

**KAJIAN METODE AKTIVASI DAN JENIS ADSORBEN DALAM
PEMURNIAN CRUDE BIODIESEL**

(Skripsi)

Oleh

VICTORINUS DANU ANGGORO



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRACT

STUDY OF ACTIVATION METHODS AND TYPE OF ADSORBENT ON CRUDE BIODIESEL PURIFICATION

By

VICTORINUS DANU ANGGORO

Dry washing purification using activated adsorbents is a solution to wet washing purification of biodiesel. However, various activated adsorbents have not yet found the optimal point to adsorb biodiesel contaminants, so it is necessary to develop a combination of adsorbents such as bentonite and sawdust activated with H_2SO_4 , HCl, and physical heating. The objective of this study was to determine the effects of different type adsorbents and activation methods on crude biodiesel purification using the *dry washing* method. The study employed a $3 \times 3 \times 3$ factorial design within a Completely Randomized Block Design (CRBD). The first factor was the type of adsorbent: bentonite (A1), sawdust (A2), and a mixture of bentonite and sawdust (A3). The second factor was the activation method: H_2SO_4 (M1), HCl (M2), and without acid activation (M3). All data were tested for homogeneity of variance using Bartlett's test and for data additivity using Tukey's test. Data were analyzed for variance to estimate error variance, followed by Orthogonal Contrast (OC) testing. The results showed that the type of adsorbents significantly affected yield, acid value, and iodine value; the activation method significantly affected yield, acid value, and iodine value; and interactions significantly affected yield, acid value, and iodine value. The best results were shown in the treatment of bentonite adsorbent activated without using acid (A1M3) which produced a yield of 81.72%, an acid number of 0.97 mgKOH/g, a water content of 0.61%, a saponification number of 242.17 mgKOH/g, an iodine number of 6.97 gI₂/100 g, and a cetane index of 67.41.

Keywords : activation method, adsorbent, biodiesel, dry washing

ABSTRAK

KAJIAN METODE AKTIVASI DAN JENIS ADSORBEN DALAM PEMURNIAN BIODIESEL

Oleh

VICTORINUS DANU ANGGORO

Pemurnian secara *dry washing* dengan menggunakan adsorben yang diaktivasi menjadi solusi dari pemurnian secara *wet washing* biodiesel. Namun, berbagai adsorben yang diaktivasi masih belum menemukan titik optimal untuk mengadsorpsi kontaminan biodiesel sehingga diperlukan pengembangan akan kombinasi adsorben seperti bentonit dan serbuk kayu gergaji yang diaktivasi dengan H_2SO_4 , HCl, dan pemanasan fisik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jenis adsorben dan metode aktivasi dalam pemurnian *crude* biodiesel secara *dry washing*. Penelitian ini disusun secara faktorial $3 \times 3 \times 3$ dalam Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) faktor pertama adalah jenis adsorben, yaitu bentonit (A1), serbuk kayu gergaji (A2), dan campuran bentonit dengan serbuk kayu gergaji (A3); sedangkan faktor kedua adalah metode aktivasi, yaitu H_2SO_4 (M1), HCl (M2), dan tanpa asam (M3). Semua data yang diperoleh diuji kesamaan ragamnya dengan uji Bartlett dan kemenambahan data diuji dengan uji Tuckey. Data dianalisis ragam untuk mendapatkan penduga ragam galat. Analisis data dilanjutkan dengan menggunakan uji Perbandingan Ortogonal (OC). Hasil penelitian menunjukkan jenis adsorben berpengaruh nyata terhadap rendemen, bilangan asam, dan bilangan iodium; metode aktivasi berpengaruh nyata terhadap rendemen, bilangan asam, dan bilangan iodium; dan interaksinya berpengaruh nyata terhadap rendemen, bilangan asam, dan bilangan iodium pemurnian biodiesel. Hasil terbaik ditunjukkan pada perlakuan adsorben bentonit diaktivasi tanpa menggunakan asam (A1M3) yang menghasilkan rendemen 81,72%, bilangan asam 0,97 mgKOH/g, kadar air 0,61%, bilangan penyabunan 242,17 mgKOH/g, bilangan iodium 6,97 gI₂/100 g, dan indeks setana 67,41.

Kata kunci : adsorben, biodiesel, *dry washing*, metode aktivasi

**KAJIAN METODE AKTIVASI DAN JENIS ADSORBEN DALAM
PEMURNIAN CRUDE BIODIESEL**

Oleh

VICTORINUS DANU ANGGORO

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

pada

Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi : KAJIAN METODE AKTIVASI DAN
JENIS ADSORBEN DALAM
PEMURNIAN BIODIESEL

Nama : Victorinus Danu Anggoro

Nomor Pokok Mahasiswa : 2014051025

Program Studi : Teknologi Hasil Pertanian

Fakultas : Pertanian



1. Komisi Pembimbing

Dr. Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc.
NIP. 19660314 1990031 009

Ir. Ahmad Sapta Zuidar, M.P.
NIP. 19680210 1993031.003

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EI.A.
NIP. 19721006 199803 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



Sekretaris

Ir. Ahmad Sapta Zulfar, M.P.



Penguji

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



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Putas Hidayat, M.P.
NIP. 19641118 198902 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 16 April 2025

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Victorinus Danu Anggoro

NPM : 2014051025

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

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat saya pertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandarlampung, 23 Juni 2025

Pembuat pernyataan



Victorinus Danu Anggoro

NPM. 2014051025

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Ambarawa pada 02 Februari 2002, sebagai anak ketiga dari empat bersaudara oleh pasangan Bapak Agustinus Ciyono dan Ibu Antonia Tri Murni. Pendidikan penulis diawali di Sekolah Dasar Negeri 1 Margodadi yang diselesaikan pada 2014, kemudian dilanjutkan di Sekolah Menengah Pertama Swasta Xaverius Pringsewu yang diselesaikan pada 2017, dan dilanjutkan di Sekolah Menengah Atas Swasta Xaverius Pringsewu yang diselesaikan pada 2020. Pada tahun 2020, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi internal kampus. Di antaranya penulis pernah menjadi anggota dan panitia pada kegiatan Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung, menjadi Kepala Bidang Liturgi Unit Kegiatan Mahasiswa Katolik Universitas Lampung periode 2022, dan menjadi Ketua Umum Unit Kegiatan Mahasiswa Katolik Universitas Lampung periode 2023. Selain itu, penulis juga pernah menjadi asisten praktikum untuk mata kuliah kimia dasar pada tahun ajaran 2021/2022 dan 2022/2023. Pada tahun 2023 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Punjul Agung, Kecamatan Buay Bahuga, Kabupaten Way Kanan dengan tema “Membangun dan Meningkatkan Kemandirian Pekon Melalui Pemberdayaan Masyarakat Desa”. Kemudian pada 2023 juga penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. Perkebunan Nusantara VII Unit Bekri dengan judul “Analisis Mutu CPO di Perkebunan Kelapa Sawit PT. Perkebunan Nusantara VII Unit Bekri”.

SANWACANA

Kemuliaan bagi Allah Tritunggal Maha Kudus yang telah mencurahkan Roh-Nya kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini. Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung atas dorongan dan semangat yang diberikan kepada keluarga besar Fakultas Pertanian.
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., C.EIA, selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah memberikan izin untuk melaksanakan penelitian.
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 Akademik dan Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, kritik dan saran, dan segala bantuan selama perkuliahan, penelitian dan penyelesaian skripsi.
5. Bapak Ir. Ahmad Sapta Zuidar, M.P., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan banyak masukan, arahan, dan bimbingan dari awal pelaksanaan dan penyelesaian skripsi.
6. Bapak Dr. Ir. Subeki, M.Sc., M.Si., selaku dosen pembahas yang telah mengevaluasi serta memberikan masukan dan nasihat untuk memperoleh skripsi yang lebih baik.

7. Seluruh Bapak dan Ibu dosen pengajar, staf dan karyawan di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung, yang telah mendedikasikan dirinya untuk membimbing, mengajar, dan membantu penulis selama proses perkuliahan.
8. Kedua orang tua yang sangat penulis kasihi dan hormati, Bapak Agustinus Ciyono dan Mamak Antonia Tri Murni yang menjadi alasan penulis menyelesaikan Pendidikan S1.
9. Marcela Bayu Prasetyo Rini, Emilia Puspita Sari, dan Fransiskus Candra Pamungkas yang merupakan saudara saudari penulis yang telah menjadi motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini.
10. Salsa Awe, Diah Pangas, Rika, Ade, dan Arum yang telah menemani penelitian serta menjadi tim penelitian yang luar biasa.
11. Teman-teman yang penulis kasihi Ferdy, Jalu, Armed, Amanda, Nesa, Bang Aprio, Bang Josua, Bang Palen, Bang Goblin, Bang Jonet, Yusa, Guido, serta keluarga besar UKM Katolik Universitas Lampung yang telah menemani penulis selama berdinamika di Universitas Lampung
12. Berlian, Eriksa, Anja, Faziah, Ariq, Arby, Rendy, Gery, Tino, Rafli, Rendi, Erlangga, Yosua dan teman-teman Angkatan 2020 Teknologi Hasil Pertanian serta Pak Nauval yang menjadi tempat penulis untuk berdinamika.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan karena masih terbatasnya kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Dengan demikian, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai bahan perbaikan untuk tulisan-tulisan mendatang. Semoga tulisan ini bermanfaat bagi kita. Amin.

