif, dan stabilitas katalitik. Diperlukan modifikasi katalis heterogen agar situs aktif dapat terdistribusi merata pada permukaan pembawa dan terikat kuat dengan ikatan kovalen [6]. Katalis heterogen padat dalam beberapa tahun terakhir banyak dikembangkan karena keunggulannya yang ramah lingkungan, dapat digunakan kembali, aktivitasnya yang tinggi, dan hanya memerlukan kondisi reaksi yang sedang [15].

Namun demikian katalis tersebut memiliki masalah seperti, diperlukan pencucian komponen aktif yang timbul akibat lemahnya interaksi dengan bahan penyangga sehingga menurunkan kemampuan katalitiknya. Dengan demikian diperlukan eksplorasi penggunaan katalis heterogen padat yang lebih stabil dan efisien melalui penambahan material berpori [7]. Dengan hambatan ini maka masih terdapat tantangan yang perlu di eksplorasi mengenai katalis heterogen padat yang stabil dan efisien dengan penambahan komponen aktif berpori untuk produksi biodiesel ramah lingkungan serta berkelanjutan [7].

### **2.3.2. Katalis Asam Amino**

Dari berbagai macam bahan berbasis hayati, asam amino dan turunannya merupakan salah satu sumber daya yang paling berkelanjutan, melimpah, dan ramah lingkungan serta disorot sebagai kandidat untuk bertindak sebagai katalis dalam perkembangan industri biodiesel [8]. Selain itu asam amino yang memiliki gugus fungsi amino basa (-NH<sub>2</sub>) dan asam karboksil (-COOH) yang merupakan alasan lain mengapa asam amino cocok dikembangkan sebagai katalis ramah lingkungan [16]. Cairan ionic dan asam amino dapat digunakan sebagai katalis pada produksi biodiesel. Asam amino yang dapat digunakan sebagai katalis adalah histidine, arginine, alanine, phenylalanine, serta serine. Katalis kombinasi cairan ionic dan arginin menunjukkan hasil rendemen sebesar 98.97% [17].

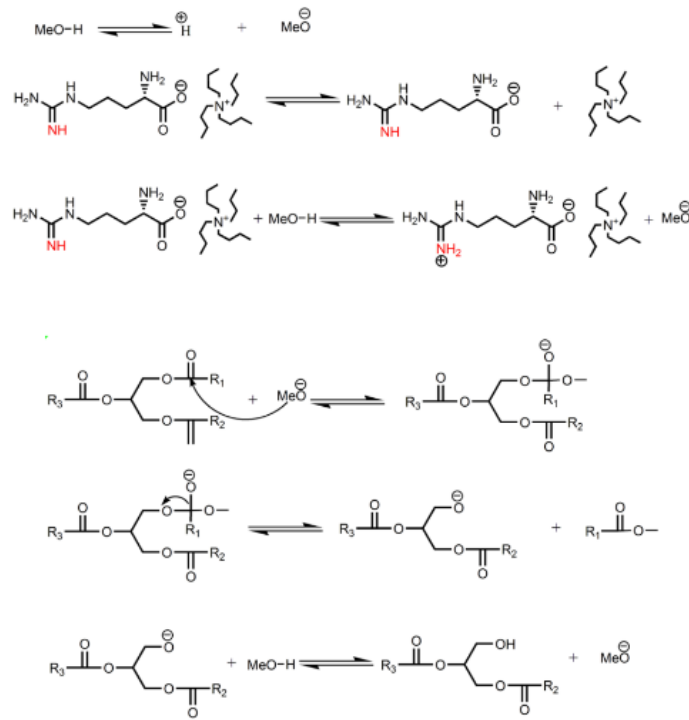


Gambar 2 2 Struktur Kimia L-Arginine

Pada reaksi transesterifikasi dengan katalis L-Arginin mekanisme reaksinya adalah pertama, terjadi pembentukan ion alkoksida (RO<sup>-</sup>) melalui abstraksi proton dari alkohol oleh katalis basa. Reaksi berikutnya adalah ion alkoksida menyerang atom karbonil molekul trigliserida dan membentuk ion intermediat tetrahedral, yang direorganisasi untuk menghasilkan ion digliserida dan molekul ester alkil. Reaksi diakhiri dengan ion digliserida bereaksi dengan katalis basa yang diprotonasi, menghasilkan molekul digliserida dan mengembalikan katalis basa ke bentuk awalnya. Digliserida yang dihasilkan siap bereaksi dengan molekul alkohol lain untuk memulai siklus katalitik berikutnya, seperti yang digambarkan dalam gambar berikut,

Arg]<sup>+</sup> ditemukan sebagai spesies aktif untuk menghasilkan anion metoksil yang mengakibatkan arginin murni tidak mampu mengkatalisis reaksi [17]. Katalis guanidine terimobilisasi dalam polimer AGE-DVB-GMA mampu menghasilkan rendemen sebesar 92,6% [7].

Arginin sendiri memiliki gugus guanidin (-NH=C(NH<sub>2</sub>)-NH<sub>2</sub>) pada rantai sampingnya, yang merupakan gugus fungsional yang sangat basa dan polar. Gugus guanidin dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul-molekul air atau ion-ion lainnya dalam larutan, sehingga asam amino ini dapat berfungsi sebagai donor proton (basa). Oleh karena itu berdasarkan latar belakang tersebut maka dilakukan sintesis katalis basa heterogen berupa katalis L-arginin terimobilisasi dalam polimer GMA-co-EDMA yang dapat digunakan sebagai katalis pada reaksi transesterifikasi biodiesel



Gambar 2 3 Mekanisme Reaksi Transesterifikasi Dengan Katalis Arginin [14]

### 2.3.3. Penelitian Terdahulu

Tabel 2 3 Penelitian Terdahulu

No.	Nama dan Tahun Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Sun/2008/Synthesis of Biodiesel in Capillary Microreactors	Pengembangan lipase terikat yang dapat didaur ulang secara magnetik untuk produksi biodiesel enzimatis memiliki nilai penelitian yang besar untuk memenuhi kebutuhan pengembangan green chemistry dan berkelanjutan. Dalam penelitian ini, kopolimer organik, poli(glisidil metakrilat-ko-metakrilat asam) (poly(GMA-ko-MAA)), dikapsulasi ke dalam nanopartikel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , dan kemudian lipase <i>Candida rugosa</i> diikat pada komposit magnetik melalui reaksi	Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -poly(GMA-ko-MAA) berhasil disintesis, dan lipase telah diikat pada komposit magnetik dengan efisiensi pengikatan lipase sebesar 88,7% dan pemulihan aktivitas sebesar 67,3%. Lipase tersebut menghasilkan biodiesel terbaik sebesar 92,8%. tidak mencapainya 96,5% dikarenakan, penggunaan pelarut turunan alkohol (metanol/etanol) dapat meningkatkan deaktivasi enzim dan mempengaruhi rendemen metil ester

