

**PENGARUH METODE PEMURNIAN *DRY WASHING* MENGGUNAKAN
AKTIVASI MAGNESIUM SILIKAT DAN ALUMINOSILIKAT HIDRAT
PADA PROSES PRODUKSI BIODIESEL**

Skripsi

Oleh

Diah Ayu Pangastuti

2064051001



**JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRACT

THE EFFECT OF DRY WASHING PURIFICATION METHOD USING ACTIVATED MAGNESIUM SILICATE AND HYDRATED ALUMINOSILICATE IN THE BIODIESEL PRODUCTION PROCESS

By

DIAH AYU PANGASTUTI

The purification stage is crucial in improving biodiesel quality to meet the required standards. One of the efficient and environmentally friendly methods is dry washing using adsorbents, in which the selection of adsorbent type and activation method plays an important role. This study aimed to determine the effect of adsorbent types (Magnesol, natural Zeolite, and their mixture) and activation methods (H_2SO_4 , HCl, and without acid) on the quality of biodiesel produced from pure cooking oil through the dry washing method. The experiment was arranged in a completely randomized design (CRD) using a 3×3 factorial with two factors, namely adsorbent type and activation method. The parameters analyzed included yield, water content, acid value, saponification value, iodine value, and cetane index. The data obtained were subjected to a homogeneity test using Bartlett's test and an additivity test using Tukey's test. Subsequently, the data were analyzed through analysis of variance (ANOVA), followed by a further test employing Orthogonal Comparison (OC) to determine significant differences among treatments. The results of the study showed that the type of adsorbent had a significant effect on several biodiesel quality parameters, in which the combination of Magnesol and natural Zeolite produced the best biodiesel quality. The adsorbent activation method also had a significant effect, with H_2SO_4 activation being able to increase yield, HCl activation being the most effective in reducing water content, and no acid activation producing the best result in lowering the acid value. There was also a significant interaction between the combination of adsorbent type and activation method on biodiesel quality, particularly in the parameters of water content, acid value, iodine value, saponification value, and cetane index.

Keywords: acid activation, biodiesel, dry washing, magnesol, natural zeolite, quality

ABSTRAK

PENGARUH METODE PEMURNIAN *DRY WASHING* MENGGUNAKAN AKTIVASI MAGNESIUM SILIKAT DAN ALUMINOSILIKAT HIDRAT PADA PROSES PRODUKSI BIODIESEL

Oleh

DIAH AYU PANGASTUTI

Pemurnian biodiesel merupakan tahap penting untuk meningkatkan mutu biodiesel sehingga sesuai dengan standar mutu yang dipersyaratkan. Salah satu metode yang efisien dan ramah lingkungan adalah *dry washing* menggunakan adsorben, dimana pemilihan jenis adsorben dan metode aktivasi memegang peranan penting dalam proses ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis adsorben (Magnesol, Zeolit alam, dan campurannya) serta metode aktivasi (H_2SO_4 , HCl, dan tanpa asam) terhadap mutu biodiesel berbahan baku minyak goreng murni melalui metode *dry washing*. Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan rancangan acak kelompok lengkap (RAKL) secara faktorial 3×3 dengan dua faktor, yaitu jenis adsorben dan metode aktivasi. Parameter mutu biodiesel yang dianalisis meliputi rendemen, kadar air, bilangan asam, bilangan penyabunan, bilangan iodium, dan indeks setana. Dari data yang telah dihasilkan dilakukan uji kehomogenannya dengan uji Bartlett dan kemenambahan data dengan uji Tuckey. Data selanjutnya dianalisis dengan sidik ragam kemudian diuji lanjut dengan *Ortogonal Comparison* (OC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis adsorben berpengaruh nyata terhadap beberapa parameter kualitas biodiesel, di mana campuran Magnesol dan Zeolit alam menghasilkan kualitas biodiesel terbaik. Metode aktivasi adsorben juga memberikan pengaruh signifikan, dengan aktivasi H_2SO_4 mampu meningkatkan rendemen, sedangkan aktivasi HCl paling efektif menurunkan kadar air, serta tanpa aktivasi asam memberikan hasil terbaik dalam menurunkan bilangan asam. Terdapat interaksi yang nyata antara kombinasi jenis adsorben dan metode aktivasi terhadap kualitas biodiesel, terutama pada parameter kadar air, bilangan asam, bilangan iodium, bilangan penyabunan, dan indeks setana.

Kata kunci: aktivasi asam, biodiesel, *dry washing*, kualitas, magnesol, zeolit alam

**PENGARUH METODE PEMURNIAN *DRY WASHING* MENGGUNAKAN
AKTIVASI MAGNESIUM SILIKAT DAN ALUMINOSILIKAT HIDRAT
PADA PROSES PRODUKSI BIODIESEL**

Oleh

DIAH AYU PANGASTUTI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

pada

Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

: **PENGARUH METODE PEMURNIAN DRY WASHING MENGGUNAKAN AKTIVASI MAGNESIUM SILIKAT DAN ALUMINOSILIKAT HIDRAT PADA PROSES PRODUKSI BIODIESEL**

Nama Mahasiswa

: **Diah Ayu Pangastuti**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2064051001**

Program Studi

: **Teknologi Hasil Pertanian**

Fakultas

: **Pertanian**

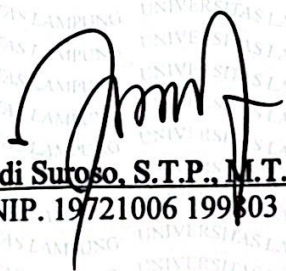
Menyetujui

1. Komisi Pembimbing


Dr. Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc.
NIP. 19660314 199003 1 009


Ir. Ahmad Sapta Zuidar, M.P.
NIP. 19680210 199303 1 003

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

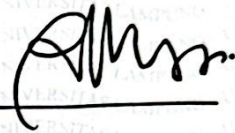

Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EIA.
NIP. 19721006 199303 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

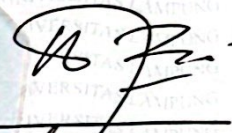
Ketua

: Dr. Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc.



Sekretaris

: Ir. Ahmad Sapta Zuidar, M.P.



Penguji

Bukan pembimbing : Dr. Ir. Subeki, M.Sc., M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP.19641118 198902 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 21 Agustus 2025

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Diah Ayu Pangastuti

NPM : 2064051001

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya tulis ini adalah hasil karya sendiri berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Hasil karya ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukan hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila terdapat kecurangan dikemudian hari dalam karya ini, maka saya siap mempertanggung jawabkannya.

Bandar Lampung, 21 Agustus 2025

Pembuat Pernyataan



Diah Ayu Pangastuti
NPM. 2064051001

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Liman Benawi, Kecamatan Trimurjo, Kabupaten Lampung Tengah, pada tanggal 10 Juli 2002. Penulis merupakan putri pertama dari pasangan Bapak Widio Kuswantoro dan Ibu Eni Purwati. Penulis memiliki dua adik perempuan yang bernama Citra Hayu Nastiti dan Harnum Putri Kinasih. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Depokrejo pada tahun 2008-2014, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 2 Trimurjo pada tahun 2014-2017, Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 2 Metro pada tahun 2017-2020. Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2020 melalui jalur Prestasi Khusus.

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada bulan Januari-Februari 2023 di Pekon Parada Suka Mulya, Kecamatan Lemong, Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung, dan melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. Aneka Coklat Krakakoa di Kecamatan Bumi Waras, Kota Bandar Lampung pada bulan Juni-Juli 2023 dan telah menyelesaikan laporan PU dengan judul “Mempelajari Proses Produksi *Dark Milk Chocolate Bars* Pada PT. Aneka Coklat Kakao Di Bandar Lampung”.

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan. Penulis menyadari bahwa pada pelaksanaan dan penulisan skripsi tidak terlepas dari bimbingan, bantuan serta dukungan berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A. C.EIA., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Samsul Rizal, M. Si., selaku Koordinator Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Pertama sekaligus Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, saran, kritik, nasehat serta motivasi dan dukungan selama penyusunan skripsi hingga selesai.
5. Bapak Ir. Ahmad Sapta Zuidar, M.P., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan saran, kritik, dan dukungan selama penyusunan skripsi.
6. Bapak Dr. Ir. Subeki, M.Sc., M.Si., selaku Penguji Utama yang telah memberikan masukan dan saran-saran membangun agar penulisan skripsi ini lebih baik lagi.
7. Bapak dan Ibu dosen pengajar, staf dan karyawan Jurusan Teknologi Hasil Pertanian yang telah mengajari, membimbing, dan membantu administrasi dalam penyelesaian skripsi ini.

8. Kedua orang tua, Bapak Widio Kuswantoro dan Ibu Eni Purwati, yang sangat saya sayangi dan cintai, yang selalu memberikan kasih sayang, doa, serta dukungan sepanjang waktu. Segala pengorbanan, kasih sayang, dan perhatian yang telah Ayah dan Ibu berikan sejak saya lahir hingga saat ini, tidak akan pernah mampu saya balas dengan apapun di dunia ini. Saya sadar, saya masih belum dapat berbuat banyak untuk membahagiakan Ayah dan Ibu. Terima kasih yang tak terhingga saya ucapkan kepada Ayah dan Ibu, sosok yang berharga dalam hidup saya.
9. Kakek dan nenek, Bapak Padiman dan Ibu Sartini yang sangat saya cintai dan sayangi. Terima kasih telah membesarkanku yang tiada henti selalu mendoakan, memberikan kasih sayang, perhatian, serta semangat sepanjang waktu. Tiada mungkin dapatku balas hanya dengan selembar kertas yang bertuliskan kata cinta dan persembahan, karena aku sadar belum bisa berbuat yang lebih untuk kalian. Terima kasihku tak terhingga untukmu Bapak dan Mbahku orang yang paling berharga dalam hidupku.
10. Kakakku Milantika Kristanti yang selalu memberikan semangat dan motivasi agar segera menyelesaikan skripsi ini selalu menjadi tempat keluh dan kesah penulis.
11. Kedua adikku Citra Hayu Nastiti dan Harnum Putri Kinasih yang selalu memberikan semangat dan dukungan agar segera menyelesaikan skripsi ini.
12. Keponakanku Khalief dan Kaizo yang selalu mampu menghadirkan keceriaan dan semangat baru dalam kehidupan Nuna. Kehadiran dan canda tawa kalian menjadi sumber kebahagiaan tersendiri disela-sela perjuangan Nuna menyelesaikan studi ini. Semoga kalian selalu sehat, bahagia, dan kelak dapat menjadi pribadi yang membanggakan keluarga.
13. Sahabat-sahabat perkuliahan dan seperjuangan, Arini Rahma, Arfika Julya Saffanah dan Mely Resti Yana yang selalu memberikan bantuan, dukungan, menemani, menghibur penulis, dan tempat berkeluhkesah selama perkuliahan sampai terselesaikannya skripsi.
14. Rekan penelitian dan satu bimbingan, Ade, Arum, Rika, Salsa Awe, dan Victor yang selalu membantu, memberikan saran, mendukung dan menemani selama penelitian hingga penyelesaian skripsi.