Bandarlampung, 23 Juni 2025



Victorinus Danu Anggoro

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
I. PENDAHULUAN.....	16
1.1. Latar Belakang dan Masalah.....	16
1.2. Tujuan Penelitian.....	18
1.3. Kerangka Pemikiran.....	18
1.4. Hipotesis.....	21
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	22
2.1. Biodiesel.....	22
2.1.1. Proses Produksi Biodiesel.....	22
2.1.2. Standar Kualitas Biodiesel.....	23
2.2. Pemurnian <i>Crude</i> Biodiesel.....	25
2.4.1. Pencucian Basah (<i>Wet Washing</i>).....	25
2.4.2. Pencucian Kering (<i>Dry Washing</i>).....	26
2.3. Adsorpsi.....	26
2.4. Adsorben.....	31
2.5. Serbuk Kayu Gergaji.....	31
2.6. Bentonit.....	32
2.7. Metode Aktivasi.....	33
III. METODOLOGI.....	35
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	35
3.2. Bahan dan Alat Penelitian.....	35
3.3. Metode Penelitian.....	35
3.4. Prosedur Penelitian.....	36
3.4.1. Perlakuan Pendahuluan Adsorben.....	36
3.4.2. Proses Transesterifikasi.....	37

3.4.3. Proses Pemurnian Biodiesel.....	38
3.5. Variabel Pengamatan.....	40
3.5.1. Rendemen Biodiesel.....	40
3.5.2. Kadar Air.....	40
3.5.3. Bilangan Asam.....	41
3.5.4. Bilangan Iod.....	41
3.5.5. Bilangan Penyabunan.....	42
3.5.6. Indeks Setana.....	43
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
4.1. Penelitian Pendahuluan.....	44
4.2. Penelitian Utama.....	46
4.2.1. Rendemen Pemurnian Biodiesel.....	46
4.2.2. Analisis Kadar Air Pemurnian Biodiesel.....	49
4.2.3. Analisis Bilangan Asam Pemurnian Biodiesel.....	50
4.2.4. Analisis Bilangan Penyabunan Pemurnian Biodiesel.....	52
4.2.5. Analisis Bilangan Iodium Biodiesel.....	54
4.2.6. Indeks Setana.....	56
4.3. Perlakuan Terbaik.....	57
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	60
5.1. Kesimpulan.....	60
5.2. Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN.....	68
Lampiran 1. Analisis Perhitungan.....	68
Lampiran 2. Foto Penelitian.....	99

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Syarat mutu biodiesel.....	24
2. Perbandingan sifat adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia.....	28
3. Karakteristik biodiesel berbahan baku minyak goreng merk Bimoli....	44
4. Perangkingan dan pemberian score pada parameter rendemen biodiesel.....	57
5. Perangkingan dan pemberian score pada parameter bilangan asam biodiesel.....	58
6. Perangkingan dan pemberian score pada parameter bilangan iodium biodiesel.....	58
7. Penjumlahan total score dari tiap parameter.....	59
8. Hasil rendemen pemurnian biodiesel.....	69
9. Uji Homogenitas Bartlett rendemen pemurnian biodiesel.....	70
10. Uji Aditivitas Tukey rendemen pemurnian biodiesel.....	71
11. Analisis Ragam rendemen pemurnian biodiesel.....	72
12. Uji Perbandingan Ortogonal (OC) rendemen pemurnian biodiesel.....	73
13. Hasil kadar air pemurnian biodiesel.....	74
14. Transformasi hasil kadar air pemurnian biodiesel.....	74
15. Uji Homogenitas Bartlett kadar air pemurnian biodiesel.....	75
16. Uji Aditivitas Tukey kadar air pemurnian biodiesel.....	76
17. Analisis Ragam kadar air pemurnian biodiesel.....	77
18. Uji Perbandingan Ortogonal (OC) Kadar Air pemurnian biodiesel.....	78
19. Hasil penelitian bilangan asam pemurnian biodiesel.....	79
20. Transformasi akar hasil penelitian bilangan asam pemurnian biodiesel.....	79
21. Uji Homogenitas Bartlett bilangan asam pemurnian biodiesel.....	80
22. Uji Aditivitas Tukey bilangan asam pemurnian biodiesel.....	81

Tabel	Halaman
23. Analisis Ragam bilangan asam pemurnian biodiesel.....	82
24. Uji Perbandingan Ortogonal (OC) bilangan asam pemurnian biodiesel.....	83
25. Data bilangan penyabunan pemurnian biodiesel.....	84
26. Uji Homogenitas Bartlett bilangan penyabunan pemurnian biodiesel..	85
27. Uji Aditivitas Tukey bilangan penyabunan pemurnian biodiesel.....	86
28. Analisis Ragam bilangan penyabunan pemurnian biodiesel.....	87
29. Uji Perbandingan Ortogonal (OC) Bilangan Penyabunan biodiesel....	88
30. Hasil bilangan iodium pemurnian biodiesel.....	89
31. Transformasi hasil bilangan iodium pemurnian biodiesel.....	89
32. Uji Homogenitas Bartlett bilangan iodium pemurnian biodiesel.....	90
33. Uji Aditivitas Tukey bilangan asam pemurnian biodiesel.....	91
34. Analisis Ragam bilangan iodium pemurnian biodiesel.....	92
35. Uji Perbandingan Ortogonal (OC) Bilangan Iodium pemurnian biodiesel.....	93
36. Data indeks setana pemurnian biodiesel.....	94
37. Uji Homogenitas Bartlett indeks setana pemurnian biodiesel.....	95
38. Uji Aditivitas Tukey indeks setana pemurnian biodiesel.....	96
39. Analisis Ragam indeks setana pemurnian biodiesel.....	97
40. Uji Perbandingan Ortogonal (OC) Indeks Setana pemurnian biodiesel.....	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Reaksi Transesterifikasi.....	23
2. Diagram alir proses transesterifikasi.....	38
3. Diagram alir pemurnian metode <i>dry washing</i>	39
4. Grafik hasil rendemen biodiesel.....	47
5. Grafik hasil kadar air biodiesel.....	49
6. Grafik hasil bilangan asam biodiesel.....	50
7. Grafik hasil bilangan penyabunan biodiesel.....	53
8. Grafik hasil bilangan iodium biodiesel.....	54
9. Grafik hasil indeks setana biodiesel.....	56
10. Tata letak percobaan rancangan acak kelompok lengkap.....	68
11. Bentonit.....	99
12. Serbuk kayu gergaji.....	99
13. Aktivasi adsorben.....	99
14. Pencucian adsorben.....	100
15. Proses transesterifikasi.....	100
16. Pemisahan crude metil ester dari gliserol.....	100
17. Distilasi crude metil ester dari metanol.....	101
18. Adsorpsi kontaminan crude metil ester.....	101
19. Pemisahan metil ester dari adsorben.....	101
20. Rendemen biodiesel.....	102
21. Pengamatan kadar air biodiesel.....	103
22. Pengamatan bilangan asam.....	103
23. Pengamatan bilangan penyabunan.....	103
24. Pengamtan bilangan iodium.....	104

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Masalah

Krisis energi global yang semakin meningkat telah mendorong berbagai upaya untuk menemukan sumber energi alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satu opsi yang muncul adalah biodiesel, energi terbarukan yang berpotensi menggantikan bahan bakar fosil dengan dampak lingkungan yang lebih rendah. Biodiesel diproduksi melalui proses transesterifikasi minyak nabati, seperti minyak kelapa sawit, minyak dedak padi, serta minyak jelantah atau lemak hewani, yang kemudian menghasilkan *fatty acid methyl ester* (FAME) sebagai komponen utama. Sejumlah penelitian mendukung bahwa biodiesel hasil transesterifikasi memiliki karakteristik pembakaran yang lebih bersih dan kompatibel sebagai bahan bakar alternatif (Abed *et al.*, 2018; Jauhari *et al.*, 2018; Marwaha *et al.*, 2018).

Namun, produksi biodiesel berkualitas tinggi masih menghadapi tantangan besar, terutama terkait dengan keberadaan pengotor. Pengotor yang umumnya terdapat dalam biodiesel meliputi kandungan gliserol dan air yang dapat memicu hidrolisis trigliserida menjadi asam lemak bebas (FFA). Kontaminan ini dapat menurunkan performa dan efisiensi bahan bakar, sehingga perlu dikendalikan secara ketat. Kandungan pengotor tersebut tidak diharapkan dalam komposisi biodiesel karena dapat mengganggu kestabilan bahan bakar selama penyimpanan dan penggunaan. Selain itu, biodiesel dengan kandungan pengotor yang tinggi juga dapat menyebabkan kerusakan pada komponen mesin dalam jangka panjang (Assawasaengrat *et al.*, 2015). Salah satu solusi pemurnian biodiesel adalah penggunaan adsorben yang efektif menyerap pengotor, yaitu melalui metode *dry washing*. Metode ini menjadi alternatif dari *wet washing* yang menggunakan air

untuk menghilangkan kontaminan, tetapi menghasilkan limbah cair yang cukup banyak. *Dry washing* menggunakan adsorben seperti bentonit dan serbuk kayu gergaji sebagai pengganti air dalam menghilangkan kontaminan pada *crude biodiesel*. Metode ini dinilai lebih menguntungkan karena mengurangi limbah cair yang berpotensi mencemari lingkungan (Azis *et al.*, 2023). Selain itu, adsorben memiliki afinitas yang tinggi terhadap senyawa polar, yang memungkinkan proses pemurnian lebih cepat dan meningkatkan kualitas akhir biodiesel (Sandouqa *et al.*, 2020; Arenas *et al.*, 2021).

Metode aktivasi adsorben, baik secara fisik maupun kimia, berpengaruh signifikan terhadap daya jerap adsorben yang akan berdampak pada efektivitas pemurnian biodiesel. Aktivasi dengan senyawa asam terbukti dapat meningkatkan luas permukaan dan volume pori-pori adsorben sehingga memperluas kapasitasnya dalam menyerap pengotor di biodiesel (Chen *et al.*, 2022; Lopes *et al.*, 2023). Senyawa asam seperti H_2SO_4 atau HCl secara khusus menghilangkan komponen yang tidak diinginkan pada struktur adsorben, sehingga membuatnya lebih efektif dalam pemurnian biodiesel (Wang *et al.*, 2021). Bentonit yang diaktivasi menggunakan senyawa asam menunjukkan peningkatan kapasitas adsorpsi karena pori-porinya menjadi lebih bersih dibandingkan sebelum diaktivasi. Hal serupa juga berlaku untuk serbuk kayu gergaji yang diaktivasi H_2SO_4 dapat menghilangkan komponen selulosa, hemiselulosa, dan lignin, sehingga meningkatkan kualitas biodiesel yang dihasilkan (M'hamdi *et al.*, 2015).

Meskipun banyak penelitian telah dilakukan terkait penggunaan adsorben dan metode aktivasi dalam pemurnian biodiesel, masih terdapat kesenjangan dalam kombinasi optimal keduanya untuk mencapai hasil yang optimal. Penelitian yang ada sering kali fokus pada satu jenis adsorben atau satu metode aktivasi, tanpa mempertimbangkan kombinasi adsorben dengan metode aktivasi yang berbeda. Hal ini perlu dicermati agar tidak hanya menghasilkan biodiesel berkualitas tinggi tetapi juga menciptakan teknologi pemurnian yang lebih efisien dan ramah lingkungan (Kumar *et al.*, 2023; Rahman *et al.*, 2023). Dengan mengatasi kesenjangan ini,

diharapkan dapat ditemukan solusi pemurnian yang lebih optimal dan aplikatif untuk industri biodiesel.