		<p>pengikatan dengan gugus epoksi dan karboksil. Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-poly(GMA-ko-MAA) dan lipase terikat dikarakterisasi dengan beberapa teknik, termasuk uji aktivitas enzim, FTIR, XRD, SEM, TEM, XPS, VSM, dan teknik adsorpsi-desorpsi nitrogen</p>	<p>yang diperoleh. walaupun bisa diatasi dengan penambahan pelarut secara bertahap akan tetapi hal tersebut menyebabkan waktu berlangsung lebih lama.</p>
2	<p>Winlei Xie/2020/Fabrication of immobilized <i>Candida rugosa</i> lipase on magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>- poly(glycidyl methacrylate-co-methacrylic acid) composite as an efficient and recyclable biocatalyst for enzymatic production of biodiesel.</p>	<p>Dalam hal ini, studi yang bertujuan untuk mengatasi hambatan proses dalam produksi biodiesel terus dilakukan. Agar dapat mengurangi konsumsi energi dan jumlah limbah yang dihasilkan, serta menghindari produksi produk akhir yang tidak efisien, kelas enzim, terutama lipase, sedang berhasil dieksplorasi sebagai pengganti katalis kimia. Artikel ini menyoroti beberapa aspek produksi biodiesel yang dikatalisis oleh lipase..</p>	<p>literatur review ini menyoroti beberapa aspek produksi biodiesel yang dikatalisis oleh lipase. sisi aktif yang berperan dalam katalisis lipase pada produksi biodiesel adalah serin, histidin, dan glutamat atau aspartat bertanggung jawab atas efisiensi katalisisnya yang tinggi.</p>
3	<p>Cavalcante/2021/Opportunities for improving biodiesel production via lipase catalysis</p>	<p>derivat asam amino dikombinasikan dengan pelarut organik(cholinium, Tetrabutylammonium dan tetramethylammonium) dengan metode batch menghasilkan 98-99.8% yield pada suhu 80 C selama 15 menit dengan katalis loading 28,84 mmol/100g sun flower</p>	<p>katalis kombinasi pelarut ionik dengan jenis asam amino terbaik adalah penggunaan asam amino arginine</p>

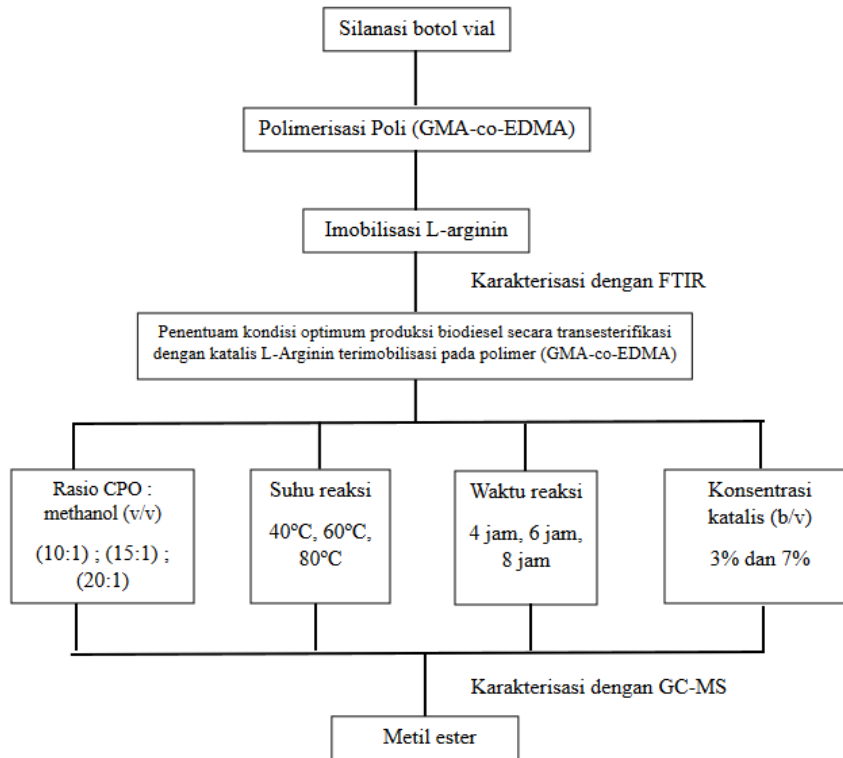
4	<p>Jiangbo Li/2016 Structure Evolution of Synthetic Amino Acids-Derived Basic Ionic Liquids for Catalytic Production of Biodiesel</p>	<p>Berbagai katalisator Gly-TPA dengan jumlah yang berbeda-beda dari glicin (Gly) dan asam tungstofosfat (TPA) dikarakterisasi dengan teknik analitik dan spektroskopi seperti TGA, XRD, FT-IR, <sup>1</sup>H dan <sup>13</sup>C NMR. Khususnya, sifat asam mereka diselidiki oleh <sup>31</sup>P MAS NMR padat dari trimetilfosfin oksida yang diserap. Performa katalitik dari berbagai katalisator Gly-TPA selama reaksi esterifikasi asam palmitat dengan etanol untuk produksi metil palmitat diilustrasikan dan diperiksa. Sistem katalisator menunjukkan karakteristik pemisahan diri sendiri, membentuk lapisan produk/katalisator biphasic untuk memudahkan pemisahan produk dan daur ulang katalisator. Katalisator [GlyH]<sub>1.0</sub>H<sub>2.0</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub> terbukti memiliki aktivitas terbaik dengan hasil biodiesel optimal sebesar 93,3%.</p>	<p>Katalis [GlyH]<sub>1.0</sub>H<sub>2.0</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub> aktivitas terbaik untuk menghasilkan biodiesel <i>yield</i> 93.3% melalui reaksi transesterifikasi</p>
5	<p>Han/2016/Amino acid-functionalized heteropolyacids as efficient and recyclable catalysts for esterification of palmitic acid to biodiesel</p>	<p>Dengan menggunakan asam amino (AA) sebagai anion, sebelas cairan ionik terdiri dari tetraetilamonium (N2222) sebagai kation disintesis, yaitu, [N2222][AA]<sub>s</sub>. Struktur mereka dikarakterisasi</p>	<p>Katalis Tetraethylammonium [TEA]-<i>arginine</i> menghasilkan biodiesel <i>yield</i> sebesar 98.4%</p>