15. Teman-teman semasa kuliah, Iis, Yana, Pupah, dan teman-teman THP 2020 yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang selalu membantu, memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis.
16. Sahabat-sahabat penulis yang sudah seperti kakak sendiri, Mba Selli Pertiwi, Mba Nunik Kurnia Anissa, Aditiya Pratama dan Isya Fauzi yang selalu memberikan keceriaan, motivasi dan juga bantuan kepada penulis.
17. Seseorang yang namanya tersimpan hangat di hati yang selalu menjadi pengingat penulis untuk menjadi lebih baik. Terima kasih telah menjadi cahaya di setiap langkah perjalanan penulis, memberi makna pada hari-hari penuh perjuangan ini. Dalam diam, doa, dan perhatian yang tak pernah penulis pinta, selalu hadir sebagai semesta kecil yang meneduhkan. Semoga segala kebaikan dan ketulusanmu, kelak kembali berlipat ganda. Untuk setiap semangat, kepercayaan, dan kasih yang telah kamu berikan, penulis ucapkan terima kasih.
18. Teman-teman Jurusan Teknologi Hasil Pertanian angkatan 2020 yang telah membantu dan bertukar informasi semasa kuliah.
19. Seluruh pihak yang terlibat dalam lancarnya penyusunan skripsi melalui doa serta dukungannya.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya dan semoga Allah SWT membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Bandar Lampung, 21 Agustus 2025

Diah Ayu Pangastuti

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang dan Masalah.....	1
1.2. Tujuan Penelitian	4
1.3. Kerangka Pemikiran.....	5
1.4. Hipotesis.....	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Energi Terbarukan dan Urgensinya.....	8
2.2. Minyak Nabati Kelapa Sawit	8
2.3. Proses Pengolahan Minyak Goreng	10
2.4. Biodiesel	12
2.4.1. Trigliserida.....	13
2.4.2. Proses Produksi Biodiesel	14
2.5. Pemurnian Biodiesel	15
2.5.1. Metode Pemurnian <i>Wet washing</i>	16
2.5.2. Metode Pemurnian <i>Dry washing</i>	16
2.6. Adsorben	17
2.7. Magnesium Silikat (Magnesol).....	17
2.8. Aluminosilikat Hidrat (Zeolit alam)	18
2.9. Metode Aktivasi Adsorben	20
III. METODOLOGI	22
3.1. Tempat dan Waktu	22
3.2. Bahan dan Alat	22

3.3. Metode Penelitian	23
3.4. Prosedur Penelitian	23
3.4.1. Perlakuan Pendahuluan Adsorben.....	23
3.4.2. Proses Transesterifikasi.....	24
3.4.3. Proses Pemurnian Biodiesel.....	25
3.5 Variabel Pengamatan.....	27
3.5.1. Penentuan Rendemen Biodiesel.....	27
3.5.2. Kadar Air.....	27
3.5.3. Bilangan Asam	28
3.5.4. Bilangan Penyabunan.....	29
3.5.5. Bilangan Iodium.....	29
3.5.6. Indeks Setana	30
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1. Penelitian Pendahuluan	32
4.2. Rendemen Biodiesel	38
4.3. Kadar Air Biodiesel.....	40
4.4. Bilangan Asam Biodiesel	43
4.5. Bilangan Penyabunan Biodiesel	44
4.6. Bilangan Iodium Biodiesel.....	46
4.7. Bilangan Indeks Setana Biodiesel.....	48
4.8. Perlakuan Terbaik.....	50
V. KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1. Kesimpulan	52
5.2. Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....	54
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Standar biodiesel berdasarkan SNI 7182-2012.....	13
2. Karakteristik biodiesel berbahan baku minyak goreng Bimoli.....	30
3. Penjumlahan total <i>score</i> dari tiap parameter.....	50
4. Rendemen pemurnian biodiesel.....	63
5. Uji homogenitas Bartlett rendemen pemurnian biodiesel.....	63
6. Analisis ragam rendemen pemurnian biodiesel.....	64
7. Uji ortogonal kontras (OC) rendemen pemurnian biodiesel.....	65
8. Data kadar air pemurnian biodiesel.....	66
9. Uji homogenitas Bartlett kadar air pemurnian biodiesel.....	66
10. Analisis ragam kadar air pemurnian biodiesel.....	67
11. Uji ortogonal kontras (OC) kadar air pemurnian biodiesel.....	67
12. Hasil penelitian pemurnian biodiesel bilangan asam.....	68
13. Uji homogenitas Bartlett bilangan asam pemurnian biodiesel.....	68
14. Analisis ragam bilangan asam pemurnian biodiesel.....	69
15. Uji ortogonal kontras (OC) bilangan asam pemurnian biodiesel.....	69
16. Data bilangan penyabunan pemurnian biodiesel.....	70
17. Uji homegenitas Bartlett bilangan penyabunan biodiesel.....	70
18. Analisis ragam bilangan penyabunan pemurnian biodiesel.....	71
19. Uji ortogonal kontras (OC) bilangan penyabunan pemurnian biodiesel.....	71
20. Data bilangan iodium pemurnian biodiesel.....	72
21. Uji homogenitas Bartlett bilangan iodium biodiesel.....	72
22. Analisis ragam bilangan iodium pemurnian biodiesel.....	73

23. Uji ortogonal kontras (OC) bilangan iodium pemurnian biodiesel.....	73
24. Data indeks setana pemurnian biodiesel.....	74
25. Uji homogenitas Bartlett indeks setana pemurnian biodiesel.....	74
26. Analisis ragam indeks setana pemurnian biodiesel.....	75
27. Uji ortogonal kontras (OC) indeks setana pemurnian biodiesel.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur kimia trigliserida.....	14
2. Reaksi transesterifikasi.....	15
3. Struktur kimia magnesium silikat.....	18
4. Struktur kimia aluminosilikat hidrat.....	19
5. Diagram alir proses transesterifikasi.....	25
6. Diagram alir pemurnian metode <i>dry washing</i>	26
7. Tata letak percobaan rancangan acak kelompok lengkap.....	62
8. Magnesol.....	76
9. Zeolit alam.....	76
10. Proses aktivasi adsorben.....	77
11. Pencucian adsorben.....	77
12. Proses transesterifikasi.....	77
13. Pemisahan <i>crude</i> metil ester dari gliserol.....	78
14. Proses destilasi <i>crude</i> metil ester dari metanol.....	78
15. Proses adsorpsi kontaminan <i>crude</i> metil ester.....	78
16. Pemisahan metil ester dari adsorben.....	79
17. Rendemen biodiesel.....	79
18. Pengeringan sampel uji kadar air biodiesel.....	80
19. Pendinginan sampel uji kadar air biodiesel.....	80
20. Penimbangan akhir uji kadar air biodiesel.....	80
21. Titrasi bilangan asam biodiesel.....	81
22. Pengamatan bilangan asam biodiesel.....	81
23. Penambahan KOH alkohol pada sampel biodiesel proses penyabunan.....	82

24. Pemanasan (refluks) proses penyabunan.....	82
25. Pendingan sampel proses penyabunan.....	82
26. Titrasi balik sampel biodiesel setelah reaksi penyabunan.....	83
27. Pengukuran larutan reagen iod.....	83
28. Penambahan larutan reagen iod pada sampel biodiesel.....	83
29. Inkubasi sampel dalam lemari gelap uji bilangan iod.....	84
30. Titrasi dan pengamatan bilangan iod.....	84

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Masalah

Bahan bakar merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting untuk menghasilkan energi. Sebagian besar bahan bakar yang digunakan manusia untuk menghasilkan energi tidak dapat diperbarui, salah satunya yaitu minyak bumi. Ketersediaan minyak bumi semakin berkurang seiring berjalannya waktu dan diperkirakan dalam 40-60 tahun mendatang minyak bumi akan menjadi bahan langka karena tidak terbarukan (Yusnimar *et al.*, 2012; Suryani *et al.*, 2017). Dharmawan *et al.* (2018) memperkirakan penurunan produksi minyak bumi secara nasional akan terus berlanjut hingga tahun 2025 menyebabkan kelangkaan minyak bumi. Situasi tersebut mengancam ketahanan energi negara, sehingga perlu upaya untuk mencegah kelangkaan produksi bahan bakar minyak dengan cara mencari bahan lain sebagai sumber bahan bakar alternatif. Pengembangan bahan bakar alternatif berupa *biofuel* (biodiesel) sebagai energi baru terbarukan merupakan salah satu solusi untuk mengatasi ancaman diatas.

Biodiesel merupakan senyawa metil ester asam lemak atau *Fatty Acids Methyl Esters* (FAME) dari hasil reaksi transesterifikasi antara minyak nabati dan metanol dan dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti petro diesel. Selain solar energi terbarukan, biodiesel memiliki keunggulan dibandingkan solar yaitu ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi, bersifat *biodegradable* dapat terurai secara biologis (alami) (Herdiani, 2009). Minyak nabati merupakan salah satu bahan baku biodiesel yang sangat potensial karena dapat diperbarui dan tersedia melimpah dari hasil pertanian (Atabani *et al.*, 2012). Berbagai minyak nabati seperti minyak kelapa sawit, kedelai, bunga matahari, *rapeseed*, hingga

minyak goreng bekas (*waste cooking oil*) telah diteliti sebagai bahan baku biodiesel (Atabani *et al.*, 2012).

Minyak goreng merupakan salah satu produk yang mudah diperoleh di berbagai pusat perbelanjaan, mulai dari pasar tradisional hingga supermarket modern yang umumnya berbahan baku minyak kelapa sawit, memiliki keunggulan berupa kandungan asam lemak bebas yang rendah dan komposisi trigliserida yang stabil, sehingga sangat sesuai untuk diolah menjadi bahan baku utama pembuatan biodiesel melalui transesterifikasi tanpa perlakuan pendahuluan yang rumit (Hindryawati *et al.*, 2014). Indonesia memiliki prospek besar dalam pengembangan biodiesel karena merupakan negara produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Posisi ini memberikan peluang strategis untuk menjadikan minyak kelapa sawit sebagai bahan baku alternatif pengganti minyak bumi. Menurut Badan Pusat Statistik (2021), produksi minyak sawit Indonesia mencapai 45,1 juta ton pada tahun 2021. Jumlah tersebut membuka peluang besar bagi pemanfaatan minyak goreng sebagai bahan baku biodiesel domestik dalam upaya diversifikasi energi (Atabani *et al.*, 2012).

Proses produksi biodiesel secara umum melalui proses transesterifikasi minyak dan alkohol menggunakan katalis basa yaitu Natrium Hidroksida (Marchetti, 2005). Reaksi transesterifikasi proses yang mereaksikan trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek menghasilkan metil ester asam lemak atau *Fatty Acids Methyl Ester* (FAME) atau biodiesel (Jannah, 2008). Biodiesel yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi merupakan biodiesel mentah yang masih mengandung campuran pengotor, seperti gliserol, sabun, air, alkohol, sisa katalis dan asam lemak bebas. Tahapan pemurnian biodiesel masih menjadi bagian yang sangat penting dalam menjamin kualitas biodiesel (Saiful *et al.*, 2012).

Proses pemurnian (pencucian) dalam produksi biodiesel secara umum menggunakan dua metode yaitu *wat washing* dan *dry washing*. Pemurnian biodiesel yang umum digunakan saat ini adalah pemurnian dengan air hangat (*wet washing*).

Metode *wet washing* memiliki sejumlah kelemahan, antara lain memerlukan proses pencucian berulang, waktu yang relatif lama, serta penggunaan air dalam jumlah besar. Selain itu, metode ini juga menyumbang sekitar 60–80% dari total biaya produksi, sehingga dinilai tidak efisien (Ahmad *et al.*, 2017). Oleh karena itu, diperlukan alternatif metode pemurnian yang lebih efisien dan ekonomis seperti pencucian kering (*dry washing*) menggunakan adsorben (Faccini *et al.*, 2012). Metode *dry washing* merupakan pemurnian dengan memanfaatkan proses adsorpsi untuk menghilangkan zat pengotor dalam biodiesel kasar (Adisty, 2017).

Menurut (Adisty, 2017; Udyani *et al.*, 2018) kelebihan yang dimiliki metode *dry washing* diantaranya tidak memerlukan air, tidak terjadi proses emulsifikasi, meminimalkan *loss*, mengurangi biaya oprasional, dapat digunakan pada proses pemurnian sistem kontinyu, mempercepat proses pemurnian biodiesel, dan mengurangi kadar air lebih baik dari metode *water washing*. Keuntungan yang didapat dari metode *dry washing* tersebut pada akhirnya akan mengurangi biaya produksi (Zullaikah *et al.*, 2017). Efektivitas metode *dry washing* ini sangat bergantung pada jenis adsorben yang digunakan. Magnesol (magnesium silikat) dan Zeolit alam merupakan adsorben yang sering digunakan dalam metode *dry washing*. Magnesol dikenal memiliki luas permukaan tinggi dan daya adsorpsi yang efektif terhadap air, sabun, dan gliserol (Cooke *et al.*, 2005). Zeolit alam, dengan struktur pori yang seragam dan sifat pertukaran ionnya, juga dapat digunakan untuk menghilangkan kontaminan dalam biodiesel (Rosita *et al.*, 2004). Untuk mengoptimalkan kemampuan adsorpsi, kedua adsorben Magnesol dan Zeolit alam tersebut umumnya perlu dilakukan proses aktivasi terlebih dahulu. Proses aktivasi adsorben menggunakan larutan asam seperti H_2SO_4 atau HCl bertujuan untuk meningkatkan daya adsorpsi adsorben dengan membersihkan pori-porinya dari kontaminan (Listiani, 2018). Aktivasi ini dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dan jumlah situs aktif adsorben, sehingga meningkatkan efisiensi proses pemurnian (Saryati *et al.*, 2010).