Berdasarkan kesenjangan yang telah diidentifikasi, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jenis adsorben dan metode aktivasi terhadap peningkatan kualitas pemurnian biodiesel. Penelitian ini akan mengkombinasikan adsorben berupa bentonit dan serbuk kayu gergaji, serta metode aktivasi fisik dan kimia yang dapat meningkatkan daya jerap dan efisiensi pemurnian. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh data yang komprehensif untuk menentukan kombinasi optimal yang tidak hanya meningkatkan kualitas biodiesel, tetapi juga ramah lingkungan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi pemurnian biodiesel yang lebih baik dan berkelanjutan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh jenis adsorben pemurnian biodiesel secara *dry washing*.
2. Mengetahui pengaruh metode aktivasi adsorben dalam pemurnian biodiesel secara *dry washing*.
3. Mengetahui interaksi jenis adsorben dengan metode aktivasi dalam pemurnian biodiesel secara *dry washing*.
4. Mengetahui kombinasi perlakuan terbaik pada kombinasi jenis adsorben dengan metode aktivasi dalam pemurnian biodiesel secara *dry washing*.

1.3. Kerangka Pemikiran

Biodiesel merupakan salah satu energi alternatif yang prospektif untuk menggantikan penggunaan petrodiesel. Penggunaannya memiliki karakteristik pembakaran yang mirip dengan petrodiesel, tetapi lebih ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang lebih rendah. Namun, untuk memastikan biodiesel berkualitas tinggi, proses produksinya harus memenuhi standar kualitas yang ketat,

seperti yang tercantum dalam SNI 7182:2015. Standar ini mengatur parameter penting seperti kadar air, bilangan asam, bilangan iodium, dan angka setana, yang jika tidak sesuai dapat menurunkan performa biodiesel dan meningkatkan risiko kerusakan pada mesin dalam jangka panjang. Selain itu, metode pemurnian yang tepat sangat berperan dalam memastikan biodiesel memenuhi standar ini dan dapat diproduksi secara efisien.

Produksi biodiesel mencakup beberapa tahap, di antaranya transesterifikasi dan pemurnian. Transesterifikasi adalah reaksi kimia yang mengubah trigliserida dalam minyak nabati menjadi *fatty acid methyl ester* (FAME), yang merupakan komponen utama biodiesel. Proses ini menggunakan katalis basa, seperti NaOH, untuk mempercepat reaksi dan memastikan konversi yang optimal dari trigliserida menjadi biodiesel dan gliserol. Di akhir reaksi transesterifikasi, gliserol, sisa pelarut, dan katalis harus dipisahkan dari biodiesel untuk memperoleh produk yang bersih. Tahap pemurnian menjadi sangat penting di sini untuk menghilangkan kontaminan, yang dapat berupa katalis, sisa pelarut, dan senyawa-senyawa polar lainnya yang tidak diinginkan.

Secara konvensional, pemurnian biodiesel dilakukan dengan metode *wet washing*, yang menggunakan air untuk menjerap dan membilas pengotor. Namun, metode ini memiliki beberapa kelemahan, terutama kebutuhan air yang tinggi dan waktu pemurnian yang cukup lama, yang berimplikasi pada biaya yang lebih besar. Solusi atas masalah ini adalah metode *dry washing*, yang menggunakan adsorben sebagai pengganti air untuk menjerap kontaminan. *Dry washing* lebih efisien karena prosesnya lebih cepat, tidak menghasilkan limbah cair, dan lebih ramah lingkungan. Dengan demikian, metode ini dinilai lebih mutakhir dan praktis, terutama bagi industri biodiesel yang ingin mengurangi biaya dan waktu pemurnian serta dampak lingkungan yang ditimbulkan.

Bentonit adalah salah satu adsorben yang umum digunakan dalam metode *dry washing* untuk biodiesel. Bentonit memiliki kapasitas adsorpsi yang baik karena struktur pori-porinya, yang semakin efektif bila diaktivasi dengan asam.

Penggunaan bentonit 1% pada proses *dry washing* mampu menghasilkan biodiesel dengan rendemen sebesar 94,1% (Suriaini *et al.*, 2019). Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa bentonit yang diaktivasi dengan H_2SO_4 memiliki kadar air sebesar 1,32%, lebih rendah dibandingkan bentonit tanpa aktivasi yang mencapai 1,94%. Penelitian lain oleh Azis *et al.* (2023) mengungkapkan bahwa bentonit yang diaktivasi dengan HCl dapat meningkatkan kejernihan biodiesel hingga 96,7%, menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi adsorben dapat secara efektif menghilangkan pengotor.

Serbuk kayu gergaji juga merupakan adsorben yang potensial untuk *dry washing*. Sebagai bioadsorben, serbuk kayu memiliki pori-pori kasar dan rongga yang luas, yang dapat meningkatkan kapasitas adsorpsinya. Berbeda dari bentonit, serbuk kayu gergaji bersifat biodegradable dan lebih ekonomis. Arenas *et al.* (2021) menyatakan bahwa konsentrasi serbuk kayu gergaji 5% dapat menurunkan bilangan asam dan kadar air dalam biodiesel hingga di bawah standar *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Ini menandakan bahwa serbuk kayu gergaji dapat menjadi alternatif menarik untuk pemurnian biodiesel, terutama dalam hal biaya dan dampak lingkungan.

Penggunaan adsorben pada metode *dry washing* harus melalui proses aktivasi untuk menghilangkan kontaminan yang menyumbat pori-porinya, seperti tar, garam kalsium, magnesium, serta senyawa selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang memengaruhi kapasitas adsorpsi (Azis *et al.*, 2023; M'hamdi *et al.*, 2015). Aktivasi kimia dengan asam, seperti H_2SO_4 atau HCl, memberikan efek yang signifikan dalam meningkatkan daya jerap adsorben. Yulanda *et al.* (2018) menunjukkan bahwa bentonit yang diaktivasi dengan H_2SO_4 menghasilkan kadar air biodiesel sebesar 0,68%, lebih rendah dari bentonit tanpa aktivasi yang mencapai 0,77%. Selain itu, aktivasi menggunakan HCl juga telah terbukti dapat meningkatkan kejernihan biodiesel hingga 96,7% (Azis *et al.*, 2023), menunjukkan bahwa metode aktivasi yang tepat sangat berpengaruh dalam pemurnian biodiesel.

Penelitian terdahulu telah menunjukkan efektivitas bentonit dan serbuk kayu gergaji dalam menurunkan kadar kontaminan pada biodiesel. Namun, terdapat kebutuhan untuk mengeksplorasi kombinasi optimal antara jenis adsorben dan metode aktivasi yang dapat memaksimalkan efisiensi pemurnian. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh jenis adsorben (bentonit, serbuk kayu gergaji, dan kombinasi keduanya) serta metode aktivasi (H_2SO_4 , HCl , dan tanpa asam) dalam meningkatkan kualitas biodiesel. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi baru yang relevan bagi pengembangan metode pemurnian biodiesel yang lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan.

1.4. Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat pengaruh jenis adsorben dalam pemurnian biodiesel secara *dry washing*.
2. Terdapat pengaruh metode aktivasi adsorben dalam pemurnian biodiesel secara *dry washing*.
3. Terdapat interaksi antara jenis adsorben dengan metode aktivasi dalam pemurnian biodiesel secara *dry washing*.
4. Terdapat kombinasi perlakuan terbaik pada kombinasi jenis adsorben dengan metode aktivasi dalam pemurnian biodiesel secara *dry washing*.

.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biodiesel

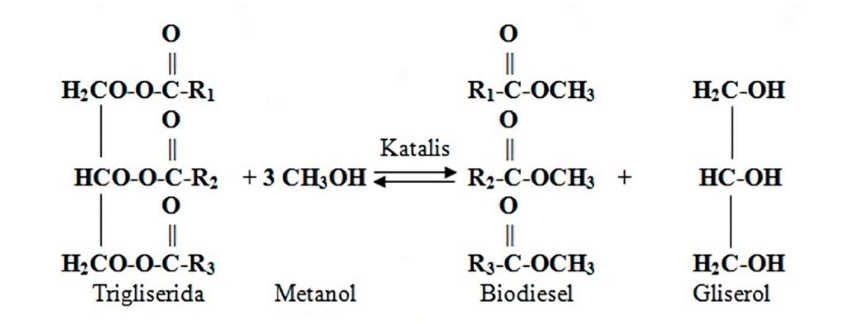
Biodiesel adalah bahan bakar terbarukan yang terbuat dari minyak nabati atau lemak hewani, berupa campuran monoalkil ester dari rantai panjang asam lemak. Sebagai bahan bakar alternatif, biodiesel memiliki sifat pembakaran yang mirip dengan petro diesel tetapi lebih ramah lingkungan, dengan emisi karbon monoksida, hidrokarbon, dan nitrogen oksida (NO_x) yang lebih rendah (Martin *et al.*, 2020). Biodiesel juga unggul karena mudah terbiodegradasi, tidak beracun, dan memiliki angka setana yang tinggi, menjadikannya pilihan yang lebih aman bagi lingkungan (Murti, 2017).

2.1.1. Proses Produksi Biodiesel

Biodiesel umumnya diproduksi melalui proses transesterifikasi atau esterifikasi, bergantung pada bahan baku yang digunakan. Pada proses transesterifikasi, trigliserida dalam minyak atau lemak direaksikan dengan alkohol, menghasilkan metil ester (biodiesel) dan gliserol sebagai produk samping. Reaksi ini dipercepat oleh katalis basa seperti NaOH atau KOH juga berfungsi untuk meningkatkan rendemen biodiesel (Ningsih dan Suparto, 2017). Transesterifikasi lebih sering digunakan dalam produksi biodiesel komersial karena efisiensinya yang tinggi, terutama bila menggunakan alkohol seperti metanol yang memiliki reaktivitas tinggi.

Pada bahan baku dengan kadar asam lemak bebas (FFA) tinggi, proses esterifikasi dilakukan sebagai tahap awal untuk menurunkan kadar asam lemak bebas (FFA)

sebelum transesterifikasi. Penggunaan kedua metode ini secara bertahap mencegah kendala seperti reaksi saponifikasi, yang dapat terjadi jika kadar FFA tinggi selama transesterifikasi (Efendi *et al.*, 2018). Setelah proses transesterifikasi, *crude biodiesel* mengandung berbagai pengotor seperti, katalis, gliserol, kandungan air, dan sisa alkohol yang perlu dihilangkan melalui proses pemurnian untuk mendapatkan biodiesel yang memenuhi standar.