		<p>dengan FT-IR dan NMR. Alkalinitas AAILs yang disintesis diukur menggunakan pH meter. Dalam reaksi transesterifikasi minyak kedelai dengan metanol, tetraetilamonium arginin ([N2222][Arg]) memiliki kemampuan katalitik terbaik. Kondisi reaksi optimal untuk mencapai konversi biodiesel 98,4% dalam reaksi transesterifikasi minyak kedelai adalah metanol/minyak 10:1 mol/mol, suhu reaksi 100 °C, dosis katalis 20 wt% (berdasarkan berat minyak) dan waktu reaksi 60 menit. Studi kinetika dievaluasi dan mengikuti mekanisme reaksi orde-pseudo 1, dan energi aktivasi dan faktor pra-eksponensial adalah 34,53 kJ/mol dan <math>1,21 \times 10^4 \text{ min}^{-1}</math>, masing-masing. [N2222][Arg] adalah katalis yang menjanjikan, operasional sederhana, berkelanjutan, mudah terurai dan mungkin dapat diperbaharui untuk mengubah minyak nabati atau lemak hewan menjadi biodiesel.</p>	
6	<p>Wang/2022/Optimization and kinetics of biodiesel production from soybean oil using new tetraethylammonium ionic liquids with amino acid-based anions as catalysts</p>	<p>Dalam penelitian ini, serangkaian katalis asam-basa bifungsional disiapkan dengan mencampurkan jumlah yang berbeda dari asam amino basa (AAs) dan</p>	<p>Katalis <i>arginine/phosphotungstic acid</i> menghasilkan biodiesel <i>yield</i> sebesar 97.0%</p>

	<p>asam fosfotungstat (PTA), yang menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mengkatalisis konversi asam oleat (OA) untuk produksi biodiesel. Sifat fisikokimia dari katalis dikarakterisasi dan dianalisis menggunakan teknik pengujian modern dan metode karakterisasi seperti XRD, FT-IR, XPS, SEM, TEM, dan titrasi Hammett. Berbagai parameter pengaruh dioptimalkan menggunakan desain komposit sentral berdasarkan metodologi respons permukaan, di mana hasil maksimum biodiesel mencapai 97,0% pada rasio molar MeOH/OA 5,9, pemuatan katalis 8%, waktu reaksi 6 jam, dan suhu reaksi 65 °C. Selain itu, stabilitas dan kemampuan ulang katalis yang disiapkan juga ditunjukkan.</p>	
--	---	--

*Sumber: Hasil penelitian sebelumnya diolah (2022)*

### 2.3.4. Kerangka Konsep Penelitian



## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian**

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen dengan dilakukan dalam tiga tahapan yaitu preparasi katalis, karakterisasi katalis, dan reaksi transesterifikasi. Preparasi katalis terdiri dari dua tahapan yang terdiri dari polimerisasi dan imobilisasi L-Arginin.

### **3.2 Lokasi Penelitian**

Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Bojonegoro dan Laboratorium Kimia Universitas Brawijaya dalam waktu 1 semester, sedangkan batu kapur dari diambil dari Kecamatan Rengel Kabupaten Tuban Jawa Timur

### **3.3 Prosedur Kerja**

#### **3.3.1 Tranesterifikasi**

Reaksi transesterifikasi katalitik *crude palm oil* (CPO) untuk produksi biodiesel dilakukan dengan metode refluks dalam labu alas bulat 500 mL yang dilengkapi dengan kondensor dan heating mantle. Pada parameter temperatur, reaksi transesterifikasi dilakukan dengan merefluks menggunakan rasio bahan baku CPO dan metanol (1:20) dengan CPO sebanyak 50 gram dan metanol p.a 50 mL. Katalis yang digunakan sebesar 7% atau 3,5 gram dengan lama reaksi 180 menit. Variasi temperatur reaksi adalah 40°C, 60°C, dan 70°C. Pada parameter jumlah katalis, reaksi transesterifikasi dilakukan dengan menggunakan temperatur terbaik (70°C), lama reaksi 180 menit, rasio bahan baku CPO dan metanol (1:20) dengan CPO sebanyak 50 gram dan metanol p.a 50 mL. Katalis yang digunakan sebesar 7% atau 3,5 gram dan 3% atau 1,5 gram. Selanjutnya pada parameter lama reaksi, refluks dilakukan dengan temperatur terbaik (70°C), jumlah katalis terbaik (3%), serta CPO sebanyak 50 gram dan metanol p.a 50 mL. Lama

reaksi yang digunakan adalah 60, 120, dan 180 menit. Pada parameter rasio bahan baku, reaksi transesterifikasi dilakukan dengan temperatur terbaik ( $70^{\circ}\text{C}$ ), jumlah katalis terbaik (3%), dan lama reaksi terbaik (180 menit) dengan rasio CPO:metanol (mol/mol) sebesar (1:10), (1:15), dan (1:20).

Setelah reaksi transesterifikasi dilakukan, katalis padat diperoleh kembali dengan dekantasi dan selanjutnya sampel hasil di rotary evaporator selama 30 menit untuk menguapkan metanol secara menyeluruh. Setelah itu, campuran akan disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 30 menit, yang akan menghasilkan pemisahan dua fasa. Fasa atas merupakan biosolar, CPO yang tidak bereaksi, mono dan digliserida. Sementara fasa bawah mengandung produk sampingan gliserol. Setelah itu, fasa atas akan dimasukkan dalam corong pisah dan ditambahkan aquades untuk memisahkan fasa minyak, fasa sabun, dan fasa air yang terkandung dalam sampel. Kemudian fasa minyak disentrifugasi kembali untuk pemisahan fasa minyak, fasa sabun, dan fasa air yang lebih sempurna. Selanjutnya fasa minyak dikeringkan dengan natrium sulfat anhidrat dan difiltrasi dengan kertas saring selama kurang lebih 24 jam. Sampel minyak hasil reaksi transesterifikasi parameter lama reaksi akan di analisis dengan instrument GC-MS. Semua sampel minyak hasil transesterifikasi dari masing-masing parameter dilakukan analisis sifat fisik seperti, jumlah rendemen, viskositas, dan densitas.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