Penelitian tentang pemurnian biodiesel dengan menggunakan adsorben Magnesol dan Zeolit alam pernah dilakukan oleh Harimbi *et al.* (2019) pada bahan baku

biodiesel dari biji jarak. Dalam penelitiannya, metode *dry washing* diterapkan untuk mengevaluasi efektivitas adsorben Magnesium silikat dan Zeolit alam dalam meningkatkan kemurnian biodiesel. Hasilnya menunjukkan bahwa kedua adsorben mampu menyerap impuritas seperti gliserol, alkohol, katalis, air, dan sedimen secara efektif. Namun penelitian Harimbi *et al.* (2019) belum meneliti interaksi antara jenis adsorben dan pengaruh metode aktivasi adsorben. Selain itu penelitian tersebut menggunakan bahan baku minyak jarak, bukan minyak goreng murni yang lebih umum tersedia di pasaran Indonesia sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui pengaruh jenis adsorben dan metode aktivasi dalam mengadsorpsi biodiesel yang berbahan baku minyak goreng murni serta mengetahui interaksi antara jenis adsorben dengan metode aktivasi yang digunakan. Pada penelitian ini, menggunakan jenis adsorben 100% Magnesol, 100% Zeolit alam, dan campuran 50% Magnesol dan 50% Zeolit alam. Sementara itu, untuk melihat interaksi adsorben terhadap metode aktivasi, maka dilakukan metode aktivasi menggunakan H_2SO_4 , HCl, dan tanpa asam. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pemurnian biodiesel yang lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh jenis adsorben Magnesol, Zeolit alam, dan campurannya terhadap mutu biodiesel melalui metode *dry washing*.
2. Mengetahui pengaruh metode aktivasi adsorben menggunakan H_2SO_4 , HCl, dan tanpa aktivasi terhadap mutu biodiesel melalui metode *dry washing*.
3. Mengetahui interaksi antara jenis adsorben dan metode aktivasi terhadap mutu biodiesel yang dimurnikan dengan metode *dry washing*.

1.3. Kerangka Pemikiran

Proses pemurnian biodiesel umumnya dibagi menjadi dua jenis metode yaitu metode *wet washing* dan metode *dry washing*. Metode *wet washing* menggunakan air sebagai media pencuci, metode ini umum digunakan di Indonesia namun memiliki banyak kelemahan salah satunya kelemahannya yakni dengan adanya penggunaan air yang tidak sedikit serta proses pengerjaannya yang menyita waktu sehingga menyebabkan biaya yang digunakan untuk proses *wet washing* meningkat (Faccini *et al.*, 2012). Metode *dry washing* merupakan metode pemurnian biodiesel dengan adsorpsi atau dengan penukar ion (Atadhasi *et al.*, 2011). Pemurnian dengan adsorpsi menjadi solusi untuk masalah dari metode *wet washing*, metode *dry washing* tidak memerlukan air dan memanfaatkan adsorben sebagai media pengganti air untuk menyerap kotoran yang terdapat pada proses sebelumnya.

Magnesol merupakan salah satu jenis adsorben komersial yang sering digunakan dalam metode pemurnian *dry washing*. Menurut Tya *et al.* (2007), penggunaan Magnesol sebesar 2% dalam proses pemurnian biodiesel mampu menurunkan densitas biodiesel hingga 878 kg/m³, bilangan asam menjadi 0,336 mg-KOH/g, dan kadar sabun hingga 1824 ppm. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi Magnesol berbanding lurus dengan penurunan kadar bilangan asam dan sabun, sehingga biodiesel yang dihasilkan menjadi lebih murni.

Sementara itu, penelitian oleh Cooke *et al.* (2005) dari *The Dallas Group* menyatakan bahwa Magnesol efektif digunakan sebagai bahan *cleaning agent* dalam pemurnian biodiesel. Penggunaan Magnesol dengan konsentrasi 1% dan 2% (b/b) dapat menurunkan kadar gliserin bebas, gliserin total, kandungan air, rendemen, residu karbon, debu sulfat, dan kandungan total sulfur. Namun demikian, efektivitas terbaik ditunjukkan pada konsentrasi 2%, karena mampu memberikan hasil yang lebih signifikan dalam meningkatkan kemurnian biodiesel.

Zeolit alam merupakan adsorben alami yang bisa digunakan untuk memurnikan biodiesel dengan menggunakan metode *dry washing* karena memiliki kemampuan

menyerap senyawa polar seperti air, gliserol, dan sisa katalis (Marlina *et al.*, 2017). Zeolit merupakan adsorben yang memiliki ukuran pori-pori yang sangat kecil dan seragam, sehingga zeolit hanya mampu menyerap molekul-molekul yang berdiameter sama atau lebih kecil dari diameter celah rongga, sedangkan molekul yang diameternya lebih besar dari pori zeolit akan tertahan dan hanya melintasi antar partikel (Husaini, 1990). Zeolit alam mengandung pengotor anorganik seperti natrium (Na), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan besi (Fe), yang dapat menurunkan aktivitas adsorpsinya. Oleh karena itu, zeolit perlu diaktivasi untuk membersihkan pori-porinya dari kontaminan dan meningkatkan sifat aktif permukaannya (Trisunayanti *et al.*, 2000).

Proses aktivasi ini umumnya dilakukan dengan menggunakan asam kuat seperti HCl atau H₂SO₄. Senyawa asam tersebut bereaksi dengan pengotor logam di dalam pori-pori adsorben, sehingga meningkatkan luas permukaan spesifik dan keasaman. Peningkatan karakteristik tersebut akan berdampak pada peningkatan kapasitas adsorpsi. Keberadaan pengotor-pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari zeolit sehingga perlu dilakukan aktivasi. proses aktivasi zeolit juga ditujukan untuk memodifikasi sifat-sifat dari zeolit, seperti luas permukaan dan keasaman. Luas permukaan dan keasaman yang meningkat akan menyebabkan aktivitas katalitik dari zeolit meningkat. Salah satu kelebihan dari zeolit memiliki luas permukaan dan keasaman yang mudah dimodifikasi (Yuanita, 2010).

Tidak hanya zeolit adsorben yang digunakan untuk pemurnian *dry washing* harus diaktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan. Aktivasi dilakukan untuk menghilangkan kontaminan yang terdapat pada pori-pori adsorben, seperti pengotor organik dan anorganik yang menutupi pori-porinya, sehingga untuk meningkatkan daya serapnya perlu dilakukan aktivasi terlebih dahulu (Trisunaryanti *et al.*, 2000). Aktivasi ini biasanya dilakukan dengan menggunakan senyawa asam kuat seperti HCl atau H₂SO₄. Senyawa asam tersebut akan bereaksi dengan kontaminan logam atau mineral yang terdapat di dalam pori-pori adsorben, sehingga membantu membersihkan pori-pori dan meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap *impurities* dalam biodiesel kasar.

Listiani (2018) menyatakan bahwa aktivasi menggunakan HCl dengan konsentrasi 4 M menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 20,91%. Analisis XRF juga menunjukkan bahwa terjadi penurunan signifikan kandungan logam seperti Ti, Al, Ca, Fe, K, dan Mg. Sementara itu, asam sulfat (H_2SO_4) juga terbukti efektif dalam aktivasi adsorben. Kartika Udyani *et al.* (2014) menunjukkan bahwa aktivasi Zeolit alam dengan H_2SO_4 mampu menghasilkan tingkat kemurnian tertinggi sebesar 1,25 N. Penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa baik Magnesol maupun zeolit dapat digunakan secara efektif sebagai adsorben dalam proses *dry washing*. Namun demikian, efisiensi pemurnian biodiesel tidak hanya dipengaruhi oleh jenis adsorben yang digunakan, tetapi juga oleh metode aktivasi adsorben yang diterapkan. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk mengevaluasi kombinasi jenis adsorben dan metode aktivasi yang paling efektif dalam meningkatkan kualitas biodiesel melalui proses *dry washing*.

1.4. Hipotesis

Hipotesis yang diajukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat pengaruh yang signifikan dari jenis adsorben (Magnesol, Zeolit alam, dan campurannya) terhadap mutu biodiesel yang dimurnikan menggunakan metode *dry washing*
2. Terdapat pengaruh yang signifikan dari metode aktivasi adsorben (H_2SO_4 , HCl, dan tanpa aktivasi) terhadap mutu biodiesel yang dimurnikan menggunakan metode *dry washing*.
3. Terdapat interaksi antara jenis adsorben dan metode aktivasi terhadap mutu biodiesel yang dihasilkan menggunakan metode *dry washing*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi Terbarukan dan Urgensinya

Energi merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan manusia modern yang menopang sektor transportasi, industri, pertanian, hingga rumah tangga. Ketergantungan dunia terhadap bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara telah berlangsung selama puluhan tahun. Bahan bakar fosil yang bersifat tidak terbarukan dan kian menipis akibat eksploitasi yang tidak seimbang dengan pembentukan alaminya (Cherwoo *et al.*, 2023). Keterbatasan cadangan penggunaan energi fosil juga menyebabkan dampak lingkungan serius berupa emisi gas rumah kaca seperti CO₂ dan NO_x yang mempercepat pemanasan global dan kerusakan iklim. Berdasarkan laporan IEA (*International Energy Agency*), energi menyumbang lebih dari dua pertiga emisi karbon global, menjadikannya fokus utama dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Pengembangan energi alternatif yang bersih, dapat diperbarui, dan ramah lingkungan menjadi hal yang sangat penting energi terbarukan seperti matahari, angin, air, dan bioenergi menjadi pilihan utama dalam strategi transisi energi global menuju sistem yang lebih berkelanjutan. Salah satu bentuk energi terbarukan yang paling berkembang di sektor transportasi adalah biodiesel, karena karakteristiknya yang mirip solar konvensional dan kemampuannya diproduksi dari sumber daya lokal seperti minyak nabati dan limbah organik (Atabani *et al.*, 2012).

2.2. Minyak Nabati Kelapa Sawit

Minyak nabati merupakan salah satu komoditas penting yang berasal dari tumbuhan dan banyak digunakan baik dalam bidang pangan maupun non-pangan. Salah satu

minyak nabati yang paling dominan di dunia adalah minyak kelapa sawit. Minyak nabati yang paling dominan di dunia adalah minyak kelapa sawit. Minyak kelapa sawit berasal dari tanaman *Elaeis guineensis*, yang banyak dibudidayakan di kawasan tropis seperti Indonesia dan Malaysia. Kedua negara ini bahkan menjadi produsen utama minyak kelapa sawit dunia, menyumbang lebih dari 80% total produksi global (Kushairi *et al.*, 2019).

Minyak sawit *Elaeis guineensis* secara umum terdiri atas komponen utama berupa trigliserida, yaitu senyawa ester yang tersusun dari asam lemak dan gliserol. Komposisi asam lemak pada minyak sawit mentah (*crude palm oil*) didominasi oleh asam palmitat sekitar 39-47%, asam oleat 36-44%, asam linoleat 8-12%, asam stearat 4-6%, serta asam miristat dan asam laurat dalam jumlah lebih kecil. Sementara itu, minyak inti sawit *Palm Kernel Oil* (PKO) memiliki kandungan asam laurat yang lebih tinggi, yaitu sekitar 48%, serta asam miristat sekitar 16%, sehingga karakteristiknya lebih mirip dengan minyak kelapa (Sambanthamurthi *et al.*, 2000; BSN, 2006).

Selain asam lemak, minyak kelapa sawit juga mengandung komponen minor dan senyawa bioaktif yang penting bagi kesehatan maupun untuk berbagai aplikasi industri. Komponen minor tersebut meliputi karotenoid yang memberikan warna merah jingga pada minyak sawit mentah, dengan beta-karoten sebagai senyawa utamanya yang berfungsi sebagai provitamin A. Minyak kelapa sawit juga mengandung vitamin E dalam bentuk tokoferol dan tokotrienol, yang dikenal sebagai antioksidan alami dan bermanfaat dalam menjaga stabilitas serta nilai gizi minyak. Selain itu, terdapat pula fitosterol seperti sitosterol, stigmasterol, dan kampesterol yang berperan dalam menurunkan kadar kolesterol darah, serta squalene yang memiliki efek antioksidan dan dapat melindungi kulit. Kandungan fosfolipid dalam minyak sawit sangat kecil, sehingga minyak ini relatif stabil terhadap oksidasi. Selain itu, minyak kelapa sawit juga mengandung sejumlah kecil senyawa lain seperti digliserida, monogliserida, glikolipid, air dengan kadar kurang dari 0,1%, serta sejumlah kecil kotoran atau impurities yang biasanya akan dihilangkan dalam proses pemurnian (Sambanthamurthi *et al.*, 2000; Mukherjee *et al.*, 2009).