Gambar 1. Reaksi Transesterifikasi
Sumber : Oko dan Syahrir (2017)

2.1.2. Standar Kualitas Biodiesel

Kualitas biodiesel diukur berdasarkan beberapa parameter, termasuk kandungan gliserol bebas, kadar air, viskositas, serta kandungan asam lemak bebas (FFA). Untuk memenuhi syarat sebagai bahan bakar yang dapat digunakan pada mesin diesel, biodiesel harus mencapai standar kualitas tertentu, seperti yang tercantum dalam SNI 7182:2015. Maka, biodiesel yang baik tentunya memenuhi Standar Nasional Indonesia yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Syarat mutu biodiesel

No	Parameter Uji	Satuan, min/maks	Persyaratan
1.	Masa jenis pada 40 °C	kg/m ³	850 – 890
2.	Viskositas kenematik pada 40 °C	mm/s (cSt)	2,3 – 6,0
3.	Angka setana	min	51
4.	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C, min	100
5.	Titik kabut	°C, maks	18
6.	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50 °C) residu karbon	%-massa, maks	nomor 1
7.	Residu karbon		
	- Dalam percontoh asli; atau	%massa, maks	0,05
	- Dalam 10% ampas distilasi		0,3
8.	Air dan sedimen	%-volume, maks	0,05
9.	Temperatur distilasi 90%	°C, maks	360
10.	Abu tersulfurkan	%-massa, maks	0,02
11.	Belerang	mg/kg, maks	50
12.	Fosfor	mg/kg, maks	4
13.	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,5
14.	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02
15.	Gliserol total	%-massa, maks	0,24
16.	Kadar ester metil	%-massa, min	96,5
17.	Angka iodium	%-massa (g-I ₂ /100 g), maks	115
18.	Kestabilan oksidasi		
	Periode induksi metode rancimat atau	Menit	480
	Periode induksi metode petro oksidasi		36
19.	Monogliserida	%-massa, maks	0,8

Sumber: SNI 7182:2015

Pemurnian menjadi proses penting dalam memastikan kualitas biodiesel karena pengotor yang tersisa setelah transesterifikasi dapat mengganggu kinerja mesin, mempercepat korosi, dan mengurangi stabilitas penyimpanan biodiesel. Pemurnian konvensional biasanya dilakukan dengan metode *wet washing* yang menggunakan air untuk melarutkan dan memisahkan pengotor. Namun, metode ini memiliki kelemahan seperti menghasilkan limbah cair yang perlu diolah lebih lanjut, serta biaya dan waktu yang cukup tinggi.

Alternatif yang lebih efisien adalah metode *dry washing*, yang menggunakan adsorben untuk menjerap pengotor tanpa menghasilkan limbah cair. Adsorben seperti bentonit dan serbuk kayu gergaji telah diteliti dan terbukti efektif dalam

meningkatkan kejernihan dan kemurnian biodiesel (Suriaini *et al.*, 2019; Arenas *et al.*, 2021). Metode *dry washing* lebih menguntungkan dalam aspek keberlanjutan dan efisiensi biaya, dan dapat diterapkan pada skala industri untuk mempercepat proses pemurnian. Oleh karena itu, pemilihan jenis dan metode aktivasi adsorben menjadi faktor penting dalam meningkatkan kualitas biodiesel.

2.2. Pemurnian *Crude Biodiesel*

Pemurnian merupakan salah satu tahap dalam melanjutkan produksi biodiesel setelah dilakukan transesterifikasi. Pemurnian biodiesel bertujuan agar mendapatkan biodiesel yang terbebas dari kontaminan, seperti katalis, kandungan air, dan sisa alkohol. Pemurnian menjadi salah satu tahap atau proses penting dalam produksi biodiesel. Pemurnian yang dilakukan dengan tepat, akan menghasilkan rendemen maksimum. Maka dari itu, perbedaan pemurnian biodiesel juga sangat berpengaruh dalam perolehan rendemen dan kualitas biodiesel.

2.4.1. Pencucian Basah (*Wet Washing*)

Wet washing merupakan metode pemurnian biodiesel yang menggunakan media air. 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).

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. 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).

2.4.2. Pencucian Kering (*Dry Washing*)

Dry washing merupakan pemurnian biodiesel dengan basis kering karena menggunakan adsorben sebagai media pengganti air. Sama halnya dengan *wet washing*, metode ini mampu menghilangkan kontaminan seperti air, sisa pelarut, dan katalis. Metode ini tidak menghasilkan limbah cair yang dapat berdampak bagi lingkungan. Selain itu, metode ini tidak menimbulkan proses emulsifikasi karena tidak terdapatnya peran air dalam pemurnian (Azis *et al.*, 2023).

Metode *dry washing* merupakan solusi dalam mengatasi masalah yang ditimbulkan dari metode *wet washing*. Metode ini menggunakan prinsip adsorpsi untuk menghilangkan kontaminan pada *crude* biodiesel. Terdapat banyak jenis adsorben, seperti silika (magnesium silikat dan gel silika), resin pertukaran ion (amberlite atau purolite), tanah lempung (bentonit), dan bioadsorben (serbuk kayu gergaji). Penggunaan adsorben tersebut memberikan keunggulan dibandingkan dengan metode *wet washing*. Berdasarkan penelitian Rudiyanto *et al.* (2018) keunggulan tersebut di antaranya:

1. *Dry washing* mampu mengurangi waktu produksi karena prosesnya hanya beberapa jam untuk menyerap kontaminan.
2. *Dry washing* mampu menurunkan biaya produksi karena tidak menggunakan air dalam prosesnya.
3. *Dry washing* hanya menggunakan ruang produksi yang kecil kecil karena *tidak* membutuhkan tangka pencucian dan tangka settling.
4. *Dry washing* menghasilkan kualitas biodiesel yang lebih baik, terutama pada kadar *air* biodiesel.

2.3. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses penggumpalan substansi zat terlarut yang terdapat dalam larutan. Dalam artian lain, proses adsorpsi akan melekatkan molekul-molekul zat terlarut menyentuh dan melekat pada bahan penyerap (Alviany *et al.*, 2023). Proses ini melibatkan bahan penyerap karena terjadi ikatan kimia-fisika

antara substansi zat terlarut dengan bahan penyerapnya. Pada prosesnya, bahan penyerap disebut dengan adsorben, seperti bentonit dan serbuk gergaji, sedangkan substansi zat terlarut disebut adsorbat, seperti air, katalis, dan sisa pelarut dalam penelitian ini.

Adsorpsi akan terjadi saat molekul-molekul cair melakukan kontak dengan permukaan adsorben, lalu terjerap pada permukaan adsorben. Proses tersebut mengartikan bahwa adsorpsi terjadi pada permukaan adsorben sehingga luas permukaan menjadi parameter penting dalam kapasitas adsorben (Takarani *et al.*, 2019). Namun, diperlukan aktivasi adsorben agar kemampuan adsorpsi pada permukaan adsorben meningkat dan berdampak pada peningkatan terhadap molekul adsorbat yang terperangkap.

Pada dasarnya proses adsorpsi terbagi atas adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisik merupakan proses tarik menarik dan bolak bolak balik sehingga diperlukan daya tarik menarik yang lebih besar antara adsorben dengan adsorbat dibandingkan adsorbat dengan adsorben, agar dapat diadsorpsi; sedangkan adsorpsi kimia terjadi berdasarkan ikatan kimia antara adsorben dengan adsorbat sehingga bersifat lebih spesifik. Di samping itu, adsorpsi fisik bersifat reversibel karena kebutuhan akan energinya yang sangat kecil; sedangkan adsorpsi kimia bersifat ireversibel akibat prosesnya yang melibatkan energi yang cukup besar (Atkins, 1999). Secara lebih sederhana, berdasarkan sifatnya proses adsorpsi tersebut dapat dibedakan untuk dijadikan perbandingan, seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan sifat adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia

Sifat Adsorpsi	Adsorpsi Fisik	Adsorpsi Kimia
Molekul terikat pada adsorben	Oleh gaya Van der Waals	Oleh ikatan kimia
Jumlah adsorpsi pada permukaan	Fungsi adsorbat dan adsorben	Karakteristik adsorben dan adsorbat
Laju adsorpsi pada permukaan	Dikendalikan oleh difusi lapisan dan difusi pori	Dikendalikan oleh reaksi kimia
Temperatur	Memengaruhi laju adsorpsi dan tingkat terjadinya adsorpsi	Memengaruhi laju adsorpsi dan tingkat terjadinya adsorpsi
Energi aktivasi	Tidak memerlukan energi aktivasi tertentu	Memerlukan energi aktivasi yang cukup besar
Derajat adsorpsi	Sama dengan panas kondensasi dari gas menjadi cair	± 100 kJ/mol
Reversibilitas	Bersifat reversibel	Bersifat ireversibel

Sumber: Atkins, 1999

Proses adsorpsi sangat berpengaruh akan perolehan rendemen biodiesel. Rendemen biodiesel maksimum dan berkualitas akan diperoleh bila adsorbat dapat dijerap maksimal oleh adsorben. Produksi biodiesel juga akan lebih cepat apabila laju adsorpsi juga cepat. Maka dari itu, beberapa faktor perlu diperhatikan dalam proses adsorpsi, yaitu sebagai berikut:

1. Karakteristik adsorben

Ukuran dan luas permukaan adsorben merupakan karakteristik yang dapat mempengaruhi laju adsorpsi pada proses pemurnian biodiesel. Adsorben dengan ukuran kecil akan memiliki laju reaksi yang lebih cepat dibandingkan dengan adsorben dengan ukuran yang besar. Selain itu, adsorben dengan permukaan yang lebih luas mampu menjerap kontaminan dalam jumlah yang lebih banyak. Hal ini dapat dilihat dari beberapa penelitian, seperti optimasi proses adsorpsi pada pembuatan biodiesel dengan menggunakan adsorben berupa cangkang kerang yang menunjukkan ukuran partikel dan waktu kontak mempengaruhi efektivitas adsorpsi (Rapo dan Tonk, 2021; Ritonga *et al.*, 2021)

2. Agitasi

Proses adsorpsi terjadi pada permukaan adsorben, yaitu terjadi difusi antara lapisan adsorben dengan kontaminan menjadi kunci keberhasilan. Hal ini menjadikan agitasi atau adanya turbulensi dalam proses adsorpsi menjadi faktor penting. Agitasi atau turbulensi dapat meningkatkan kontak antara adsorben dan kontaminan, sehingga mempercepat laju adsorpsi. Dalam pemurnian biodiesel, agitasi yang baik dalam proses adsorpsi dapat meningkatkan efisiensi penghilangan kontaminan, seperti kandungan air, katalis, dan sisa pelarut, terutama pada dalam proses adsorpsi yang berlangsung dalam waktu relatif singkat sehingga mempengaruhi kualitas akhir biodiesel (Rapo dan Tonk, 2021).