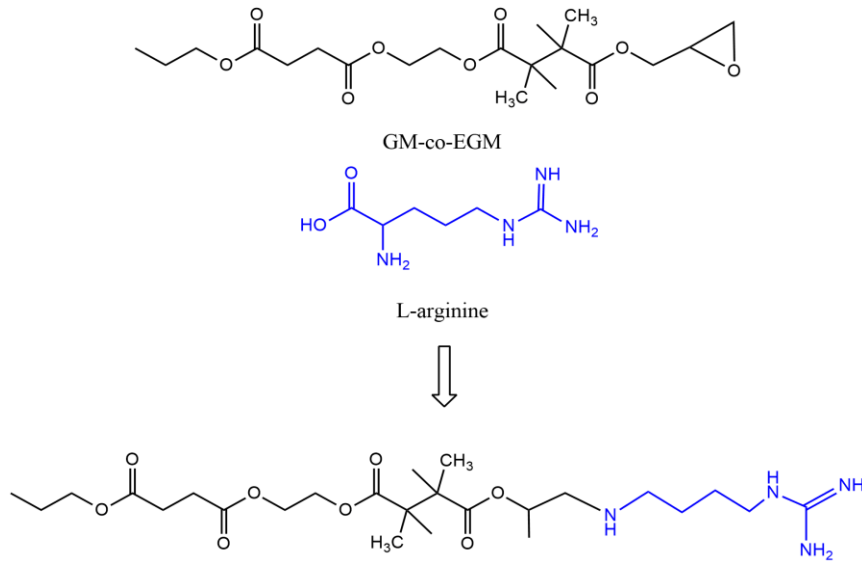
### 4.1 Hasil Karakterisasi L-Arginine Functionalized Poly-(GM-co-EGM)

Analisis rasio antara poli(GM-co-EGM) dan L-arginin disajikan pada Gambar 2. Pita penyerapan pada  $844,32\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan epoksi COC, sedangkan pita pada  $1724,29\text{ cm}^{-1}$  sesuai dengan ikatan C=O. Tidak adanya pita penyerapan dalam kisaran  $3000\text{--}3100\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan kurangnya ikatan hidrokarbon =CH ( $\text{sp}^2\text{ CH}$ ), yang mengkonfirmasi keberhasilan sintesis polimer. Untuk fungsionalisasi L-arginin, tiga sampel dengan rasio polimer-ke-L-arginin (2:1, 1:1, dan 1:2) dianalisis. Pita penyerapan pada  $\sim 3360\text{ cm}^{-1}$  (OH dan NH) dengan intensitas terkuat dalam sampel 2:1 menunjukkan transformasi amina primer menjadi amina sekunder, memverifikasi fungsionalisasi yang berhasil. Pita penyerapan pada  $\sim 2946\text{ cm}^{-1}$  sesuai dengan ikatan alkana CH, sedangkan pita pada  $\sim 1725\text{ cm}^{-1}$  dikaitkan dengan ikatan C=O pada ketiga sampel. Pita penyerapan pada  $844.32\text{ cm}^{-1}$ , yang menunjukkan intensitas terlemah pada sampel 2:1, menunjukkan pengurangan ikatan epoksi COC karena interaksinya dengan L-arginin (30,31).

Selain konfirmasi FTIR, morfologi poli fungsional L-arginin (GM-co-EGM) dikarakterisasi menggunakan SEM. Berdasarkan hasil SEM dan referensi dari penelitian sebelumnya yang menggunakan metode sintesis polimer serupa, poli(GM-co-EGM) biasanya menunjukkan jaringan berpori dengan struktur bola. Setelah fungsionalisasi dengan L-arginin, karakterisasi SEM mengungkapkan jaringan berpori dengan struktur bulat yang cacat sebagian disajikan Gambar 3. Deformasi ini dikaitkan dengan perlekatan L-arginin ke poli(GM-co-EGM) melalui gugus epoksi yang tersedia. Temuan ini mengkonfirmasi bahwa poli (GM-co-EGM) berhasil disintesis dan difungsikan. Ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan poli (GM-co-EGM) memiliki luas permukaan yang tinggi, yang selanjutnya mendukung potensinya sebagai katalis yang efektif.

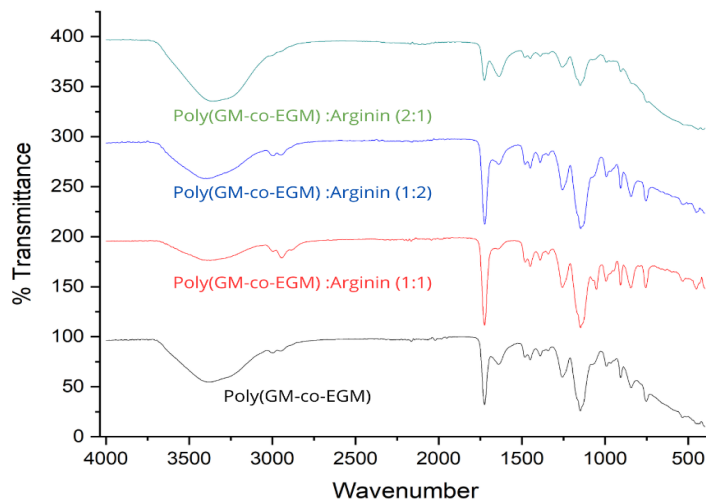
Berdasarkan analisis spektral inframerah dan karakterisasi morfologi, katalis dengan rasio polimer-ke-L-arginin 2:1 dipilih untuk reaksi transesterifikasi. Pemilihan ini didukung oleh hasil FTIR dan SEM, menunjukkan fungsionalisasi

yang berhasil dan mengkonfirmasi luas permukaan katalis yang menguntungkan, sehingga cocok untuk aplikasi lebih lanjut (30,31)..

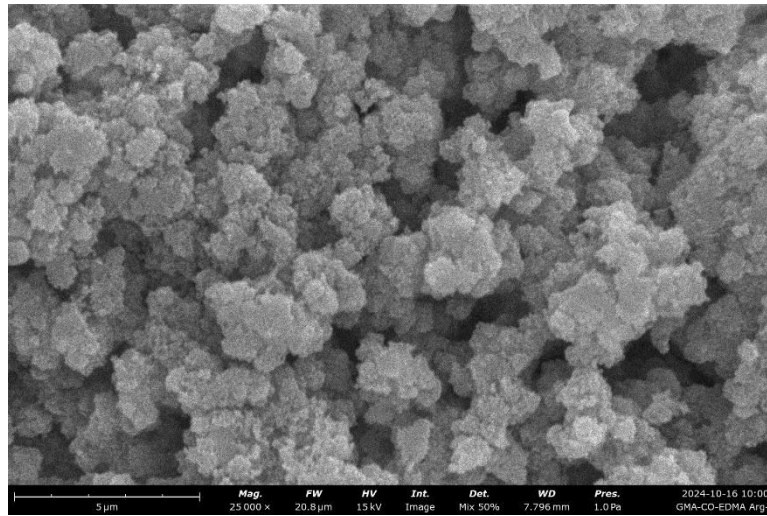


Gambar 4.1.