Karakteristik kimia dan fisik minyak kelapa sawit sangat dipengaruhi oleh komposisi asam lemak dan kandungan senyawa minor di dalamnya. Minyak kelapa sawit memiliki titik leleh yang relatif tinggi, yaitu antara 33 hingga 39°C, sehingga pada suhu ruang di daerah tropis umumnya berbentuk semi-padat. Nilai angka penyabunan minyak sawit mentah berkisar antara 190 hingga 209 mg KOH/g, sedangkan bilangan iodin sekitar 48 hingga 56 g I₂/100 g minyak. Komposisi dan karakteristik inilah yang membuat minyak kelapa sawit stabil terhadap suhu tinggi, cocok untuk penggorengan, dan dapat dimanfaatkan baik sebagai bahan pangan maupun non-pangan, termasuk sebagai bahan baku pembuatan biodiesel (Sambanthamurthi *et al.*, 2000; BSN, 2019). Selain itu, keberadaan antioksidan alami seperti karotenoid dan vitamin E dalam minyak kelapa sawit sangat bermanfaat untuk membantu menjaga kualitas minyak selama penyimpanan dan pengolahan, sekaligus memberikan nilai tambah dari segi kesehatan jika dikonsumsi secara proporsional (Mukherjee *et al.*, 2009).

2.3. Proses Pengolahan Minyak Goreng

Minyak goreng merupakan salah satu produk olahan minyak nabati yang memiliki peranan penting dalam kehidupan sehari-hari, terutama sebagai media penghantar panas pada proses memasak. Proses pengolahan minyak goreng dari bahan baku nabati seperti kelapa sawit atau kelapa melibatkan beberapa tahapan penting, yaitu ekstraksi, pemurnian (*refining*), pemucatan (*bleaching*), dan deodorisasi (*deodorizing*). Proses ekstraksi bertujuan untuk memisahkan minyak dari jaringan tanaman dengan metode mekanik menggunakan alat seperti *screw press* atau secara kimia dengan pelarut seperti heksana. Setelah diperoleh minyak mentah, tahap selanjutnya adalah pemurnian, yang meliputi proses netralisasi, degumming, dan washing. Pada proses netralisasi, asam lemak bebas dalam minyak direaksikan dengan basa, umumnya natrium hidroksida (NaOH), membentuk sabun dan air melalui reaksi saponifikasi sehingga kadar asam lemak bebas dalam minyak menurun. Selain itu, proses degumming dilakukan untuk menghilangkan fosfolipid dan gum dengan menambahkan air panas atau asam fosfat, sedangkan washing

bertujuan menghilangkan sisa basa, sabun, dan pengotor lain (Ketaren, 1986; Winarno, 2004).

Setelah proses pemurnian, minyak masuk ke tahap bleaching, yaitu proses pemucatan yang menggunakan adsorben seperti bleaching earth atau karbon aktif untuk menghilangkan pigmen, sisa sabun, dan logam berat. Pada tahap ini, proses yang dominan adalah adsorpsi fisik di mana senyawa-senyawa pengotor terikat pada permukaan adsorben dan terpisah dari minyak. Selanjutnya, proses deodorisasi dilakukan dengan distilasi uap pada suhu tinggi dan tekanan rendah untuk menghilangkan senyawa-senyawa volatil penyebab bau dan rasa tidak sedap, seperti aldehida, keton, dan asam lemak rantai pendek. Reaksi-reaksi penting yang terjadi selama pengolahan minyak goreng meliputi reaksi saponifikasi, adsorpsi, dan distilasi, di mana masing-masing bertujuan meningkatkan mutu minyak goreng agar sesuai standar konsumsi (Sambanthamurthi *et al.*, 2000; Winarno, 2004).

Kandungan minyak goreng yang telah mengalami proses pengolahan umumnya terdiri atas trigliserida sebagai komponen utama, serta sejumlah kecil diasilgliserol, asam lemak bebas, fosfolipid, sterol, vitamin E (tokoferol dan tokotrienol), dan sisa pigmen dalam jumlah minimal. Minyak goreng yang bermutu baik harus memiliki bilangan asam yang rendah, kadar air dan pengotor yang sangat kecil, serta stabilitas oksidasi yang tinggi. Standar Nasional Indonesia (SNI 3741:2013) mensyaratkan bahwa minyak goreng sawit harus memiliki bilangan asam maksimal 0,3 mg KOH/g, kadar air dan pengotor maksimal 0,1%, dan tidak mengandung bahan tambahan pangan yang berbahaya. Seluruh tahapan proses pengolahan tersebut bertujuan menghasilkan minyak goreng yang jernih, tidak berbau tengik, dan aman untuk dikonsumsi oleh masyarakat (Ketaren, 1986; BSN, 2013).

2.4. Biodiesel

Biodiesel merupakan monoalkil ester dari asam-asam lemak rantai panjang yang terkandung dalam minyak nabati atau lemak hewani untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Biodiesel dapat diperoleh melalui reaksi transesterifikasi trigliserida dan atau reaksi esterifikasi asam lemak bebas tergantung dari kualitas minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku (Hikmah *et al.*, 2010). Transesterifikasi adalah proses yang mereaksikan trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek seperti metanol atau etanol yang menghasilkan metil ester asam lemak *Fatty Acids Methyl Esters* atau biodiesel dan gliserol (gliserin) sebagai produk samping. Katalis yang digunakan pada proses transesterifikasi adalah basa/alkali. Jenis katalis yang biasa diantaranya seperti Natrium Hidroksida (NaOH) atau Kalium Hidroksida (KOH) katalis NaOH lebih kuat mengkatalisis reaksi transesterifikasi dibandingkan dengan KOH, sebab pada konsentrasi yang sama tampak bahwa katalis NaOH lebih mampu menurunkan viskositas lebih rendah dari pada katalis KOH. Kekurangan katalis NaOH adalah kemudahan terbentuknya sabun sebagai hasil samping reaksi, sehingga perlu penanganan khusus pada proses pencucian (Joelianingsih *et al.*, 2006).

Dalam suhu ruang biodiesel baik jenis *Methyl Ester* atau *Ethyl Ester* merupakan senyawa yang relative stabil yang berfase cair senyawa ini tidak korosif dan memiliki titik didih rendah secara ekonomi, biodiesel jenis *Methyl Ester* lebih disukai daripada *Ethyl Ester* (Sivasamy *et al.*, 2009). Sebagian besar tanaman memiliki kandungan minyak dan *free fatty acid (FFA)* yang berbeda-beda minyak nabati sebagai bahan baku pembuatan biodiesel dikelompokkan menjadi tiga jenis berdasarkan kandungan FFA, yaitu *Refined oils* minyak nabati dengan kandungan FFA kurang dari 1,5%, minyak nabati dengan kandungan FFA rendah kurang dari 4% dan minyak nabati dengan kandungan FFA tinggi lebih dari 20% (Joelianingsih *et al.*, 2006).

Bahan baku biodiesel memiliki kandungan FFA di bawah 5%, tahap pembuatan biodiesel dapat langsung menggunakan reaksi transesterifikasi. Jika biodiesel

memiliki kandungan FFA di atas 5% maka diperlukan proses esterifikasi dengan katalis asam. Apabila langsung ditransesterifikasi dengan katalis basa maka FFA akan bereaksi dengan katalis membentuk sabun (Hikmah dan Zuliyana, 2010). Terbentuknya sabun dalam jumlah yang cukup besar dapat menghambat pemisahan gliserol dari metil ester dan berakibat terbentuknya emulsi selama proses pencucian. Kualitas biodiesel sebagai produk bahan bakar mesin diesel ditentukan oleh beberapa parameter, antara lain bilangan setana, kekentalan kinematik, masa jenis, dan lain-lain. Standar biodiesel Indonesia disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar biodiesel berdasarkan SNI 7182-2012

Parameter	SNI 7812-2012
Massa jenis pada 40°C (kg/m ³)	850-890
Viskositas kinematik pada 40°C, (cSt)	2,3-6,0
Angka setana	Min. 51
Titik nyala (°C)	Min. 100
Titik Kabut (°C)	Min.18
Kadar Air (%volume)	Max. 0,05
Bilangan Iodin (g-I ₂ /100 g)	Max. 115

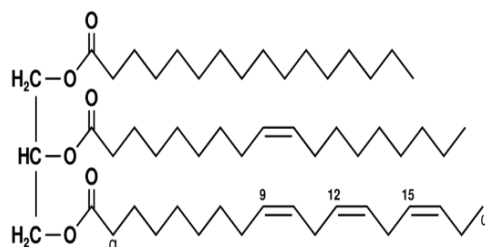
(Sumber: BSN, 2012)

2.4.1 Triglisierida

Triglisierida *triacylglycerol* (TAG) merupakan senyawa utama dalam minyak nabati dan lemak hewani, yang terdiri dari satu molekul gliserol yang terikat dengan tiga molekul asam lemak melalui ikatan ester (Demirbas, 2008). Struktur ini menjadikan triglisierida sebagai bahan baku utama dalam produksi biodiesel karena kandungan energinya yang tinggi (Hakim, 2021). Kandungan triglisierida dalam minyak nabati sering mencapai lebih dari 90% berat total minyak, sehingga hampir seluruhnya dapat dikonversi menjadi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi (Mardina, 2011).

Kandungan asam lemak bebas (free fatty acid/FFA) dalam triglisierida juga memengaruhi efisiensi reaksi transesterifikasi. Minyak dengan FFA tinggi cenderung mengalami saponifikasi jika menggunakan katalis basa, sehingga menurunkan hasil biodiesel, dan memerlukan perlakuan esterifikasi sebelumnya (Hakim, 2021). Selain itu, komposisi asam lemak jenuh dan tak jenuh dalam

trigliserida menentukan sifat fisikokimia biodiesel, seperti titik beku, kestabilan oksidasi, dan angka setana (Demirbas, 2008; Wikipedia, 2025). Oleh karena itu, pemilihan jenis minyak nabati dengan profil trigliserida yang sesuai sangat penting untuk menghasilkan biodiesel berkualitas tinggi. Struktur kimia trigliserida disajikan pada Gambar 1.

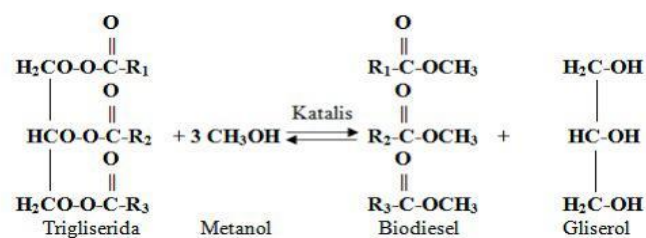


Gambar 1. Struktur kimia trigliserida
Sumber : Sumarnadi *et al.*, 2010

2.4.2 Proses Produksi Biodiesel

Biodiesel umumnya diproduksi melalui dua cara, yaitu proses transesterifikasi dan esterifikasi, bergantung pada karakteristik bahan baku yang digunakan. Pada proses transesterifikasi, trigliserida yang terkandung dalam minyak nabati maupun lemak hewani direaksikan dengan alkohol, umumnya metanol, sehingga dihasilkan metil ester (biodiesel) dan gliserol sebagai produk samping. Reaksi berlangsung lebih cepat dengan bantuan katalis basa, seperti NaOH atau KOH, yang berfungsi mempercepat laju reaksi sekaligus meningkatkan rendemen biodiesel (Ningsih dan Suparto, 2017). Transesterifikasi menjadi metode yang paling banyak digunakan dalam skala komersial karena efisiensinya yang tinggi, terutama ketika menggunakan metanol yang memiliki reaktivitas tinggi serta harga relatif lebih murah dibandingkan alkohol lain. Bahan baku memiliki kadar asam lemak bebas FFA (*free fatty acid*) yang tinggi, maka perlu dilakukan proses esterifikasi sebagai tahap pendahuluan sebelum transesterifikasi. Esterifikasi dengan katalis asam, seperti H_2SO_4 , berfungsi untuk menurunkan kadar FFA sehingga mencegah terjadinya reaksi penyabunan (saponifikasi) yang dapat mengganggu proses

transesterifikasi (Efendi *et al.*, 2018). Reaksi transesterifikasi disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Reaksi transesterifikasi
Sumber : Oko dan Syahrir (2017)

Kombinasi antara proses esterifikasi dan transesterifikasi menjadi strategi yang efektif untuk mengolah bahan baku berkualitas rendah dengan kadar FFA tinggi menjadi biodiesel. Setelah tahap reaksi transesterifikasi selesai, produk biodiesel yang dihasilkan masih berupa *crude* biodiesel atau biodiesel mentah. Produk ini umumnya mengandung berbagai pengotor, antara lain katalis yang tersisa, gliserol, sisa alkohol, senyawa sabun, serta kandungan air. Oleh karena itu, diperlukan tahap pemurnian untuk menghilangkan pengotor-pengotor tersebut sehingga biodiesel yang diperoleh memenuhi standar mutu, seperti standar ASTM D6751 atau SNI 7182:2015. Tahap pemurnian dapat dilakukan melalui pencucian basah (*wet washing*) menggunakan air atau pencucian kering (*dry washing*) dengan adsorben, sehingga biodiesel yang diperoleh memiliki kualitas baik dan siap digunakan sebagai bahan bakar alternatif ramah lingkungan (Atadashi *et al.*, 2011).