3. Ukuran pori-pori adsorben

Ukuran pori-pori adsorben merupakan penjerap kontaminan pada adsorben. Seiring dengan ukuran pori adsorben yang cukup besar, maka laju adsorpsi ikut pula meningkat serta besar kemungkinan proses adsorpsi berjalan dengan lancar. Namun, ukuran partikel kontaminan yang beragam dapat mengakibatkan partikel yang lebih besar menghalangi jalan masuk partikel yang lebih kecil. Oleh karena itu, ukuran pori adsorben yang optimal harus disesuaikan dengan ukuran partikel kontaminan yang akan diadsorpsi. Selain itu, karakteristik lain dari adsorben yang dapat mempengaruhi laju adsorpsi adalah ukuran dan luas permukaan partikel. Semakin kecil adsorben, maka laju adsorpsi akan semakin cepat, karena semakin banyak adsorbat yang terjerap. Hal ini menyangkut luas permukaan adsorben yang tersedia untuk dapat menjerap kontaminan (Rapo dan Tonk, 2021).

4. pH

Ion hidrogen dapat menjadi penjerap yang kuat dalam proses adsorpsi, di samping pengaruhnya dalam proses ionisasi. Suasana pH rendah akan lebih mudah dalam mengadsorpsi kontaminan asam, sedangkan suasana pH tinggi akan lebih mudah dalam mengadsorpsi kontaminan basa. Pada pH rendah, ion hidrogen bersaing dengan ion logam saat pertukaran kation, sehingga persentase ion logam yang teradsorpsi semakin kecil. Namun, pada pH tinggi, kompetisi

ion H^+ dengan ion logam menjadi berkurang sehingga kemampuan ion logam yang terjerap semakin besar (Rapo dan Tonk, 2021).

5. Kelarutan adsorbat

Proses adsorpsi berhasil terjadi bila kontaminan terpisah dari larutan dan menempel pada permukaan adsorben. Kelarutan adsorbat mempengaruhi kemampuan adsorben untuk menjerap adsorbat. Adsorbat yang lebih larut dapat terjerap lebih efektif dibandingkan dengan adsorbat yang kurang larut (Rapo dan Tonk, 2021).

6. Waktu kontak

Waktu kontak dalam proses adsorpsi mempengaruhi kontaminan yang terjerap pada adsorben. Semakin lama waktu kontak, jumlah adsorbat yang terjerap pada permukaan adsorben semakin meningkat hingga tercapai titik setimbang. Waktu kontak antara adsorben dan adsorbat yang terlalu lama dapat menyebabkan kondisi adsorben menjadi jenuh dan adsorbat menjadi terlepas (Rapo dan Tonk, 2021)

7. Temperatur

Proses adsorpsi merupakan proses eksotermik, yang berarti melepaskan kalor. Hal ini berhubungan dengan pengaruh temperatur dalam laju dan tingkat adsorpsi. Laju adsorpsi cenderung meningkat seiring dengan kenaikan temperatur. Namun, derajat adsorpsi cenderung meningkat saat temperatur rendah dan menurun pada temperatur tinggi. Hal ini disebabkan oleh sifat eksotermik dari proses adsorpsi, pada temperatur rendah, peningkatan energi permukaan adsorben dapat meningkatkan tarikan terhadap molekul adsorbat. Namun, pada temperatur tinggi, peningkatan energi termal dapat mengurangi afinitas antara adsorben dan adsorbat, sehingga derajat adsorpsi cenderung menurun. Oleh karena itu, pengaturan temperatur dalam proses adsorpsi perlu diperhatikan untuk mencapai tingkat adsorpsi yang optimal (Rapo dan Tonk, 2021).

2.4. Adsorben

Adsorben merupakan materi atau bahan yang berbentuk padat yang mampu melakukan penyerapan terhadap kontaminan. Adsorben menggunakan pori-pori pada permukaannya untuk menyerap kontaminan. Berdasarkan jenis kepolaran kontaminan, adsorben digolongkan menjadi adsorben polar dan non-polar. Adsorben polar memiliki sifat hidrofilik, yaitu menyerap partikel air (senyawa polar); sedangkan adsorben non-polar memiliki sifat hidrofobik, yaitu menyerap partikel selain air (senyawa non-polar). Pada penelitian ini, adsorben yang digunakan adalah adsorben polar, yaitu bentonit dan serbuk kayu gergaji (Fitri *et al.*, 2021).

Kemampuan adsorben dalam menyerap kontaminan dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah luas permukaan adsorben. Keberadaan proses adsorpsi pada permukaan adsorben memberikan pengaruh pada daya adsorpsinya. Semakin luas permukaan adsorben, maka semakin besar pula daya adsorpsinya. Di samping itu, faktor lain yang mempengaruhi adsorben, yaitu tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi, kemurnian adsorben, dan gugus fungsi atom di permukaan adsorben (Fitri *et al.*, 2021).

2.5. Serbuk Kayu Gergaji

Serbuk kayu gergaji merupakan serbuk yang berasal dari hasil potongan kayu yang digergaji. Serbuk ini biasanya dibuang begitu saja dengan dibakar sehingga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Serbuk gergaji hanya berasal dari tumbuhan berkayu saja sehingga komponen utamanya tentu mengikuti komponen kayu yang digergaji. Tidak hanya itu, sifat kimia dan fisiknya serta strukturnya pun mengikuti bahan bakunya.

Selulosa merupakan komponen utama penyusun kayu dan terdapat dalam serbuk kayu gergaji. Selulosa tersusun atas β -D-glukosa dengan bentuk polimer linier dan berat molekul yang tinggi. Selulosa juga menjadi komponen struktur utama dinding

sel kayu. Komposisi kimia kayu terdiri dari karbohidrat, selulosa, lignin, dan zat ekstraktif. Selulosa merupakan komponen kayu terbesar, sekitar 45%, yang terdapat pada semua jenis kayu. Serbuk kayu gergaji hanya berasal dari tumbuhan berkayu saja sehingga komponen utamanya tentu mengikuti komponen kayu yang digergaji. Sifat kimia dan fisik serta struktur serbuk kayu gergaji pun mengikuti bahan bakunya (Wibisono *et al.*, 2018)

Selulosa merupakan polimer glukosa dengan susunan rantai panjang sehingga memiliki gugus -OH di dalamnya. Adanya gugus -OH yang melimpah, selulosa memiliki ikatan hidrogen yang kuat baik intramolekul maupun antarmolekul sehingga selulosa tidak larut dalam air maupun pelarut polar lainnya. Sebagai penyusun utama kayu, tentunya selulosa juga terdapat dalam serbuk kayu gergaji. Struktur dan sifat selulosa tersebut berperan pada serbuk kayu gergaji sehingga membuat serbuk kayu gergaji bersifat hidrofilik. Hal tersebut menyebabkan serbuk kayu gergaji mampu menjerap senyawa polar, seperti kontaminan pada *crude* biodiesel.

Serbuk kayu merupakan bagian dari kayu sehingga memiliki struktur yang sama dengan kayu. Serbuk kayu memiliki permukaan dengan bentuk yang tidak beraturan dan kasar. Selain itu, serbuk kayu juga memiliki rongga-rongga kecil pada permukaannya layaknya struktur kayu (Gupta *et al.*, 2019; M'Hamdi *et al.*, 2015; dan Oyewo *et al.*, 2019). Serbuk kayu gergaji juga memiliki ruang kosong dengan ukuran bulatan yang berpengaruh terhadap waktu retensi antara adsorben dan biodiesel.

2.6. Bentonit

Bentonit merupakan tanah liat yang tersusun oleh berbagai mineral dan memiliki sifat plastis bila dicampur dengan air. Mineral utama yang terkandung dalam bentonit adalah montmorillonite. Jenis mineral tersebut memiliki persebaran yang paling luas dan memiliki sifat unik karena mempunyai kemampuan mengembang (*swelling*) dan kapasitas tukar kation yang tinggi. Di samping itu, mineral ini

memiliki luas permukaan yang besar dan mudah dalam menyerap air (Arifin *et al.*, 2015).

Bentonit memiliki sifat yang hidrofilik. Hal tersebut diakibatkan susunan mineralnya yang mampu menyerap senyawa polar. Akan tetapi bentonit perlu diaktivasi agar dapat menyerap senyawa polar lebih efektif. Aktivasi ini biasanya menggunakan asam mineral (HCl atau H₂SO₄) yang juga bertujuan untuk mencegah *swelling* pada bentonit. Proses aktivasi menggunakan asam mineral akan mereaksikan komponen berupa tar, garam Ca, dan garam Mg yang menutupi pori-pori adsorben sehingga didapat pori-pori yang lebih luas (Azis *et al.*, 2023).

2.7. Metode Aktivasi

Aktivasi adsorben merupakan salah satu langkah penting untuk meningkatkan kemampuan adsorben. Adsorben tanpa melibatkan proses aktivasi, terkadang tidak efektif untuk dalam mengadsorpsi adsorbat. Diketahui bentonit yang tidak dimodifikasi memiliki ketidakstabilan bila digunakan sebagai adsorben, sementara itu serbuk kayu gergaji memiliki komponen organik seperti selulosa dan lignin yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi (Azis *et al.*, 2023; Oktaviani dan Indriyanti., 2022). Proses aktivasi dilakukan dengan memperluas permukaan adsorben, sehingga daya adsorpsi adsorben meningkat. Proses aktivasi ini melibatkan dua jenis, yaitu aktivasi fisik dan aktivasi kimia (Sembiring dan Sinaga, 2003).

Aktivasi fisik sering kali dilakukan dengan metode termal. Penggunaan suhu yang tinggi ditujukan agar ikatan karbon pada adsorben terputus sehingga terjadi peningkatan kemampuan adsorpsi (Sembiring dan Sinaga, 2003). Aktivasi fisika yang dilakukan pada bentonit dilakukan dengan cara memanaskan bentonit hingga suhu 500-700°C. Pemanasan bentonit akan memecahkan ikatan O-OH dan meningkatkan kapasitas adsorpsi bentonit, tetapi penggunaan suhu tinggi juga dapat mengubah bahkan merusak struktur bentonit (Al-Zahrani *et al.*, 2001b).