Gambar 4. 1 Struktur kimia poli (GM-co-EGM) dan L-arginin poli fungsional (GM-co-EGM)

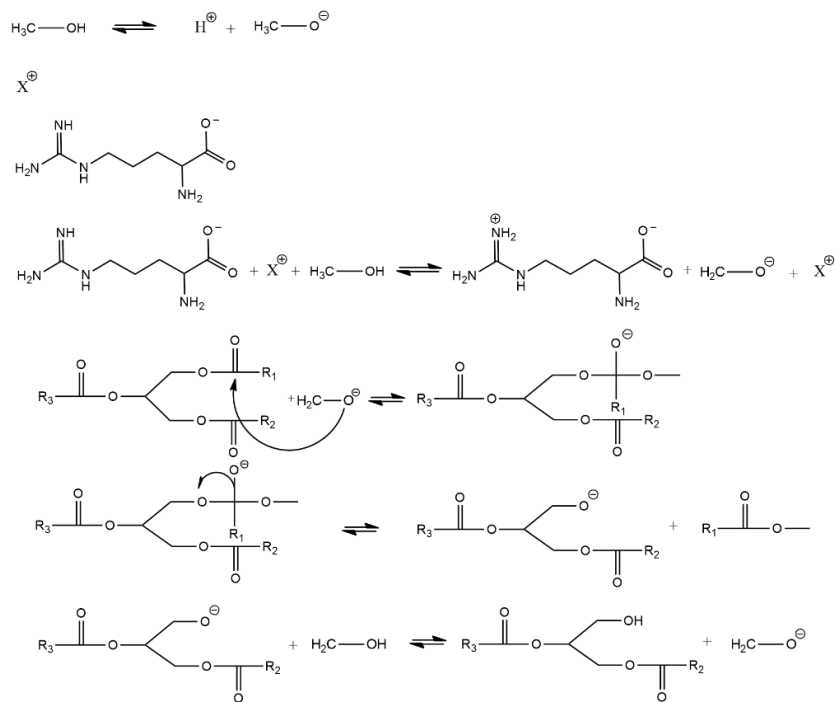


Gambar 4. 2 Spektrum infra-merah poli (GM-co-EGM) dan poli fungsional L-arginin (GM-co-EGM)



Gambar 4. 3 Pemindaian Mikrofoto Elektron (SEM) dari L-arginine poli fungsional (GM-co-EGM)

#### 4.2 Reaksi transesterifikasi



Gambar 4. 4 Mekanisme reaksi yang diusulkan dari L-arginine functionalized poly(GM-co-EGM) dan X: kation minyak sawit mentah

Pemanfaatan L-Arginin sebagai katalis dalam transesterifikasi minyak sawit mentah (CPO) merupakan pendekatan inovatif, memanfaatkan sifat anioniknya

yang unik dalam hubungannya dengan komponen kationik alami yang melekat pada CPO. Sistem katalitik ini meningkatkan efisiensi reaksi melalui interaksi elektrostatik antara katalis dan reaktan.

L-Arginine, dengan gugus guanidinium dan gugus karboksilat, menunjukkan sifat bifungsional dalam metanol. Gugus guanidinium membentuk ikatan hidrogen dengan gugus karbonil trigliserida dalam CPO, melemahkan ikatan ester dan membuatnya lebih rentan terhadap serangan nukleofilik oleh metanol. Secara bersamaan, gugus karboksilat berinteraksi dengan gugus karbonil trigliserida, mengurangi energi aktivasi yang diperlukan untuk pembelahan ikatan. Fungsi ganda ini, dikombinasikan dengan komponen kationik alami dalam CPO seperti fosfolipid dan sterol, menciptakan lingkungan katalitik yang dioptimalkan untuk transesterifikasi.

Interaksi sinergis ini secara efektif mengubah trigliserida menjadi metil ester asam lemak (FAME), mencapai hasil biodiesel optimal sebesar 60,45% pada rasio molar minyak terhadap metanol 1:15. Mekanisme reaksi yang diusulkan, yang diilustrasikan pada Gambar 4, dimulai dengan aktivasi metanol melalui interaksinya dengan gugus guanidinium L-Arginin, meningkatkan polaritas metanol dan nukleofilisitas. Anion metakasil yang dihasilkan menyerang gugus karbonil trigliserida, membentuk zat antara yang mengalami penataan ulang dan pembelahan, difasilitasi oleh metanol, untuk melepaskan digliserida, biodiesel, dan anion metakasil, menyelesaikan siklus katalitik (27,28).

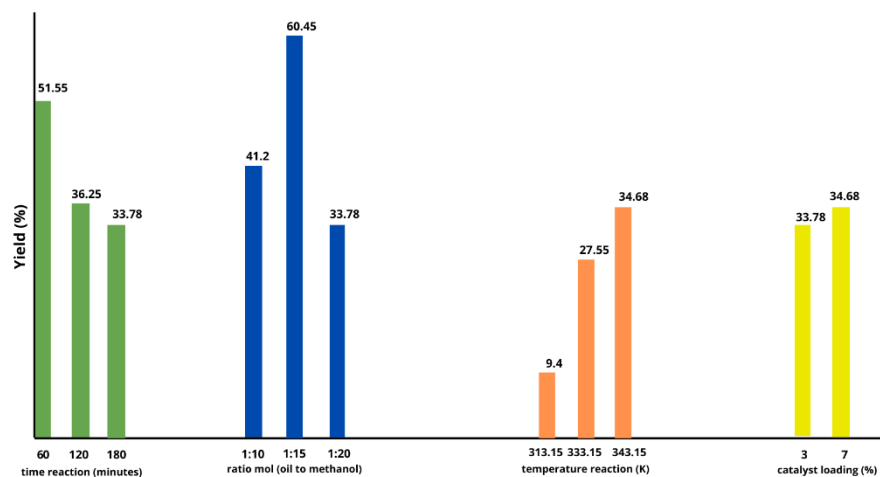
Komponen kationik alami dalam CPO semakin meningkatkan efisiensi reaksi dengan menstabilkan zat antara dan keadaan transisi, mempolarisasi lingkungan reaksi, dan memfasilitasi transfer elektron. Komponen-komponen ini juga menghilangkan kebutuhan akan langkah pra-esterifikasi untuk mengatasi kandungan asam lemak bebas (FFA) yang tinggi dari CPO, membuat prosesnya lebih mudah dan efisien.

Sistem ini menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan katalis konvensional. L-Arginine terbarukan dan dapat terurai secara hayati, dan reaksinya beroperasi dalam kondisi ringan, meminimalkan konsumsi energi dan membuat prosesnya lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Namun, tantangan tetap ada,

terutama dalam mengkarakterisasi sepenuhnya peran komponen kationik alami dalam CPO dan interaksinya dengan L-Arginine. Studi sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Jingbo et al., (27) mencatat bahwa L-Arginine saja tidak cukup untuk mengkatalisasi transesterifikasi minyak bunga matahari, menyoroti kontribusi unik komposisi CPO terhadap efisiensi katalitik yang diamati.