2.5. Pemurnian Biodiesel

Proses pemurnian biodiesel merupakan langkah penting dalam keseluruhan proses produksi biodiesel. Tahap akhir transesterifikasi yaitu sebagian besar biodiesel dipisahkan melalui pengendapan gravitasi atau sentrifugasi. Jika tidak dilakukan proses pemurnian, maka kontaminan seperti sisa katalis, alkohol dan gliserol dapat mengurangi kualitas biodiesel dan mempengaruhi kinerja mesin. Pemurnian yang dilakukan dengan tepat, akan menghasilkan rendemen maksimum. Maka dari itu, perbedaan pemurnian biodiesel juga sangat berpengaruh dalam perolehan

rendemen dan kualitas biodiesel. Metode pemurnian biodiesel yang sering digunakan adalah *wet washing* dan *dry washing*.

2.5.1. Metode Pemurnian *Wet washing*

Wet washing merupakan metode konvensional untuk menghilangkan kotoran pada biodiesel metode *wet washing* menggunakan media air atau asam seperti asam fosfat, asam sulfat dan asam klorida. Pemurnian ini cenderung mudah karena menggunakan bahan yang umum digunakan. Pemurnian dengan metode *wet washing* membutuhkan air hangat sekitar 60°C untuk memisahkan kontaminan dari biodiesel. Penggunaan air hangat tersebut mampu meningkatkan nilai kelarutan kontaminan sehingga kontaminan terpisah dari biodiesel (Jariah *et al.*, 2021).

Metode *wet washing* membutuhkan setidaknya 3-4 perlakuan hingga media air yang digunakan menjadi lebih jernih setelah terpisah. Namun, hal tersebut tentunya membutuhkan air dalam jumlah yang tidak sedikit dan waktu yang cukup lama. Membutuhkan 60-80% dari total biaya produksi, sehingga metode ini tidak efisien. Selain itu, penggunaan metode ini dapat berdampak pada pencemaran lingkungan karena terdapat limbah cair, seperti emulsi sabun, gliserol, metanol, dan katalis dalam jumlah yang banyak (Ahmad *et al.*, 2017).

2.5.2. Metode Pemurnian *Dry washing*

Dry washing merupakan metode pemurnian biodiesel dengan memanfaatkan proses adsorpsi untuk menghilangkan zat pengotor dalam biodiesel kasar. Metode *dry washing* biasanya dilakukan untuk memurnikan biodiesel dengan menggunakan adsorben seperti, magnesium silikat (Magnesol atau trisyl), resin pertukaran ion (amberlite atau purolite), selulosa, arang aktif, karbon aktif, dan serat aktif, dan lain-lain (Adisty, 2017). Metode *dry washing* dengan proses adsorpsi menggunakan adsorben memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan metode *water washing*, diantaranya yaitu; tidak memerlukan air, tidak terjadi proses emulsifikasi, meminimalkan *loss*, mengurangi biaya investasi, mempercepat proses pemurnian

biodiesel, dan mengurangi kadar air lebih baik. Dengan demikian, seluruh keuntungan tersebut pada akhirnya akan mengurangi biaya produksi. Salah satu metode yang digunakan yang digunakan pada pemurnian menggunakan *dry washing* adalah proses adsorpsi (Udyani *et al.*, 2018).

2.6. Adsorben

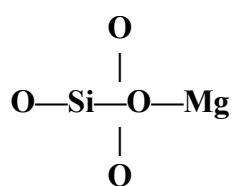
Adsorben merupakan bahan padat dengan luas permukaan dalam yang sangat besar. Permukaan yang luas ini terbentuk karena banyaknya pori yang halus pada padatan tersebut. Kebanyakan zat pengadsorpsi atau adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori, dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau pada daerah tertentu di dalam partikel itu. Karena pori-pori adsorben biasanya sangat kecil maka luas permukaan dalamnya menjadi beberapa kali lebih besar dari permukaan luar. Biasanya luasnya berada dalam ukuran 200-1000 m²/g adsorben dengan diameter pori sebesar 0,0003-0,02 μm (Hasibuan dan Marbun, 2018). Suatu zat dapat digunakan sebagai adsorben untuk tujuan pemisahan bila mempunyai daya adsorpsi selektif, berpori (mempunyai luas permukaan per satuan massa yang besar), dan mempunyai daya ikat yang luas terhadap zat yang hendak dipisahkan secara fisik maupun kimia. Perbesaran luas permukaan dapat dilakukan dengan cara mengecilkan ukuran partikel adsorben. Pengecilan ukuran tidak boleh terlalu kecil karena dapat menyebabkan adsorben terbawa oleh aliran fluida (Widyaswari, 2010).

2.7. Magnesium Silikat (Magnesol)

Magnesium silikat merupakan material komposit yang terdiri dari dua bahan baku utama yaitu magnesium oksida (MgO) dan silika (SiO₂) yang berbentuk bubuk serbuk putih, tidak berbau dan tidak larut dalam air (Arisurya, 2009). Pembuatan magnesium silikat dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti metode ekstraksi dan presipitasi pada metode presipitasi silika yang digunakan untuk sintesis magnesium silika dengan menggunakan cara mereaksikan antara larutan silika dan

magnesium atau larutan garam ((MgSO₄, Mg (NO₃)₂, dan MgCl₂), setelah larutan tercampur sempurna dilakukan pemisahan dengan cara menyaring dan didapatkan endapan serta filtrat. Endapan dicuci menggunakan aquadest dan dikeringkan. Jenis garam pada bahan menentukan hasil magnesium silika (Rashid, 2011). Sedangkan metode ekstraksi yaitu proses pemisahan bahan dari campurannya dengan menggunakan pelarut yang sesuai. Proses ekstraksi dihentikan ketika tercapai kesetimbangan antara konsentrasi senyawa dalam pelarut dengan konsentrasi dalam sel tanaman. Setelah proses ekstraksi, pelarut dipisahkan dari sampel dengan penyaringan (Bajirao, 2016). Pada penelitian Suprihatin *et al.* (2020) dilakukan dengan mengekstraksi 100 g geothermal sludge dengan NaOH 1N selama 90 menit.

Penerapan magnesium silika sangat banyak, magnesium silikat dapat digunakan dalam pemurnian biodiesel dengan metode *dry washing*, yaitu pencucian biodiesel tanpa menggunakan air. Magnesium silikat sebagai adsorben mampu mengadsorpsi bahan pengotor seperti asam lemak bebas, sabun, gliserol, bau dan logam. Senyawa ini juga digunakan dalam perawatan minyak goreng dan asam lemak bebas. Dalam bidang kosmetik magnesium silikat digunakan dalam pembuatan bedak dan dalam industri makanan digunakan sebagai zat aditif yang aman (Agnello., 2005). Struktur kimia magnesium silikat disajikan pada Gambar 3.

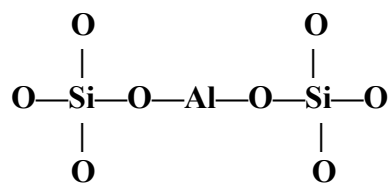


Gambar 3. Struktur kimia magnesium silikat
Sumber : Sumarnadi *et al.*, 2010

2.8. Aluminosilikat Hidrat (Zeolit Alam)

Aluminosilikat hidrat merupakan senyawa anorganik yang tersusun dari unsur aluminium (Al), silikon (Si), oksigen (O), dan molekul air (H₂O). Rumus kimia

umum untuk aluminosilikat hidrat adalah $\text{Al}_2\text{SiO}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ atau dapat juga berupa $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (untuk tipe natrium aluminosilikat hidrat, seperti zeolit). Struktur dasarnya terdiri atas kerangka silikat tetrahedral ($[\text{SiO}_4]^{4-}$) yang sebagian ion Si^{4+} digantikan oleh Al^{3+} membentuk $[\text{AlO}_4]^{5-}$, sehingga membentuk jaringan tiga dimensi yang berpori dan dapat mengikat molekul air di antara kerangka tersebut. Air hidrasi ($n\text{H}_2\text{O}$) terperangkap dalam rongga dan saluran struktur aluminosilikat. Struktur kimia aluminosilikat hidrat disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur kimia aluminosilikat hidrat
Sumber : Deer *et al.*, 1992

Zeolit alam merupakan material berpori yang telah dimanfaatkan dalam bidang industri sebagai adsorben, katalis, penyaring molekuler, penukar ion dan padatan pendukung. Zeolit alam mempunyai sifat dapat digunakan sebagai dehidrasi, adsorpsi, penukar ion, katalisator dan separator (Amelia *et al.*, 2003). Zeolit alam mempunyai struktur rangka, mengandung ruang kosong yang ditempati oleh kation dan molekul air yang bebas sehingga memungkinkan pertukaran ion atau chemisorptions (Adamson, 1990).

Zeolit alam terbentuk dari abu vulkanik yang telah mengendap jutaan tahun silam (Sutarti, 1994). Zeolit alam adalah jenis mineral yang biasanya ditemukan dalam lubang-lubang batuan lava basalt (*traps rock*) dan batuan sedimen piroklastik berbutir halus (*tuff*). Zeolit di alam bercampur dengan mineral lain seperti felspar, sodalit, naphelit, dan leusit. Kristal-kristalnya terbentuk dari proses hidrotermal yang melibatkan reaksi antara larutan garam atau dengan aliran lava (Barrer, 1982).

Zeolit mempunyai sejumlah sifat kimia maupun fisika menarik, diantaranya memiliki sifat inert, stabilitas termal tinggi, memiliki rongga yang memungkinkan terjadinya adsorpsi, mempunyai kemampuan untuk mengikat logam sebagai katalis

dan memiliki luas permukaan yang besar yang memungkinkan proses terjadinya proses katalitik (Augustine, 1996). Menurut Rosita *et al.* (2004) zeolit memiliki struktur yang berbeda, sesuai pembentukannya di alam. Penggunaan Zeolit alam sebagai adsorben dibutuhkan suatu proses aktivasi untuk meningkatkan sifat khusus zeolit sebagai adsorben. Menurut penelitian Botianovi (2012), Zeolit alam mengandung unsur-unsur K (3,74%), Ca (4,26%), dan Fe (25,3%) serta unsur-unsur lainnya. Persen mineral mordenit pada Zeolit alam sebesar 55-85% yang menunjukkan kandungan mineral tersebut relatif tinggi.

2.9. Metode Aktivasi Adsorben

Aktivasi merupakan proses terpenting untuk menentukan kualitas dari adsorben, baik luas area permukaan maupun daya adsorpsinya. Adsorben tanpa melibatkan proses aktivasi, terkadang tidak efektif dalam mengadsorpsi adsorbat. Umumnya Zeolit dan Magnesol yang terdapat di alam masih mengandung banyak pengotor organik dan anorganik yang menutupi pori-porinya, sehingga untuk meningkatkan daya serapnya perlu dilakukan aktivasi terlebih dahulu (Trisunaryanti *et al.*, 2000). Aktivasi Magnesol dan Zeolit alam melibatkan pengolahan fisik atau kimia (Prinata *et al.*, 1985; Kiernan, 1992).

Proses fisika yakni proses yang dilakukan dengan cara pemanasan (kalsinasi). Proses aktivasi fisika pada Magnesol dapat dilakukan dengan cara memanaskan Magnesol hingga suhu 500-700°C. Penggunaan suhu yang tinggi ditujukan agar ikatan karbon pada adsorben terputus sehingga terjadi peningkatan kemampuan adsorpsi (Sembiring *et al.*, 2003). Namun, penggunaan suhu tinggi juga dapat mengubah bahkan merusak struktur adsorbent (Al-Zahrani *et al.*, 2016). Proses aktivasi kimia dilakukan dengan mereaksikan komponen kimia yang terdapat pada adsorben dengan reaktan. Aktivasi ini melibatkan proses pertukaran atau pemakaian bersama elektron pada permukaan adsorben. Penggunaan asam sulfat (H_2SO_4) atau asam klorida (HCl) pada aktivasi Magnesol dan Zeolit alam bertujuan untuk menghilangkan pengotor anorganik. pengasaman ini pada aktivasi Zeolit alam akan menyebabkan terjadinya pertukaran

kation dengan hidrogen (Ertan, 2005). Yuanita (2010) menjelaskan bahwa kandungan logam seperti Ca, Fe pada zeolit mengalami penurunan setelah perlakuan dengan HCl. Selain itu, zeolit teraktivasi asam lebih efisien dalam menyerap logam seperti Cu, Pb, Cd, Zn, Fe, dan Mn (Saryati *et al.*, 2010).