Sesuai dengan namanya, prinsip aktivasi kimia ialah menggunakan reaktan yang bertujuan untuk mereaksikan komponen kimia yang terdapat pada adsorben dengan reaktan. Aktivasi ini melibatkan proses pertukaran atau pemakaian bersama elektron pada permukaan adsorben. Penggunaan reaktan asam pada bentonit seperti asam sulfat (H_2SO_4) atau asam klorida (HCl) menyebabkan terjadinya reaksi dengan komponen bentonit berupa tar, garam Ca, dan garam Mg yang menutupi pori-pori adsorben sehingga diperoleh bentonit dengan situs aktif yang memiliki pori-pori lebih besar (Azis *et al.*, 2023). Aktivasi menggunakan asam sulfat juga mampu mengembangkan pori-pori serbuk kayu gergaji yang lebih *porous* dengan menghilangkan komponen kayu, seperti hemiselulosa, lignin dan selulosa sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi serbuk kayu seiring meningkat pula luas permukaan dan jumlah situs aktif yang tersedia (M'hamdi *et al.*, 2015; Singh *et al.*, 2011).

III. METODOLOGI

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

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

3.2. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak goreng merek 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 , Wijs, serbuk kayu gergaji, bentonit, indikator amilum, indikator fenolftalein (PP).

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas beker 50 mL; 100 mL; 500 mL, gelas ukur 25 mL; 50 mL; 100 mL, labu Erlenmeyer 250 mL; 500 mL; 1000 mL, labu ukur 100 mL; 250 mL; 500 mL, labu didih, labu tiga leher, hot plate, magnetic stirrer, kondensor distilasi dan refluks, timbangan digital dan analitik, oven, desikator, cawan porselen, pipet tetes, pipet ukur 5 mL dan 25 mL, termometer, kertas saring, labu pisah, corong gelas, buret, statif dan klem.

3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini disusun secara faktorial $3 \times 3 \times 3$ dalam RAKL. Faktor pertama adalah jenis adsorben, yaitu bentonit (A1), serbuk kayu gergaji (A2), dan campuran bentonit dan serbuk kayu gergaji (A3); sedangkan faktor kedua adalah metode

aktivasi, yaitu H_2SO_4 (M1), HCL (M2), dan tanpa asam (M3). Dari data yang telah dihasilkan dilakukan uji homogenitas Bartlett, uji aditifitas Tukey, dan analisis ragam untuk memperoleh penduga ragam galat. Lalu, dilanjutkan uji lanjut Perbandingan Ortogonal (OC) untuk mengetahui pengaruh antar faktor dan interaksi keduanya serta penentuan perlakuan terbaik

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Perlakuan Pendahuluan Adsorben

Perlakuan pendahuluan adsorben didasarkan atas penelitian Azis *et al.* (2023) yang telah dimodifikasi dengan tujuan untuk mempersiapkan adsorben yang akan digunakan pada pemurnian secara *dry washing*. Perlakuan ini dilakukan terhadap kedua adsorben, yaitu serbuk kayu gergaji dan bentonit. Adsorben masing-masing disortir dengan ayakan 80 mesh. Perlakuan selanjutnya adalah mengaktivasi menggunakan metode tanpa asam dan senyawa asam.

1. Tanpa asam

Adsorben (bentonit atau serbuk kayu gergaji) mula-mula disiapkan sebanyak 30 gram. Selanjutnya adsorben dengan nisbah 1:10 diaktivasi menggunakan akuades dan diaduk dengan suhu $70\text{-}90^\circ\text{C}$, kecepatan 200 rpm selama 2 jam. Selanjutnya, adsorben disaring menggunakan kertas *whattman* dan dikeringkan dalam oven selama 3 jam dengan suhu 105°C . Setelah itu, adsorben didinginkan dalam desikator.

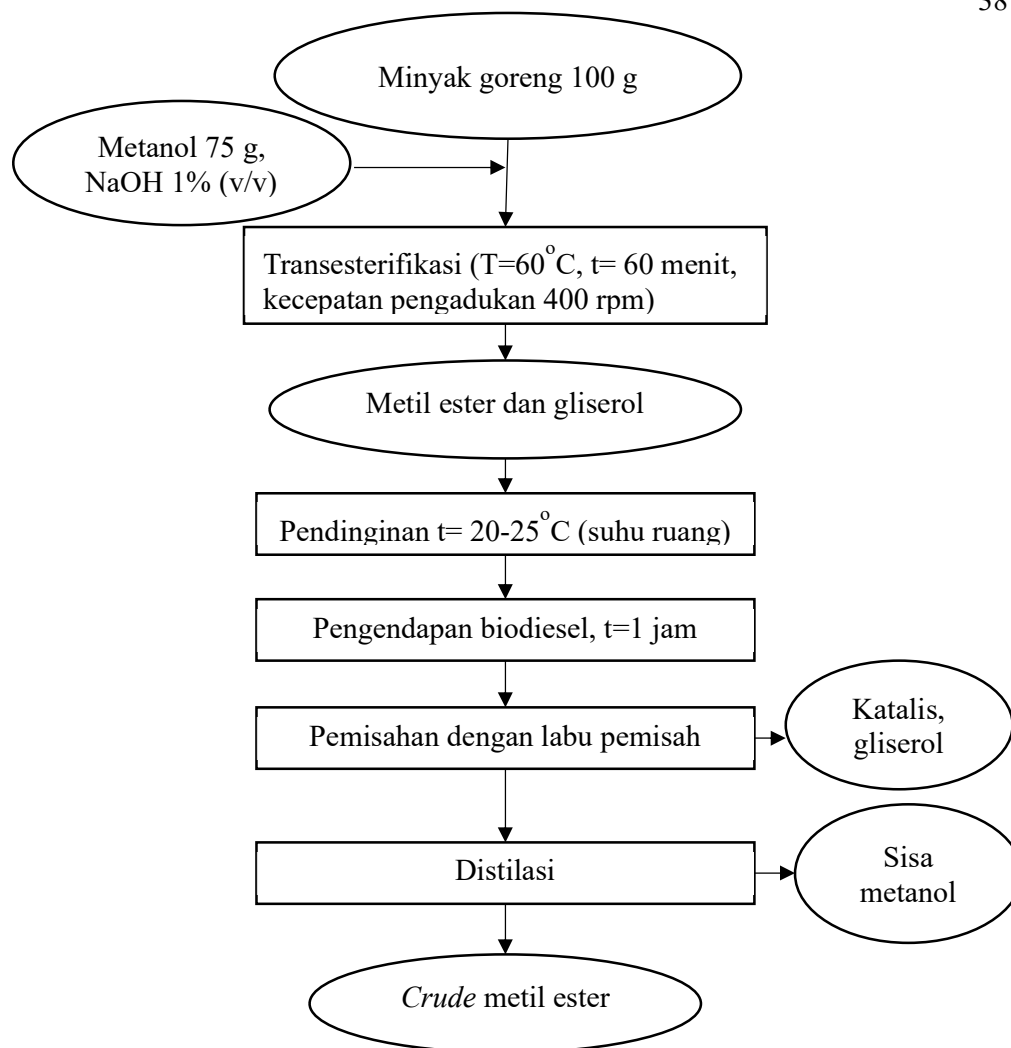
2. Senyawa asam

Adsorben (bentonit atau serbuk kayu gergaji) mula-mula disiapkan sebanyak 30 gram. Selanjutnya adsorben dengan nisbah 1:10 diaktivasi menggunakan senyawa asam H_2SO_4 1,5 M atau HCl 1,5 M. Campuran keduanya diaduk dengan $70\text{-}90^\circ\text{C}$, kecepatan 200 rpm selama 2 jam. Selanjutnya adsorben dicuci menggunakan akuades dan dipisahkan dari filtratnya bila mencapai pH netral.

Adsorben kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 3 jam. Setelah itu, adsorben didinginkan dalam desikator untuk adsorben.

3.4.2. Proses Transesterifikasi

Proses transesterifikasi adalah reaksi antara trigliserida dengan alkohol untuk menghasilkan biodiesel. Proses ini dibantu dengan katalis basa NaOH 1% terhadap minyak. Proses transesterifikasi dilakukan dengan menggunakan suhu 60°C selama 60 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 *crude* metil ester dan fasa bawah adalah katalis dan gliserol. Fasa bawah dipisahkan dengan dikeluarkan menggunakan labu pemisah sehingga didapatkan *crude* metil ester. Selanjutnya, *crude* metil ester dipisahkan dari metanol yang tidak ikut bereaksi secara distilasi sehingga metanol yang tidak bereaksi dalam metil ester dapat dikurangi. Proses transesterifikasi disajikan pada Gambar 2.

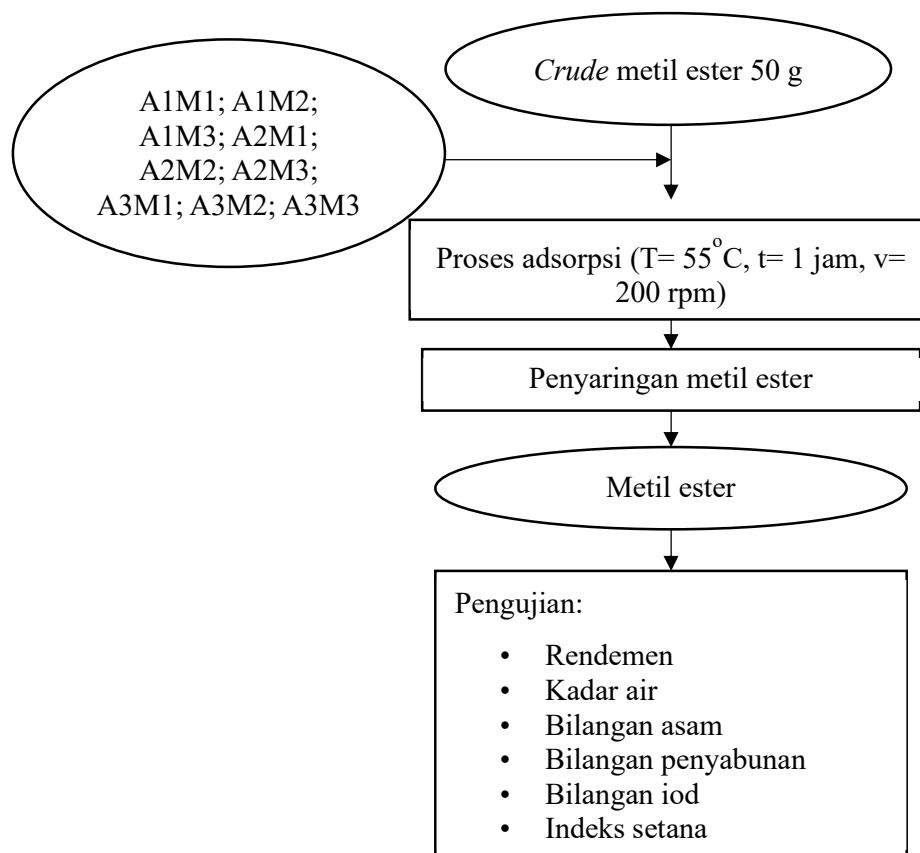


Gambar 2. Diagram alir proses transesterifikasi
Sumber: Mardawati *et al.* (2019) dengan modifikasi