Penyelidikan lebih lanjut diperlukan untuk sepenuhnya memahami interaksi ini dan mengoptimalkan parameter reaksi untuk aplikasi industri. Keberhasilan konversi CPO menjadi biodiesel dalam penelitian ini menggarisbawahi potensi sistem inovatif ini untuk produksi biodiesel yang berkelanjutan.

### 4.3 Hasil Biodiesel



Gambar 4. 5 Hasil biodiesel (FAME) Minyak Sawit Mentah yang dikatalisis oleh L-arginine functionalized poly(GM-co-EGM)

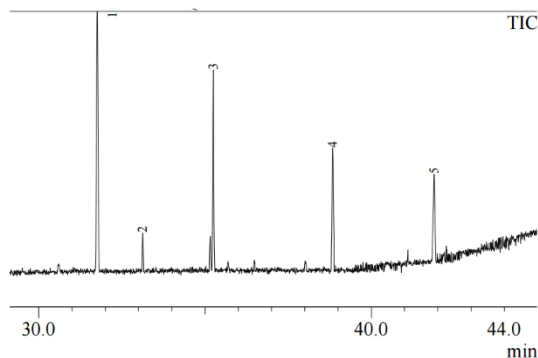
Temuan tersebut, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 5, menyoroti hubungan kompleks antara berbagai parameter reaksi dan hasil biodiesel, menekankan perlunya pemahaman terperinci untuk mengoptimalkan proses. Waktu reaksi memainkan peran penting, terutama selama tahap awal transesterifikasi, di mana durasi yang lebih lama meningkatkan tabrakan molekuler dan meningkatkan pembentukan biodiesel. Namun, setelah keseimbangan tercapai, memperpanjang waktu reaksi lebih lanjut menjadi kurang efektif dan bahkan dapat memicu reaksi balik, mengubah metil ester kembali menjadi trigliserida. Fenomena ini

menggarisbawahi pentingnya menentukan waktu reaksi yang optimal untuk memaksimalkan hasil sekaligus meminimalkan konsumsi energi dan pemborosan sumber daya.

Untuk rasio molar minyak terhadap metanol, hasil optimal diamati pada rasio 1:15, menghasilkan 60,45%. Rasio yang lebih rendah, seperti 1:10 (menghasilkan 41,2%), menghambat reaksi karena metanol tidak mencukupi untuk mendorong proses konversi. Sebaliknya, rasio yang terlalu tinggi, seperti 1:20 (menghasilkan 33,78%), mengencerkan sistem, mengurangi konsentrasi relatif minyak dan meningkatkan pembentukan gliserol. Gliserol, yang melarutkan metanol berlebih, tidak hanya menggeser kesetimbangan reaksi ke arah sebaliknya tetapi juga mengganggu efisiensi pemisahan fase, yang pada akhirnya mengurangi hasil biodiesel. Temuan ini menekankan pentingnya mengatur rasio molar untuk menyeimbangkan ketersediaan reaktan sekaligus mengurangi efek buruk dari pembentukan produk sampingan yang berlebihan.

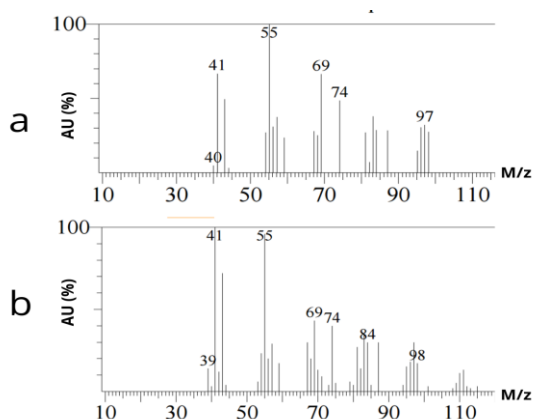
Suhu reaksi juga memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi proses transesterifikasi. Suhu yang lebih tinggi meningkatkan gerakan molekul dan energi kinetik, mendorong tumbukan molekul yang lebih sering dan efektif untuk mengatasi hambatan energi aktivasi. Selain itu, suhu tinggi meningkatkan dispersi molekul minyak menjadi metanol, mempercepat pembentukan metil ester. Namun, sangat penting untuk mempertahankan suhu di bawah titik didih metanol (64–65°C) untuk mencegah penguapan yang berlebihan, yang dapat mengurangi ketersediaan metanol sebagai reaktan. Oleh karena itu, pengoptimalan suhu sangat penting; Suhu yang terlalu rendah memperlambat reaksi, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat mengurangi efisiensi ekonomi dan menimbulkan tantangan teknis.

#### **4.4 Identifikasi Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Biodiesel dari Minyak Sawit Mentah**



Gambar 4. 6 Kromatografi GC Sintesis Produk Biodiesel oleh poli fungsional L-arginin (GM-co-EGM).

Analisis kromatografi GC mengidentifikasi beberapa puncak, masing-masing dengan waktu retensi tertentu yang sesuai dengan senyawa yang membentuk blok bangunan metil ester. Senyawa ini dicirikan berdasarkan berat molekul dan pola fragmentasinya. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, kromatografi menampilkan lima puncak utama yang sesuai dengan senyawa metil ester. Puncak-puncak ini, diamati secara berurutan, memiliki waktu retensi (tR) 31,756 menit, 33,123 menit, 35,249 menit, 38,8351 menit, dan 41,885 menit. Pola fragmentasi spektral massa dari senyawa ini dianalisis untuk menentukan struktur kimianya.



Gambar 4. 7 Perbandingan spektrum GC-MS untuk (a) senyawa biodiesel yang dihasilkan dalam penelitian ini, dengan (b) database literatur (Entri: 207873, Perpustakaan: WILEY7. LIB).

Analisis GC-MS memberikan profil komprehensif dari metil ester yang berasal dari minyak sawit mentah (CPO). Persentase relatif senyawa metil ester dihitung berdasarkan area puncak dalam kromatogram, menawarkan wawasan terperinci tentang komposisi sampel. Perbandingan spektrum pada Gambar 7 dengan WILEY8. Basis data LIB mengkonfirmasi identitas metil oleat (cis-9-octadecenoate) sebagai salah satu komponen utama, dengan indeks kesamaan 85%.