III. METODOLOGI

3.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Analisis Kimia dan Biokimia Hasil Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada Agustus sampai dengan Desember 2024.

3.2. Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak goreng *merk* Bimoli. Bahan-bahan lainnya adalah metanol, etanol, kloroform, H_2SO_4 , HCl , aquades, NaOH , KOH , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, KI , larutan Wij's, Magnesium silika (Magnesol), Zeolit alam, indikator fenolftalein (PP).

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas beaker 50 mL; 100 mL; 500 mL, gelas ukur 25 mL; 50 mL; 100 mL, labu Erlenmeyer 250 mL, *filtering flask* 500 mL, labu destilasi, labu tiga leher, *hot plate*, *magnetic stirrer*, kondensor, timbangan analitik, oven, desikator, cawan porselen, pipet tetes, pipet volume, termometer, kertas saring, labu pisah, corong gelas, statif dan klem.

3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini disusun secara faktorial $3 \times 3 \times 3$ dalam RAKL. Faktor pertama adalah jenis adsorben dengan konsentrasi 6% (w/w), yaitu Magnesol (A1), Zeolit alam (A2), dan campuran Magnesol dan Zeolit alam (A3) (w/v); sedangkan faktor kedua adalah metode aktivasi, yaitu H_2SO_4 (B1), HCl (B2), dan tanpa asam (B3) (w/v). Dari data yang telah dihasilkan dilakukan diuji kehomogenannya dengan uji *Bartlett* dan kemenambahan data dengan uji *Tuckey*. Kemudian, data tersebut dilakukan analisis ragam untuk memperoleh penduga ragam galat dan uji signifikansi untuk mengetahui pengaruh antara perlakuan. Setelah itu, untuk mengetahui perbedaan antara perlakuan dilakukan uji lanjut dengan *Ortogonal Comparison* (OC).

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Perlakuan Pendahuluan Adsorben

Perlakuan pendahuluan adsorben untuk mempersiapkan adsorben yang akan digunakan pada pemurnian secara *dry washing*. Perlakuan dilakukan terhadap kedua adsorben, yaitu Magnesol dan Zeolit alam. Adsorben masing-masing disortir dengan ayakan 80 mesh. Perlakuan selanjutnya mengaktivasi menggunakan metode tanpa asam dan senyawa asam.

1. Tanpa asam

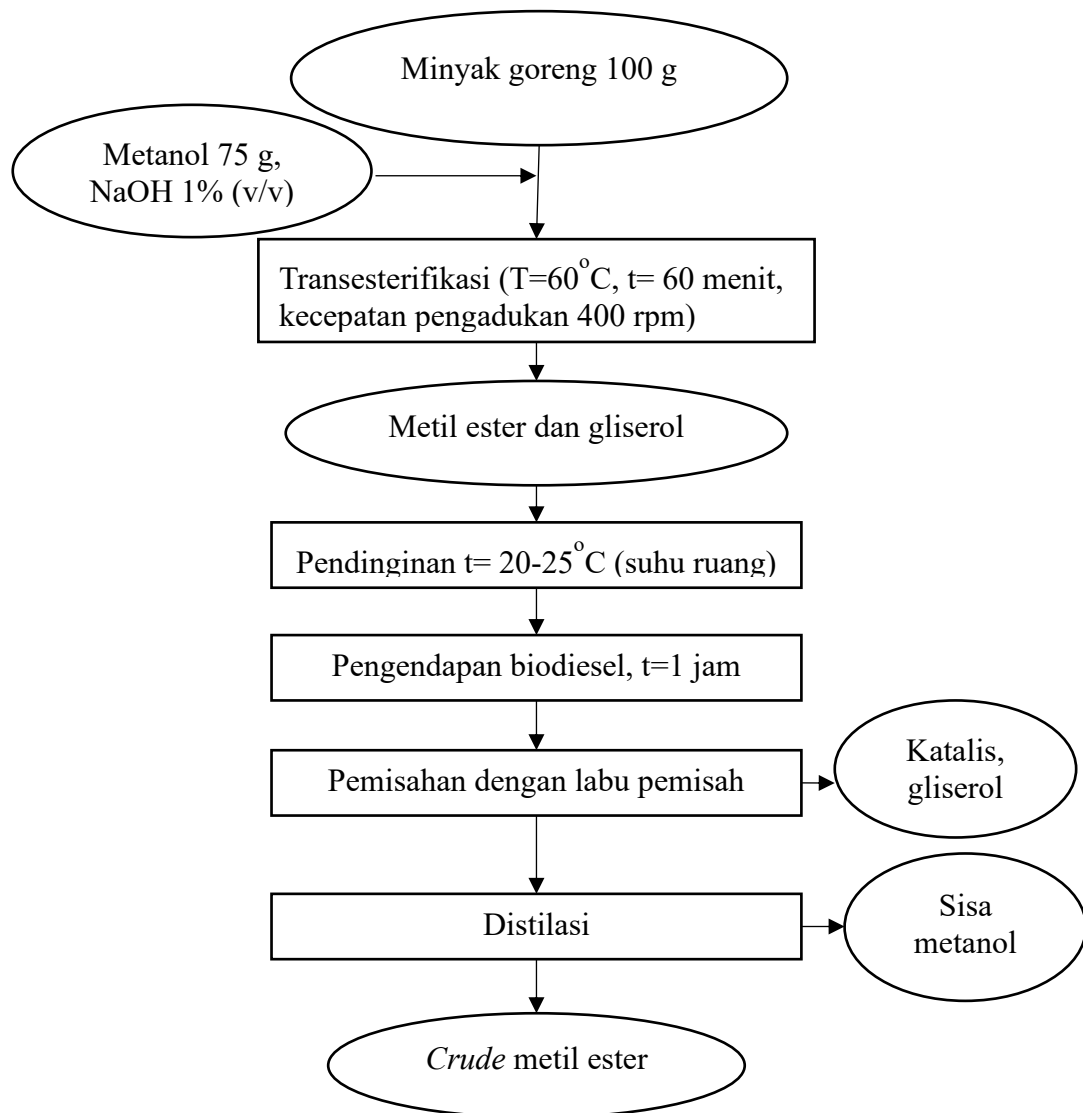
Adsorben Magnesol dan Zeolit alam mula-mula disiapkan sebanyak 150 gram. Selanjutnya adsorben dengan nisbah 1:4 diaktivasi menggunakan aquades dan diaduk dengan kecepatan 200 rpm selama 3 jam. Proses selanjutnya, adsorben dipisahkan dari aquades dan dikeringkan menggunakan oven selama 2 jam dengan suhu $110^{\circ}C$. Setelah itu, adsorben didinginkan dalam desikator.

2. Senyawa asam

Adsorben Magnesol dan Zeolit alam mula-mula disiapkan sebanyak 150 gram. Selanjutnya adsorben dengan nisbah 1:4 diaktivasi menggunakan senyawa asam H_2SO_4 1N dan HCl 1N. Campuran keduanya diaduk dengan kecepatan 200 rpm selama 3 jam. Selanjutnya adsorben dicuci menggunakan aquades dandipisahkan dari filtratnya bila mencapai pH 3-4. Adsorben kemudian dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 110°C selama 2 jam. Setelah 2 jam, adsorben didinginkan dalam desikator untuk adsorben.

3.4.2. Proses Transesterifikasi

Proses transesterifikasi dibantu dengan katalis basa NaOH 1% terhadap sampel minyak goreng murni. Proses transesterifikasi ini dilakukan dengan menggunakan suhu 60°C selama 150 menit dengan kecepatan pengadukan 400 rpm. Ketika selesai proses transesterifikasi, akan diperoleh metil ester dan gliserol yang selanjutnya didinginkan hingga suhu ruang dan diendapkan selama 1 jam. Pengendapan akan membentuk 2 fasa, fasa atas adalah metil ester dan fasa bawah adalah gliserol. Fasa bawah dipisahkan dengan dikeluarkan menggunakan labu pemisah sehingga didapatkan metil ester kotor. Proses transesterifikasi disajikan pada Gambar 5.

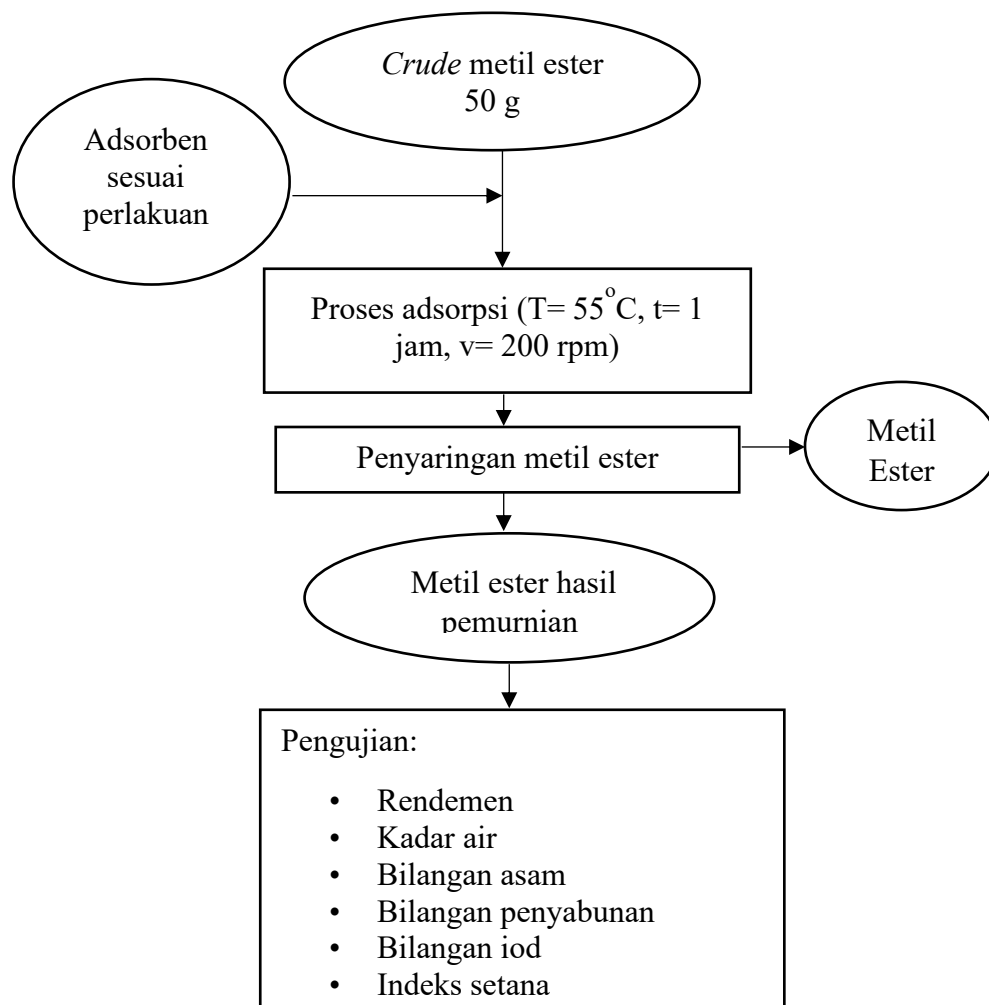


Gambar 5. Diagram alir proses transesterifikasi
(Sumber: Mardawati *et al.*, 2019 dengan modifikasi)

3.4.3. Proses Pemurnian Biodiesel

Proses pemurnian biodiesel merupakan proses lanjutan untuk mendapatkan biodiesel murni yang terbebas dari kontaminan. Bahan yang digunakan adalah metil ester kasar yang berasal dari proses sebelumnya, yaitu transesterifikasi. Variabel tetap pada penelitian ini adalah konsentrasi adsorbent suhu, waktu, dan kecepatan pengadukan, sementara variable bebas penelitian berupa jenis adsorbent serta metode aktivasi terhadap *crude* metil ester. Proses adsorpsi dilakukan dengan

mencampurkan adsorben sesuai dengan perlakuan dan ditambahkan *crude* metil ester kasar sebanyak 20 mL. Adsorpsi akan berjalan dengan kecepatan pengadukan 200 rpm dengan suhu 55°C selama 30 menit. Setelah itu, dilakukan pemisahan metil ester dengan adsorben menggunakan kertas saring. Metil ester yang didapatkan diujikan dengan mengamati kadar asam lemak bebas, kadar air, bilangan asam, bilangan penyabunan, bilangan iod, dan indeks setana. Diagram alir pemurnian metode *dry washing* disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir pemurnian metode *dry washing*
(Sumber: Zainul *et al.*, 2016 dengan modifikasi)

Keterangan perlakuan :

A1B1 = Magnesol diaktivasi H_2SO_4

A1B2 = Magnesol diaktivasi HCl

A1B3 = Magnesol diaktivasi tanpa asam

A2B1 = Zeolit alam H_2SO_4

A2B2 = Zeolit alam diaktivasi HCl

A2B3 = Zeolit alam diaktivasi tanpa asam

A3B1 = Campuran Magnesol dan Zeolit alam diaktivasi H_2SO_4

A3B2 = Campuran Magnesol dan Zeolit alam diaktivasi HCl

A3B3 = Campuran Magnesol dan Zeolit alam diaktivasi tanpa asam

3.5 Variabel Pengamatan

3.5.1 Penentuan Randemen Biodiesel

Rendemen biodiesel merupakan ukuran yang membandingkan jumlah berat metil ester (biodiesel) yang dihasilkan dengan berat *crude metil ester* (biodiesel kotor) yang digunakan sebagai bahan baku. Untuk menghitung yield biodiesel, digunakan persamaan berikut yang diperkenalkan oleh Suryani *et al.* (2014).

$$\text{Yeild biodiesel} = \frac{W \text{ biodiesel}}{w \text{ crude biodiesel}} \times 100\%$$

Keterangan :

W biodiesel = berat biodiesel

W *crude* biodiesel = berat sampel *crude* biodiesel yang digunakan

3.5.2 Kadar Air

Penentuan kadar air mengikuti penelitian Lempang *et al.* (2016) dengan menggunakan metode oven yang berprinsip pada kehilangan bobot pada pemanasan dengan suhu 105°C dianggap sebagai kadar air yang terdapat dalam sampel. Prosedur diawali dengan memanaskan cawan porselen di dalam oven selama 30 menit dengan suhu 105°C , lalu didinginkan dalam desikator selama 20 menit dan ditimbang. Selanjutnya, sampel sebanyak 2-5 gram dimasukkan pada cawan dan ditimbang. Sampel tersebut dipanaskan dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam.