3.4.3. Proses Pemurnian Biodiesel

Proses pemurnian biodiesel merupakan proses lanjutan untuk mendapatkan biodiesel murni yang terbebas dari kontaminan. Bahan yang digunakan adalah *crude* metil ester yang berasal dari proses sebelumnya, yaitu transesterifikasi. Variabel tetap pada penelitian ini adalah konsentrasi adsorben, suhu, waktu, dan kecepatan pengadukan, sementara variabel bebas penelitian berupa jenis adsorben dan metode aktivasi terhadap *crude* metil ester. Proses adsorpsi dilakukan menimbang *crude* metil ester sebanyak 50 g, kemudian ditambahkan adsorben

sesuai perlakuan (bentonit atau serbuk kayu gergaji atau bentonit dengan serbuk kayu gergaji) sebanyak 6%. Adsorpsi akan berjalan dengan kecepatan pengadukan 200 rpm dengan suhu 55°C selama 1 jam. Setelah itu, dilakukan pemisahan metil ester dengan adsorben menggunakan kertas saring. Metil ester yang diperoleh diuji dengan mengamati rendemen, kadar asam lemak bebas, kadar air, bilangan asam, bilangan penyabunan, bilangan iod, dan indeks setana.



Gambar 3. Diagram alir pemurnian metode *dry washing*

Sumber: Azis *et al.* (2023) dengan modifikasi

Keterangan:

A1M1= Bentonit diaktivasi H₂SO₄

A1M2= Bentonit diaktivasi HCl

A1M3= Bentonit diaktivasi tanpa asam

A2M1= Serbuk Kayu Gergaji diaktivasi H₂SO₄

A2M2= Serbuk Kayu Gergaji diaktivasi HCl

A2M3= Serbuk Kayu Gergaji diaktivasi tanpa asam

A3M1= Campuran Bentonit dan Serbuk Kayu Gergaji diaktivasi H₂SO₄

A3M2= Campuran Bentonit dan Serbuk Kayu Gergaji diaktivasi HCl

A3M3= Campuran Bentonit dan Serbuk Kayu Gergaji diaktivasi tanpa asam

3.5. Variabel Pengamatan

3.5.1. Rendemen Biodiesel

Rendemen biodiesel merupakan perbandingan antara perolehan berat *metil ester* (biodiesel) dengan berat *crude metil ester* (biodiesel kotor). Perhitungan untuk mendapatkan rendemen biodiesel menggunakan persamaan berikut (Suryani *et al.*, 2014).

$$\text{Rendemen} = \frac{W \text{ biodiesel}}{W \text{ biodiesel kotor}} \times 100\%$$

Keterangan :

W biodiesel = berat biodiesel setelah pemurnian (g)

W biodiesel kotor = berat biodiesel sebelum pemurnian(g)

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 g 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

Penentuan bilangan asam biodiesel mengikuti Sulastri (2011) melalui proses titrimetri. Metode ini bersifat alkalimetri, yaitu mentitrasi senyawa asam dengan senyawa basa. Bilangan asam diartikan sebagai jumlah miligram KOH yang diperlukan untuk menetralkan asam lemak bebas dalam 1 g per sampel. Prosedur diawali dengan menyiapkan sampel biodiesel sebanyak 1 g dalam Erlenmeyer 250 mL. Sampel ditambahkan etanol 96% netral yang telah dihangatkan, ditetesi indikator phenolphthalein (PP) 1% sebanyak 3-5 tetes, dan dihomogenkan hingga sampel larut. Titrasi dilakukan menggunakan titran KOH 0,1 N hingga terbentuk warna merah muda selama 30 detik. Perhitungan bilangan dilakukan dengan persamaan berikut:

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

Keterangan:

V = volume/mL KOH yang dibutuhkan untuk menitrasi sampel (mL)

N = normalitas KOH hasil standarisasi (N)

56,1 = berat ekivalen KOH

W = bobot sampel (gram)

3.5.4. Bilangan Iodium

Bilangan iodium merupakan ukuran empiris yang menyatakan banyaknya ikatan rangkap dua di dalam asam-asam lemak penyusun biodiesel. Penentuan bilangan iodium mengacu pada Sulastri (2011). Prosedur diawali dengan menyiapkan 0,5 gram biodiesel dalam labu erlenmeyer 250 mL. Selanjutnya tambahkan 10 mL kloroform dan 25 mL larutan Wijs, tutup erlenmeyer, homogenkan, dan simpan di tempat gelap selama 30 menit dengan suhu $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Setelah sampel dikeluarkan dari tempat penyimpanan, tambahkan 10 mL larutan KI 15%. Selanjutnya titrasi dengan larutan titar $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N hingga warna kuning pucat. Kemudian tambahkan 3-5 tetes indikator kanji (amilum) dan titrasi kembali sampai warna biru menghilang. Penentuan blangko menggunakan prosedur yang sama tanpa penambahan sampel. Penentuan bilangan iodium ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\text{Bilangan Iodium } \left(\frac{\text{gI}_2}{100\text{g}} \right) = \frac{12,69(V_b - V_s)N}{W}$$

Keterangan:

12,69 = berat ekuivalen iod/10

1/10 = Faktor konversi agar satuan menjadi g iod/100 g minyak

V_b = Volume titrasi blanko (mL)

V_s = Volume titrasi sampel (mL)

N = Konsentrasi larutan titar hasil standarisasi (N)

W = Bobot sampel (g)

3.5.5. Bilangan Penyabunan

Bilangan penyabunan merupakan banyak milligram KOH yang dibutuhkan untuk menyabunkan 1 g tiap sampel. Penentuan bilangan penyabunan mengacu pada Sulastri (2011). Prosedur kerja diawali dengan menyiapkan 1 gram biodiesel ke dalam Erlenmeyer 250 mL, lalu ditambahkan 12,5 mL larutan KOH-alkoholis 0,5 N. Sambungkan labu Erlenmeyer ke kondensor berpendingin udara dan dididihkan selama 30 menit atau hingga semua sampel minyak tersabunkan (tidak terlihat butiran minyak, jernih, dan homogen). Selanjutnya pisahkan labu dari kondensor dan tambahkan 3-5 tetes indikator fenolftalein 1%. Titrasi dilakukan dengan larutan titar HCL 0,5 N hingga warna merah jambu menghilang dan catat penggunaan titar. Penentuan blanko menggunakan prosedur yang sama tanpa menggunakan sampel minyak. Penentuan bilangan penyabunan dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Bilangan Penyabunan} = \frac{56,1(V_b - V_s) N}{W}$$

Keterangan:

56,1 = berat molekul KOH

V_b = volume titar yang digunakan pada blanko (mL)

V_s = volume titar yang digunakan pada sampel (mL)

N = konsentrasi titar hasil standarisasi (N)

W = bobot sampel (g)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis adsorben berpengaruh nyata terhadap rendemen, bilangan asam dan bilangan iodium pemurnian biodiesel secara *dry washing*. Namun, jenis adsorben berpengaruh tidak nyata terhadap kadar air, bilangan asam, bilangan penyabunan, dan indeks setana pemurnian biodiesel secara *dry washing*.
2. Metode aktivasi berpengaruh nyata terhadap rendemen, bilangan asam, dan bilangan iodium pemurnian biodiesel secara *dry washing*. Namun, metode aktivasi berpengaruh tidak nyata terhadap rendemen, kadar air, bilangan penyabunan, dan indeks setana pemurnian biodiesel secara *dry washing*.
3. Interaksi antara jenis adsorben dengan metode aktivasi berpengaruh nyata terhadap rendemen, bilangan asam, dan bilangan iodium pemurnian biodiesel secara *dry washing*. Namun, interaksi tersebut berpengaruh tidak nyata terhadap kadar air, bilangan penyabunan, dan indeks setana pemurnian biodiesel secara *dry washing*.
4. Kombinasi jenis adsorben dan metode aktivasi terbaik pada proses pemurnian biodiesel secara *dry washing* adalah adsorben bentonit diaktivasi tanpa asam (A1M3) yang menghasilkan rendemen 81,72%, bilangan asam 0,97 mgKOH/g

biodiesel, kadar air 0,61%, bilangan penyabunan 242,17 mgKOH/g, bilangan iodium 6,91 gI₂/100 g, dan indeks setana 67,41 biodiesel.

5.2. Saran

Saran dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai konsentrasi adsorben yang tepat untuk pemurnian biodiesel secara *dry washing* supaya diperoleh efisiensi pemurnian yang berorientasi pada kualitas dan kuantitas biodiesel
2. Perlu mengkaji lebih lanjut mengenai teknis pencucian adsorben setelah diaktivasi supaya diperoleh adsorben yang terbebas dari residu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abed, K.A., El Morsi, A.K., Sayed, M.M., Shaib, A.A.E., Gad, M.S. 2018. Effect of waste cooking-oil biodiesel on performance and exhaust emissions of a diesel engine. *Egypt. J. Pet.*, 27: 985–989.
- Ahmad Farid, M.A., Hasan, M.A., Taufiq-Yap, Y.H., Shirai, Y., Hasan, M.Y., Zakaria, M.R. 2017. Waterless purification using oil palm biomas-derived bioadsorbent improved the quality of biodiesel from waste cooking oil. *J. Clean. Prod.*, 165: 262-272.
- Alviany, R. Novita, D., Pratama, R.A., Tarmidzi, F.M. 2023. Pemanfaatan *fly ash* sebagai adsorben dalam pemurnian crude glycerol dari hasil produk samping biodiesel. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(2): 5668 – 5874.
- Al-Zahrani, A.A., Al-Shahrani, S.S., Al-Tawil, Y.A. 2001b. Study on the activation of Saudi natural bentonite, part I: kinetics of the sulfuric acid activation process. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 13: 57-71.
- Ambarita, M.T.D. 2002. Biodiesel: Produksi dan Karakteristik. *Jurnal Teknik Kimia*, 14(1), 1-8
- Arenas, E., Villafán-Cáceres, S.M., Rodríguez-Mejía, Y., García-Loyola, J.A., Masera, O., Sandoval, G. 2021. Biodiesel dry purification using unconventional bioadsorbents. *Processes*, 9(194): 1-12.
- Arifin, Y.F., Utami, U.B.L., Schanz, T. 2015. Physico-Hydro-Mechanical properties of a commercial bentonite in Indonesia. *Procceding QIR*, 23-28.
- Assawasaengrat, P., Jintanavasan, P., dan Kitchaiya, P. 2015. Adsoption of FFA, soap and glycerine in biodiesel using magnesium silicate. *Chhemical Engineering Transactions*, 43: 1135:1140
- ASTM. 2020. Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels. In *ASTM D6751-20*; American Society for Testing and Materials: West Conshohocken, PA, USA.