Senyawa yang diidentifikasi memiliki rumus molekul  $C_{19}H_{36}O_2$  dan berat molekul 296 g/mol. Puncak ion molekul pada  $m/z = 296$  menegaskan berat molekul metil oleat. Puncak basa pada  $m/z = 55$  sesuai dengan fragmen  $[CH_3CH_2CH=CH]^+$ , yang dihasilkan dari fragmentasi rantai karbon. Sementara itu, puncak pada  $m/z = 74$  dikaitkan dengan ion  $[CH_2C(OH)OCH_3]^+$ , fragmen karakteristik metil ester. Pola fragmentasi ini dengan jelas mengidentifikasi metil oleat sebagai komponen utama dalam sampel, mendukung analisis yang dilakukan melalui GC-MS. Tabel 4 merangkum waktu retensi dan area puncak kromatogram. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa sintesis metil ester dari CPO menghasilkan proporsi metil palmitat (39,04%) dan metil oleat (24,81%) tertinggi. Temuan ini sejalan dengan laporan sebelumnya yang menyatakan bahwa asam palmitat dan asam oleat adalah asam lemak utama dalam CPO (32).

Tabel 4. 1 Komposisi produk sintesis metil ester berdasarkan waktu retensi dan total luas puncak.

Puncak	Waktu Retensi	Luas (%)	Komponen metil ester
1	31.756	39.04	Metil Palmitat
2	33.123	3.96	Metil mirisat
3	35.249	24.81	Metil oleat
4	38.8351	18.80	-
5	41.885	13.39	-

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. L-arginin yang dibutuhkan pada pembuatan katalis basa heterogen GMA-co-EDMA terimobilisasi L-arginin dengan perbandingan polimer:L-arginin 2:1 adalah sebesar 1 gram L-arginin untuk setiap 5 gram polimer GMA-co-EDMA
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa polimer GMA-co-EDMA telah terbentuk yang ditandai dengan munculnya pita serapan gugus epoksi C-O-C pada bilangan gelombang  $844.32\text{ cm}^{-1}$ . Imobilisasi L-arginin juga terverifikasi melalui munculnya pita serapan gugus N-H pada bilangan gelombang  $3367.29\text{ cm}^{-1}$
3. Produk transesterifikasi CPO dan metanol dengan katalis basa heterogen L-Arginin terimobilisasi pada polimer GMA-co-EDMA pada penelitian ini memiliki densitas berkisar antara 0,907-0,939 g/mL dengan viskositas berkisar antara 44,02-61,06 cSt dan rendemen hasil berkisar antara 9,4%- 62,45%. Analisis GCMS menunjukkan senyawa metil ester terkandung dalam produk tranesterfikasi penelitian ini sebesar 22%-67,81%.

### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat dilakukan penelitian lanjutan mengenai pengaplikasian katalis L-arginin terimobilisasi pada polimer GMA-co-EDMA pada reaksi transesterifikasi dengan penambahan variabel seperti, pemakaian kembali katalis dan penambahan variasi jumlah katalis yang diperlukan. Kemudian untuk analisis GCMS sebaiknya setiap sampel dilakukan analisis dengan instrument GCMS untuk hasil yang lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Al Hakim, R. R. (2020). Model energi Indonesia, tinjauan potensi energi terbarukan untuk ketahanan energi di Indonesia: Sebuah ulasan. *ANDASIH Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1).
2. Jazuli, M., & Wibowo, A. A. (2020). Biodiesel sebagai Sumber Energi Terbarukan: Proses dan Teknologi Terkini. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 6(2), 445-450.
3. Andalia, W., & Pratiwi, I. (2018). Kinerja Katalis NaOH dan KOH ditinjau dari Kualitas Produk Biodiesel yang dihasilkan dari Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Tekno Global*, 7(2).
4. Putri, P. C. E., & Supriyo, E. (2020). Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit menggunakan Katalis Kalsium Oksida (CaO) menjadi Biodiesel. *METANA*, 16(2), 75-80.
5. Salaheldeen, M., Mariod, A. A., Aroua, M. K., Rahman, S. A., Soudagar, M. E. M., & Fattah, I. R. (2021). Current state and perspectives on transesterification of triglycerides for biodiesel production. *Catalysts*, 11(9), 1121.
6. Ma, X., Liu, F., Helian, Y., Li, C., Wu, Z., Li, H., & Zhou, S. (2021). Current application of MOFs based heterogeneous catalysts in catalyzing transesterification/esterification for biodiesel production: A review. *Energy Conversion and Management*, 229, 113760.
7. Xie, W., Xiong, Y., & Wang, H. (2021). Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-poly (AGE-DVB-GMA) composites immobilized with guanidine as a magnetically recyclable catalyst for enhanced biodiesel production. *Renewable Energy*, 174, 758-768.
8. Wang, X., Yang, K., Cai, R., ChenYang, Y., Huang, Z., & Han, B. (2022). Optimization and kinetics of biodiesel production from soybean oil using new tetraethylammonium ionic liquids with amino acid-based anions as catalysts. *Fuel*, 324, 124510.
9. Gomes, R., Bhanja, P., & Bhaumik, A. (2016). Sulfonated porous organic polymer as a highly efficient catalyst for the synthesis of biodiesel at room temperature. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 411, 110-116.
10. Angga, S. C., Septiana, D., Amalia, S., Iftitah, E. D., Sabarudin, A., & Warsito, W. (2019). Preparation of Poly-(GMA-EDA- $\beta$ -CD-co-TMPTMA) Monolith as High Performance Liquid Chromatography Chiral Stationary Phase Column. *Indonesian Journal of Chemistry*.
11. Saluja, R. K., Kumar, V., & Sham, R. (2016). Stability of biodiesel—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 866-881.

12. Laila, L. (2017). Kaji eksperimen angka asam dan viskositas biodiesel berbahan baku minyak kelapa sawit dari PT Smart Tbk. *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, 2(1).
13. Gonçalves, C. B., Rodrigues, C. E., Marcon, E. C., & Meirelles, A. J. (2016). Deacidification of palm oil by solvent extraction. *Separation and Purification Technology*, 160, 106-111.
14. Cappenberg, A. D. (2017). Pengaruh penggunaan bahan bakar solar, biosolar dan pertamina dex terhadap prestasi motor diesel silinder tunggal. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 70-74.
15. Norjannah, B., Ong, H. C., Masjuki, H. H., Juan, J. C., & Chong, W. T. (2016). Enzymatic transesterification for biodiesel production: a comprehensive review. *RSC advances*, 6(65), 60034-60055.
16. Kafuku, G., Lee, K. T., & Mbarawa, M. (2015). Non-catalytic and catalytic transesterification: A reaction kinetics comparison study. *International journal of green energy*, 12(5), 551-558.
17. Li, J., & Guo, Z. (2017). Structure evolution of synthetic amino acids-derived basic ionic liquids for catalytic production of biodiesel. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(1), 1237-1247.
18. Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Dehghani, M., Panahi, H. K. S., Mollahosseini, A., Hosseini, M., & Soufiyan, M. M. (2019). Reactor technologies for biodiesel production and processing: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 74, 239-303.
19. Hadrah, H., Kasman, M., & Sari, F. M. (2018). Analisis minyak jelantah sebagai bahan bakar biodiesel dengan proses transesterifikasi. *Jurnal Daur Lingkungan*, 1(1), 16-21.
20. Istadi, I., Prasetyo, S. A., & Nugroho, T. S. (2015). Characterization of K<sub>2</sub>O/CaO-ZnO catalyst for transesterification of soybean oil to biodiesel. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 394-399.
21. Huang, Z., ChenYang, Y., Wang, X., Cai, R., & Han, B. (2024). Biodiesel synthesis through soybean oil transesterification using choline-based amino acid ionic liquids as catalysts. *Industrial Crops and Products*, 208, 117869.
22. Liu, H.; Wei, L.; Liu, F.; Pei, Z.; Shi, J.; Wang, Z.-J.; He, D.; Chen, Y. Homogeneous, heterogeneous, and biological catalysts for electrochemical N<sub>2</sub> reduction toward NH<sub>3</sub> under ambient conditions. *ACS Catal.* 2019, 9, 5245–5267.
23. Kumaunang, M. (2019). Amobilisasi enzim bromelin yang diisolasi dari batang nanas dengan menggunakan karagenan. *Chemistry Progress*, 4(2).