Setelah itu, dinginkan dalam desikator selama 20 menit dan ditimbang. Perhitungan kadar air menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar Air} = \frac{W1 - W2}{W1 - W0} \times 100$$

Keterangan:

W0 = Bobot cawan kosong (g)

W1 = Bobot cawan + sampel sebelum dikeringkan (g)

W2 = Bobot cawan + sampel setelah dikeringkan (g)

3.5.3. Bilangan Asam

Metode penentuan bilangan asam biodiesel mengikuti Standar Nasional Indonesia (SNI 7182:2015) melalui proses titrasi yang disebut alkalimetri. Dalam metode ini, senyawa asam dalam biodiesel dititrasi dengan senyawa basa. Bilangan asam diinterpretasikan sebagai jumlah milligram KOH yang dibutuhkan untuk menetralkan asam lemak bebas dalam 1 gram sampel biodiesel. Proses dimulai dengan menyiapkan sampel biodiesel sebanyak 2-5 gram dalam Erlenmeyer berukuran 250 mL. Sampel kemudian ditambahkan dengan 50 mL etanol 95% dan beberapa tetes indikator phenolphthalein, lalu dihomogenkan hingga larut. Titrasi kemudian dilakukan menggunakan larutan KOH 0,1 N hingga muncul warna merah muda selama 30 detik. Perhitungan bilangan asam dilakukan menggunakan persamaan berikut: (perlu disesuaikan dengan persamaan yang sesuai dengan SNI 7182:2015).

$$\text{Bilangan Asam} = \frac{V \times N \times 56,1}{W}$$

Keterangan :

V = Volume NaOH yang diperlukan (mL)

N = Normalitas NaOH (N)

56,1 = Berat Ekuivalen KOH

W = Bobot sampel (gram)

3.5.4. Bilangan Penyabunan

Metode penentuan bilangan penyabunan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 7182:2015). Proses dimulai dengan menyiapkan 4-5 gram (dengan toleransi $\pm 0,005$ gram) sampel dalam sebuah Erlenmeyer berukuran 250 mL. Kemudian, ditambahkan 50 mL larutan KOH alkoholik. Erlenmeyer tersebut kemudian disambungkan ke kondensor yang berpendingin udara dan dipanaskan perlahan selama 1 jam hingga tercapai hasil penyabunan yang jernih dan homogen; apabila belum tercapai, waktu penyabunan dapat diperpanjang. Setelah labu dan kondensor cukup dingin (dapat ditandai dengan pembentukan jeli), dinding dalam kondensor dirinse dengan sedikit akuades. Selanjutnya, labu dipisahkan dari kondensor dan 1 mL indikator fenolftalein ditambahkan. Titrasi dilakukan menggunakan larutan HCl 0,5 N hingga warna merah jambu menghilang, dan jumlah penggunaan larutan titrasi dicatat. Penentuan blanko dilakukan dengan prosedur yang sama. Bilangan penyabunan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Bilangan Penyabunan} = \frac{56,1 (B-C)N}{m}$$

Keterangan :

56,1	= Konstanta KOH
B	= Volume titar yang digunakan pada blanko (mL)
C	= Volume titar yang digunakan pada sampel (mL)
N	= Konsentrasi titar (N)
M	= Bobot sampe (g)

3.5.5. Bilangan Iodium

Bilangan iodium adalah ukuran empiric yang banyaknya ikatan rangkap dua di dalam biodiesel. Metode penentuan bilangan iodium mengacu pada Standar Nasional Indonesia SNI 7182:2015. Proses dimulai dengan menyiapkan 0,13-0,15 gram (dengan toleransi $\pm 0,001$ gram) sampel dalam sebuah labu Erlenmeyer berukuran 500 mL. Selanjutnya, ditambahkan 15 mL larutan tetraklorida dan dihomogenkan hingga tercampur sempurna. Erlenmeyer tersebut kemudian

ditambahkan dengan 25 mL larutan Wijs, ditutup, diaduk hingga homogen, dan disimpan di tempat gelap selama 1 jam dengan suhu $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Setelah sampel dikeluarkan dari tempat penyimpanan, tambahkan 20 mL larutan KI dan 150 mL air distilasi. Selanjutnya, dilakukan titrasi dengan larutan titran $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N hingga warna kuning hampir hilang. Tambahkan 2 mL indikator kaji ke dalam sampel dan lakukan titrasi kembali sampai warna biru menghilang. Penetapan blanko dilakukan menggunakan prosedur yang sama. Penentuan bilangan iodium ditentukan dengan persamaan yang sesuai dengan metode yang digunakan dalam SNI 7182:2015 sebagai berikut :

$$\text{Bilangan Iodium} = \frac{12,69 (B-C)N}{W}$$

Keterangan :

12,69	= Berat ekivalen iod/10
1/10	= Faktor konversi agar satuan menjadi g iod/100 g minyak
B	= Volume titrasi blanko (mL)
C	= Volume titrasi sampel (mL)
N	= Konsentrasi larutan titar (N)
W	= Bobot sampel (g)

3.5.6. Indeks Setana

Penentuan indeks setana mengacu pada metode AOCS (*American Oil Chemists' Society*) seperti yang dijelaskan dalam penelitian Krisnangkura (1986), yang menggunakan persamaan Klopfenstein. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa bilangan penyabunan dan bilangan iodium memiliki pengaruh terhadap indeks setana dari ester asam lemak. Selain itu, bilangan penyabunan dan bilangan iodium dari metil ester juga memiliki kesamaan dengan trigliserida. Oleh karena itu, persamaan umum untuk memperkirakan indeks setana dari metil ester dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Indeks Setana} = 46,3 + \left[\frac{5458}{x} \right] - 0,225y$$

Keterangan:

x = Bilangan penyabunan

y = Bilangan iodium

angka 46,3; 5458; dan -0,225 merupakan konstanta

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat disimpulkan dari hasil penelitian ini yaitu ;

1. Jenis adsorben yang digunakan (A1: Magnesol, A2: Zeolit alam, dan A3: campuran Magnesol dan Zeolit alam) berpengaruh nyata terhadap kualitas biodiesel hasil pemurnian *dry washing*. Penggunaan campuran Magnesol dan Zeolit alam (A3) secara umum memberikan hasil kualitas biodiesel terbaik dibandingkan dengan penggunaan adsorben tunggal.
2. Metode aktivasi adsorben H_2SO_4 , HCl, dan tanpa aktivasi asam memberikan pengaruh nyata terhadap mutu biodiesel, khususnya pada rendemen, kadar air, dan bilangan asam. Aktivasi menggunakan H_2SO_4 memberikan hasil terbaik pada perlakuan A3B1 dalam meningkatkan rendemen sebesar 73,11%, aktivasi dengan HCl pada perlakuan A1B2 paling efektif mengurangi kadar air sebesar 1,87%, dan perlakuan A3B3 tanpa aktivasi terbaik dalam menurunkan bilangan asam sebesar 0,197 mg KOH/g.
3. Terdapat interaksi nyata antara jenis adsorben dengan metode aktivasi terhadap beberapa parameter kualitas biodiesel seperti kadar air, bilangan asam, bilangan iodium, bilangan penyabunan, dan indeks setana. Kombinasi terbaik diperoleh pada penggunaan adsorben Zeolit alam dengan aktivasi H_2SO_4 (A2B1) menghasilkan rendemen sebesar 71,353%, kadar air sebesar 0,807%, bilangan asam sebesar 0,544 mg KOH/g, bilangan iodium sebesar 21,703 g $I_2/100$ g, bilangan penyabunan sebesar 228,749 mg KOH/g, dan indeks setana sebesar 65,278.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan dari Penelitian ini untuk penelitian lanjutan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengujian dengan variasi konsentrasi adsorben yang lebih luas serta kombinasi lain antara adsorben dengan metode aktivasi agar diperoleh kondisi optimal yang lebih akurat dalam meningkatkan kualitas biodiesel.
2. Perlu mengaji lebih lanjut mengenai efektivitas adsorben yang sama dengan metode *dry washing* menggunakan jenis bahan baku minyak nabati lainnya, seperti minyak goreng bekas, minyak jelantah, atau minyak dengan tingkat asam lemak bebas tinggi

DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A. W., and Gast, A. P. 1967. *Physical Chemistry of Surfaces*. Interscience Publishers. New York. 767 hal.
- Adisty, T. K. 2017. Pemurnian dan Karakteristik Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Metode Pencucian *Dry-Wash* Sistem Menggunakan Adsorben Magnesol (*Magnesium Silicate*). *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Purwokerto. Purwokerto. 67 hal.
- Agnello, V. N. 2005. *Bentonite, Phyrophyllite and Talc In The Republic of South Africa*. Republic of South Africa: Department of Minerals and Energy. Pretoria. 4(1):56-62.
- Anggara, P. A., Wahyuni, S., dan Prasetya, A. T. 2013. Optimalisasi zeolit alam wonosari dengan proses aktivasi secara fisis dan kimia. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 2(1): 72-77.
- Arnelli, A., Hermawati, L., dan Ismaryata, I. 2000. Kegunaan zeolit termodifikasi sebagai penyerap anion. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 2(2): 42-47.
- Arenas, E., Villafan. C. S. M., Rodríguez. M. Y., and Sandoval, G. 2021. Biodiesel dry purification using unconventional bioadsorbents. *Processes*. 9(2): 194.
- Arisurya, R. E. 2009. Laju Adsorpsi Isotermal β -Karoten dari Metil Ester Minyak Sawit dengan Menggunakan Atapulgit dan Magnesium Silikat Sintetik. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor. 82 hal.
- Assawasaengrat, P., Jintanavasan, P., and Kitchaiya, P. 2015. Adsorption of FFA, soap and glycerine in biodiesel using magnesium silicate. *Chemical Engineering Transactions*. 43: 1135-1140.
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., dan Mekhilef, S. 2012. A comprehensive review on biodiesel as an

- alternative energy resource and its characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(4): 2070–2093.
- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Aziz, A. R., dan Sulaiman, N. M. N. 2011. Refining technologies for the purification of crude biodiesel. *Applied Energy*. 88(12): 4239-4251.
- Augustine, R. L. 1996. *Heterogeneous Catalysis for the Synthetic Chemist* CRC Press. New York. 672 hal.
- Barrer, R. M. 1978. *Zeolites and Clay Minerals as Sorbents and Molecular Sieves*. Academic Press London. New York. 497 hal.
- Berrios, M., and Skelton, R. L. . 2008. Comparison of purification methods for biodiesel. *Chemical Engineering Journal*. 144(3): 459-465.
- Berrios, M., Martin, M. A., Chica, A. F., and Martin, A. 2011. Purification of biodiesel from used cooking oils. *Applied Energy*. 88(11): 3625–3631.
- Bertram, B., Abrams C., and Cooke, B.S. 2009. Purification of biodiesel with adsorbent materials. *Patent Application Publication*. 1-11.
- Badan Pusat Statistik. 2021. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2021*.,Badan Pusat Statistik. Jakarta. 12 hal.
- Badan Standardisasi Nasional. 2006. *Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) 306-2006: Penilaian Kesesuaian - Ketentuan Umum Penggunaan Tanda Kesesuaian Produk terhadap SNI*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta. 26 hal.
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182:2012 – Biodiesel*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta 70 hal.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. *Skema Sertifikasi Produk Biodiesel Berdasarkan SNI 7182:2012*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta. 60 hal.
- Badan Standardisasi Nasional. 2015. SNI 7182:2015. *Biodiesel*. Badan Standardisasi Nasional. 95 hal.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Skema Sertifikasi Produk Biodiesel Berdasarkan SNI 7182:2015*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta. 33 hal.