24. Wardoyo, F. A., & Kartika, A. I. (2017). Imobilisasi Enzim Lipase Pada Padatan Pendukung Zeolit Alam. In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL & INTERNASIONAL*. 1(1).
25. Chang, J., Guan, X., Pan, S., Jia, M., Chen, Y., & Fan, H. (2018). Sulfonated poly (styrene-divinylbenzene-glycidyl methacrylate)-capsulated magnetite nanoparticles as a recyclable catalyst for one-step biodiesel production from high free fatty acid-containing feedstocks. *New Journal of Chemistry*, 42(15), 13074-13080.
26. Xie, W., & Huang, M. (2020). Fabrication of immobilized *Candida rugosa* lipase on magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-poly (glycidyl methacrylate-co-methacrylic acid) composite as an efficient and recyclable biocatalyst for enzymatic production of biodiesel. *Renewable Energy*, 158, 474-486.
27. Maulidiyah, M., Watoni, A. H., Maliana, N., Irwan, I., Salim, L. O. A., Arham, Z., & Nurdin, M. (2021). Biodiesel production from crude palm oil using sulfuric acid and K<sub>2</sub>O Catalysts through a two-stage reaction. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 12(3), 3150-3160
28. Acquah, C., Chan, Y. W., Pan, S., Yon, L. S., Ongkudon, C. M., Guo, H., & Danquah, M. K. (2019). Characterisation of aptamer-anchored poly (EDMA-co-GMA) monolith for high throughput affinity binding. *Scientific reports*, 9(1), 14501.
29. Al-Rubaye, A. F., Hameed, I. H., & Kadhim, M. J. (2017). A review: uses of gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) technique for analysis of bioactive natural compounds of some plants. *International Journal of Toxicological and Pharmacological Research*, 9(1), 81-85.
30. Nurdin, M., Fatma, F., Natsir, M., & Wibowo, D. (2017). Characterization of methyl ester compound of biodiesel from industrial liquid waste of crude palm oil processing. *Analytical chemistry research*, 12, 1-9.
31. AFGANI, A. Q., & Destiani, D. P. (2018). Pengaruh Polaritas Porogen pada Sintesis Molecularly Imprinted Polymer (MIP). *Farmaka*, 16(3).
32. Purnomo, V., Hidayatullah, A. S., Inam, A., Prastuti, O. P., Septiani, E. L., & Herwoto, R. P. (2020). Biodiesel Dari Minyak Jarak Pagar Dengan Transesterifikasi Metanol Subkritis. *Jurnal Teknik Kimia*, 14(2), 73-79.
33. Ulfa, S. N. S., & Samik, S. (2022). Artikel review: pemanfaatan katalis zeolit alam teraktivasi dalam sintesis biodiesel dengan metode esterifikasi dan transesterifikasi. *UNESA Journal of Chemistry*, 11(3), 165-181.

34. Malia, A., Suarya, P., Asih, I. A. R. A., & Putra, I. M. W. A. (2016). Pengaruh Rasio Molar Minyak Jelantah dengan Metanol dan Suhu Reaksi dalam Reaksi Transesterifikasi Terkatalis CaO/Zeolit. *Jurnal Kimia*. 10(1), 49-57.
35. Ulfayana, S., Bahri, S., Helwani, Z. J. (2014). Pemanfaatan Zeolit Alam sebagai Katalis pada Tahap Transesterifikasi Pembuatan Biodiesel dari Sawit Off Grade. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*. 1(2), 1-12.
36. Hidayati, N., Ariyanto, T. S., & Septiawan, H. (2017). Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas menjadi Biodiesel dengan Katalis Kalsium Oksida. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1).
37. Margareta, M. A. H., & Wonorahardjo, S. (2023). Optimasi Metode Penetapan Senyawa Eugenol dalam Minyak Cengkeh Menggunakan Gas Chromatography–Mass Spectrum dengan Variasi Suhu Injeksi. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, 6(2), 95-103.
38. Ulfin, I., & Ni'mah, Y. L. (2018). Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Katalis NaOH dengan Variasi Waktu Reaksi Transesterifikasi dan Uji Performanya dengan Mesin Diesel. *Akta Kimia Indonesia*, 3(2), 175-189.
39. Savitri, S., Nugraha, A. S., & Aziz, I. (2016). Pembuatan Katalis Asam (Ni/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan Katalis Basa (Mg/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) untuk Aplikasi Pembuatan Biodiesel dari Bahan Baku Minyak Jelantah. *Jurnal Kimia Valensi*, 2(1), 1-10.
40. Susanti, T., & Santosa, S. (2022). Studi Penggunaan Katalis CaO-NaOH Pada Produksi Biodiesel Dari Minyak Jelantah. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 8(2), 294-300.
41. Tasfiyati, A. N., Sulistyarti, H., & Sabarudin, A. (2015). Production of organic polymer based monolithic columns for anion separation using high performance liquid chromatography. *Natural B, Journal of Health and Environmental Sciences*, 3(1), 008-016.
42. Monzo, A., Rejtar, T., & Guttman, A. (2009). Optimization of poly (GMA-co-EDMA) monolithic support for trypsin nanoreactor fabrication. *Journal of chromatographic science*, 47(6), 467-472.
43. Riaz, T., Zeeshan, R., Zarif, F., Ilyas, K., Muhammad, N., Safi, S. Z., & Rehman, I. U. (2018). FTIR analysis of natural and synthetic collagen. *Applied Spectroscopy Reviews*, 53(9), 703-746.