- Badan Standardisasi Nasional. 2022. *Mutu dan Metode Uji Minyak Nabati Murni untuk Bahan Bakar Motor Diesel Putaran Sedang SNI 7431:2022*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta. 36 hal.
- Cherwoo, L., Gupta, I., Flora, G., Verma, R., Kapil, M., Arya, S. K., and Ashokkumar, V. 2023. Biofuels an alternative to traditional fossil fuels: a comprehensive review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 60: 103503.
- Cooke, B. S. 2004. Purification of Biodiesel with Magnesium Silicate Adsorbent Treatment. *In Proceedings of the 36th Great Lakes Regional Meeting of the American Chemical Society*.
- Derr, J. S., Smith, R. L., dan Johnson, D. M. 1992. Struktur Kristal Aluminosilikat Hidrat dan Implikasinya terhadap Sifat Fisik dan Kimia. *Jurnal Mineralogi dan Geokimia*, 57(4), 345–358.
- Demirbas, A. 2008. Vegetable oils and animal fats. *A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines*, 65–110
- Duran, E. A., Lienqueo, M. E., and Salgado, J. C. 2014. A comparative study of biodiesel purification with magnesium silicate and water. *Journal of New Materials for Electrochemical Systems*. 17: 105–111.
- Ertan, A., and Ozkan, C. F. 2005. CO₂ and N₂ Adsorption on the acid (HCl, HNO₃, H₂SO₄, and HPO₄) treated zeolites. *Adsorption*. 11: 151- 156.
- Efendi, S., Hamzah, F. H., dan Ali, A. 2018. Produksi biodiesel dari minyak goreng bekas menggunakan katalis padat dari cangkang telur ayam. *Jurnal Faperta*. 5(1):1–12.
- Faccini, C.S., Cunha, M. E. D, Moraes, M. S. A., Krause, L. C., Manique, M. C., Rodrigues, M. R. A., and Caramao, E. B. 2011. Dry washing in biodiesel purification: a comparative study of adsorbents. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 22(3): 558–563.
- Farid, M. A. A., Hasan, M. A., Taufiq-Yap, Y. H., Shirai, Y., Hasan, M.Y., dan Zakaria, M.R. 2017. Waterless purification using oil palm biomass-derived bioadsorbent improved the quality of biodiesel from waste cooking oil. *Journal of Cleaner Production*. 165: 262-272.
- Freedman, B., Pryde, E. H., and Mounts, T. L. 1984. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 61(10): 1638-1643.

- Gregorio, A. B. 2023. Pemanfaatan zeolit alam ende sebagai adsorben untuk meningkatkan kualitas dari minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*). *Jurnal Informasi, Sains dan Teknologi*. 30-37: 2829-2758.
- Harsono, S. S., Ramadhani, M. S., dan Kurniawan, A. 2020. Pengaruh variasi adsorben terhadap mutu biodiesel hasil purifikasi. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 21(2): 75–82.
- Hasibuan, H. A. 2012. Kajian mutu dan karakteristik minyak sawit indonesia serta produk fraksinasinya. *Jurnal Standarisasi*. 14(1): 13-21.
- Hendrawan, A. 2010 Adsorpsi Unsur Pengotor Larutan Natrium Silikat Menggunakan Zeolit Alam Karangnunggal. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta. 74 hal.
- Herdiani, I. A. 2009. Aplikasi Adsorben dalam Proses Pemurnian Biodiesel Jarak Pagar (*Jatropha curcas L.*) menggunakan Metode Kolom. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 80 hal.
- Hikmah, M. N. dan Zuliyana. 2010. Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Dedak dan Metanol dengan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi. *Skripsi*. Universitas Diponegoro. Semarang. 27 hal.
- Hoekman, S. K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., and Natarajan, M. 2012. Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(1): 143–169.
- Isalmi, A., Thamzil, L., dan Anissa, S. 2014. Pemurnian grude glycerol dengan cara pengasaman dan adsorpsi menggunakan zeolit alam lampung. *Jurnal Program Studi Kimia*. 7(2): 66-73.
- Jariah, N. F., Hasan, M. A., Taufiq, Y. Y. H., Roslan, A. M. 2021. Technological advancement for efficiency enhancement of biodiesel and residual glycerol refining: a mini review. *Processes*. 9(1198): 1-15.
- Ketaren, S. (1986). Pengantar teknologi minyak dan lemak pangan. *UI-Press*. 45–60 hal.
- Kartika, I. A., Yani, M., dan Hinrichsen, H. 2018. Pengaruh aktivasi asam terhadap kapasitas adsorpsi zeolit alam sebagai penyerap asam lemak bebas. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 14(2): 84-90.
- Kushairi, A., Meilina Ong-Abdullah, Balu Nambiappan, dan Senawi, M. (2019). Oil palm economic performance in Malaysia and R dan D progress in 2018. *Journal of Oil Palm Research*. 31(2): 1–12.

- Khairinal dan Trisunaryanti, W. 2000. Dealuminasi Zeolit Alam Wonosari dengan Perlakuan Asam dan Proses Hidrothermal. *Prosiding Seminar Nasional Kimia VIII*. Yogyakarta. 123-128.
- Knothe, G. 2005. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid methyl esters. *Fuel Processing Technology*. 86(10): 1059–1070.
- Knothe, G. 2008. Designer biodiesel: optimizing fatty ester composition to improve fuel properties. *Energy and Fuels*. 22(2): 1358–1364.
- Krisnangkura, K. 1986. A simple method for estimation of cetane index of vegetable oil methyl esters. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 63(4): 552-553.
- Hakim, M. A., Prihatin, A. L., dan Matin, H. H. 2021. Palm oil biodiesel as a renewable energy resource in Indonesia. *Journal of Cleaner Production*. 286.
- Lamaisri, C., Punsuvon, V., Chanprame, S., Arunyanark, A., Srinives, P., and Liangsakul, P. 2015. Relationship between fatty acid composition and biodiesel quality for nine commercial palm oils. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 37(4): 389–395.
- Lin, C. Y., and Ma, L. 2021. Fluid characteristics of biodiesel produced from palm oil with various initial water contents. *Processes*. 9(2): 309-320.
- Mardawati, E., Hidayat, M. S., Rahmah, D. M., dan Rosalinda, S. 2019. Produksi biodiesel dari minyak kelapa sawit kasar off grade dengan variasi pengaruh asam sulfat pada proses esterifikasi terhadap mutu biodiesel yang dihasilkan. *Jurnal Industri Pertanian*. 1(3): 46-60.
- Meher, L. C., Vidya S. D., dan Naik, S. N. 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification – a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 10(3): 248–268.
- Mukherjee, S., dan Mitra, A. 2009. Health effects of palm oil. *Journal of Human Ecology*. 26(3): 197–203.
- Monde, J., Kumalasari, P. I., Aryani, D., dan Lutfi, M. 2022. Pengaruh katalis $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ terhadap karakteristik biodiesel dari minyak jelantah. *Jurnal Chemurgy*. 6(2): 80–85.
- Ningsih, E., dan Suparto. 2017. Karakteristik biodiesel dengan menggunakan etanol konsentrasi rendah. *Journal of Research and Technology*. 3(1): 70–76.

- Oko, S., dan Syahrir, I. 2018. Sintesis biodiesel dari minyak sawit menggunakan katalis CaO superbasa dari pemanfaatan limbah cangkang telur ayam. *Jurnal Teknologi*, 10(2): 133-122.
- Pardamean, M. 2008. *Panduan Lengkap Pengelolaan Kebun dan Pabrik Kelapa Sawit*. PT. Agro Media Pustaka. Jakarta. 272 hal.
- Pierson, M. D., and Kiernan, N. E. 1992. *Handbook of Food Additives*. Springer. 802 hal.
- Ramos, M. J., Fernandez, C. M., Casas, A., Rodríguez, L., and Perez, A. 2009. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresource Technology*. 100(1): 261–268.
- Rosita, N., Erawati, T., dan Moegihardjo, M. 2004. Pengaruh perbedaan metode aktivasi terhadap efektivitas zeolit sebagai adsorben. *Majalah Farmasi Airlangga*. 4(1): 17-33.
- Sambanthamurthi, R., Sundram, K., dan Tan, Y. 2000. Chemistry and biochemistry of palm oil. *Progress in Lipid Research*. 39(6): 507–558.
- Sahar, A., Sulaiman, S. A., dan Hamid, M. K. A. 2018. Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel. *Sustainable Cities and Society*. 41: 220–226.
- Saiful, S., Pratiwi F., Maulana I., dan Ramli M. 2012. Mixed matrix membrane adsorbers for glycerol removal in biodiesel. *Jurnal Natural*. 12(1):1-8.
- Suriaini, N., Febriana, T. T., Yulanda, A., dan Supardan, M. D. 2019. Purification of biodiesel from waste cooking oil using bentonite as dry washing agent. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 8(2): 5–12.
- Sutarti, M. dan M Rachmawati. 1994. Zeolit Tinjauan Literatur. Jakarta: Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Teraktivasi Asam Sulfat pada Penurunan Bilangan Asam Biodiesel. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”*. Yogyakarta. 134 hal.
- Sumardi, S., Suryanto, E., & Prasetyo, D. 2010. Karakterisasi Struktur Kristal Magnesium Silikat (MgSiO_3) dari Abu Sekam Padi sebagai Adsorben Potensial. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 13(2), 123–130.
- Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E., dan Sudiono, S. 2005. Preparasi, modifikasi dan karakterisasi katalis ni-mo/zeolit alam dan mo-ni/zeolit alam. *Jurnal Teknoin*. 10: 269-282.

- Tya, K. A., dan Abdu, H. M. 2017. Pemurnian dan Karakteristik Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Metode Pencucian *Dry-Wash* Sistem menggunakan Adsorben Magnesol (*magnesium silikat*). *Prosiding Senatek*. Purwokerto. 128 hal.
- Udyani, K., dan Wulandari, Y. 2014. Aktivasi zeolit alam untuk peningkatan kemampuan sebagai adsorben pada pemurnian biodiesel. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*. 154 hal.
- Winarno, F. G. 2004. Kimia pangan dan gizi. *PT Gramedia Pustaka Utama*. Jakarta. 120-145.
- Widiyanto, A. 2019. Biodiesel production from refined cooking oil using ultrasound-assisted transesterification. *Fuel Processing Technology*. 254: 115580.
- Widjaja. 2013. Pembuatan Adsorben Dari Zeolit Alam Malang Untuk Pemurnian Bioetanol Menjadi *Fuel Grade Ethanol (FGE)*. *Skripsi*. 73 hal.
- Widyaswari, D. A. 2010. Studi Pengaruh Ukuran Pori-Pori Filter terhadap Kualitas Biodiesel Jarak Pagar (*Jatropha curcas Linn*) yang Dimurnikan Menggunakan Adsorben. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 58 hal.
- Wulan, M. F. 2014. Analisis pengendalian mutu (*quality control*) cpo (*crude palm oil*) pada pt. buana wira subur sakti di kabupaten paser. *Ejournal Ilmu Administrasi Bisnis*. 2(2): 245-259.
- Yusnimar. 2010. Proses Bleaching CPO dengan Bentonit Diaktivasi Secara Fisika dan Kimia. *Seminar Nasional Fakultas Teknik-UR*. 114-117.
- Zahran, H. A., dan Tawfeuk, H. Z. 2019. Physicochemical properties of new peanut (*Arachis hypogaea* L.) varieties. *OCL - Oilseeds and fats, Crops and Lipids*. 26: 19-25.
- Zainul, A., Bayu, R., Yuana, S. 2016. Produksi biodiesel dari minyak jelantah menggunakan katalis heterogen cangkang bekicot (*achatina fulica*) dengan metode pencucian dry washing. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 9(2): 100-104.
- Zullaikah, S., Widiyanti, P., dan Arifin, Z. 2017. Dry washing of biodiesel using adsorbent materials: Effects on the fuel properties. *Fuel Processing Technology*. 156: 346–353.