- Atadashi, I.M. 2015. Purification of Crude Biodiesel Using *Dry washing* and Membrane Technologies. *Alexandria Engineering Journal*, 54(4): 1265-1272.
- Atkins, P.W. 1999. *Kimia Fisika Jilid II*. Erlangga, Jakarta. 275 hlm.
- Azis, H.A., Mustam, M., Ramdani, N., Amin, I.I., Sari, N., Gregorius, G. 2023. Penggunaan adsorben bentonite pada proses pencucian kering dalam pemurnian biodiesel minyak jelantah. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 12(2):108-115.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). 2016. *Indonesia Energy Outlook 2016*. Sekretariat Jendral DEN. Jakarta. 26 hlm.
- Bashir, M.A., Thiri, M., Yang, X., Yang, Y., Safdar, A.M. 2018. Purification of biodiesel via pre-washing of transesterified waste oil to produce less contaminated wastewater. *J. Clean. Prod.*, 180: 466–471.
- Efendi, R., Faiz, H. A. N., Firdaus, E.R. 2018. Pembuatan biodiesel minyak jelantah menggunakan metode esterifikasitransesterifikasi berdasarkan jumlah pemakaian minyak jelantah. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 402-409.
- Fitri, R.F., Edward, Daud, S. 2021. Pengaruh kecepatan pengadukan dan ukuran partikel adsorben tanah gambut dalam penyisihan zat organik, besi (Fe) dan pH pada air gambut. *JOM FTEKNIK*, 8(2): 1-7.
- Gupta, G.K, Gupta, P.K., Mondal, M.K. 2019. Experimental process parameters optimization and in-depth product characterizations for teak sawdust pyrolysis. *Waste Manag*, 87, 499–511.
- Hussein, S.N.C.M., Othman, N.H., Dollah, A., Rahim, A.N.C.A., Japperi, N.S., Ramakrishnan, N.S.M.A. 2018. *Study of Acid Treated Mixed Sawdust as Natural Oil Sorbent for Oil Spill*. Prosiding. Universitas Teknologi Mara. Selangor Darul Ehsan, Malaysia. 8 hlm.
- Ifa, L., Nardjannah, Syarif, T., Darnengsih. 2021. *Bioadsorben dan Aplikasinya*. Yayasan Pendidikan Cendekia Muslim: Solok, Sumatera Barat. 251 hlm.
- Indrayati, P., Kasmiyatun, M., Firyanto, R. 2022. Pembuatan biodiesel dari dedak padi dengan metode esterifikasi *in-situ*. *Journal of Chemical Engineering*, 3(1): 8-13.
- Jariah, N.F., Hasan, M.A., Taufiq-Yap, 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.

- Jatraraga, B.A., Atmadja, L.K., Anggorowati, D.A., dan Setyawati, H. 2015. Pengaruh massa magnesium silikat (magnesol) dan waktu operasi pada proses pemurnian biodiesel. *Konversi*, 4(1): 1-5.
- Jauhari, M.F., Maryati, R., Khairani. 2018. Analisa perbandingan kualitas biodiesel dari minyak jelantah berdasarkan perbedaan penggunaan jenis reaktor. *Jurnal INTEKNA*, 18(1): 1-66.
- Krisnangkura, K. 1986. A simple method for estimation of cetane index of vegetable oil methyl esters. *Journal of the America Oil Chemists' Society*, 63(2): 562-563.
- Lempang, I.R., Fatimawali, dan Pelealu, N.C. 2016. Uji kualitas minyak goreng curah dan minyak goreng dalam kemasan di manado. *Pharmakon*, 5(4): 155-161.
- Lin C-Y., dan Ma, L. 2021. Karakteristik fluida biodiesel yang dihasilkan dari minyak kelapa sawit dengan berbaai kadar air awal. *Proses*, 9(309): 1-11.
- Mardawati, E., Hidayat, M.S., Rahmah, D.M., 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.
- Marwaha, A., Rosha, P., Mohapatra, S.K., Mahla, S.K., Dhir, A. 2018. Waste materials as potential catalysts for biodiesel production: Current state and future scope. *Fuel Process Technol*, 18: 175–186.
- Martin, M., Anwar, S., dan Zein, N. 2020. Analisa perbandingan bahan bakar solar dengan biodiesel b-20 minyak kelapa sawit terhadap *performance engine Komatsu SAA12V140E-3*. *Jurnal Baut dan Manufaktur*, 2(2): 48-56.
- M'Hamdi, A.I.; Kandri, N.I.; Zerouale, A.; Blumberga, D.; Gusca, J. 2015. Treatment and Physicochemical Characterisation of Red Wood Sawdust. *Energy Procedia*, 95: 546–550.
- Monde, J., Kumalasari, P.I., Aryani, D., Lutfi, M., Alfandy, A. 2022. Pengaruh katalis $\text{Si}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ terhadap karakteristik bioidiesel dari minyak jelantah. *Jurnal Chemurgy*, 6(2): 80 -85
- Murti, S.D.S. 2017. Studi karakterisasi pencampuran biodiesel dengan minyak solar. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 13(1): 1-6.
- Nasrun, D., Samangun, T., Iskandar, T., Ma'sum, Z. 2017. Pemurnian minyak jelantah menggunakan arang aktif dari sekam padi. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 1(2): 1-7.

- Ningsih, E., dan Suparto. 2017. Karakteristik biodiesel dengan menggunakan etanol konsentrasi rendah. *Jurnal of Research and Technology*, 3(1): 70-76.
- Nuryanto, E. 2015. Perkembangan buah kelapa sawit dan kandungan serta komposisi kimianya. *Warta PPKS*, 20(1):33-40.
- Norvia, S., Suhartana, Pardoyo. 2016. Dealuminasi zeolite alam menggunakan asam (HCl dan H₂SO₄) untuk katalis pada proses sintesis biodiesel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 19(2): 72-76.
- 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.
- Oktaviani, S.L., dan Indriyanti, N.Y. 2022. Adsorption of lead (Pb) in batik industrial wastewater using cellulose-based adsorbent: a literature review. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 7(1): 98-110.
- Ostojc'ic, M., Brki'c, S., Tišma, M., Zeli'c, B., Budžaki, S. 2020. Membrane filtration as an environmentally friendly method for crude biodiesel purification. *Kemija u Industriji*, 69:175–181.
- Oyewo, O.A.; Mutesse, B.; Leswif, T.Y.; Onyango, M.S. 2019. Highly efficient removal of nickel and cadmium from water using sawdust-derived cellulose nanocrystals. *J. Environ. Chem. Eng.*, 7(103251).
- Panjaitan, Suminar H. (2021). *Studi Eksperimen Pengaruh Penyimpanan Bahan Bakar Campuran Biodiesel Terhadap Sifat Bahan Bakar, Performa, Uji Ketahanan, Dan Emisi Mesin Diesel*. Undergraduate Thesis. Institut Teknologi Sepuluh November. 72 hlm.
- Putra, G.M. 2024. *Analisis Sifat Higroskopis – Solar Melalui Pengukuran Kurva Saturasi dan Laju Adsorpsi Kandungan Air dengan Variasi Kelembapan*. Skripsi. Universitas Pakuan. 76 hlm.
- Rapo, E., dan Tonk, S. 2021. Factors affecting synthetic dye adsorption; desorption studies: a review of results from the last five years (2017-2021). *Molecules*, 26 (5419): 1-31.
- Ramadhas, A.S., Jayaraj, S., Muraleedharan, C. 2005. Biodiesel Production from High FFA Rubber Seed Oil. *Fuel* 84. 335-340.
- Ritonga, F.Y., Hasmita, I., Kasturi, Sartika, Z., Saisa. 2021. Pengaruh waktu kontak dan ukuran adsorben pada pemurnian minyak goreng bekas menggunakan cangkang kerrang sebagai bahan baku biodiesel. *Jurnal Teksago*, 2(3): 1-11.

- Rudiyanto, B., Adrianto, M., Susmiati, Y., Pambudi, N.A., Riyanto. 2018. Optimazation and validation of hydrated Magseium Silicate on *dry washing* purification biodiesel using response surface methodology. *Energy Procedia*, 158: 333-338.
- Sandouqa, A., Al-Shannag, M., Al-Hamamre, Z. 2020. Biodiesel purification using biomass-based adsorbent manufactured from delignified olive cake residues. *Renew. Energy*, 151: 103–117.
- Sembiring, M.T. dan Sinaga, T. S. 2003. *Arang Aktif (Pengenalalan dan Proses Pembuatan)*. USU Digital Library. Sumatera Utara. 9 hlm.
- Singh, J., Mishra, N.S., Uma, Banerjee, S., Sharma, Y.C. 2011. Comparative studies of physical characteristics of raw and modified sawdust for their use as adsorbents for removal of acid dye. *BioResources*, 6(3): 2732-2743.
- Sujadi, Hasibuan, H.A., Rivani, M. 2017. Karakterisasi minyak selama pematangan buah pada tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) varietas DX P Simalungun. *J. Pen. Kelapa Sawit*, 25(2): 59-70.
- Suriaini, N., Febriana, T.T., Yulanda, A., Adisalamun, A., Syamsuddin, Y., dan Supardan, M.D. 2019. Purification of biodiesel from waste cooking oil using bentonite as *dry washing* agent. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 14(2):155-162.
- Standar Nasional Indonesia. 2015. *Biodiesel SNI 7182:2015*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta. 88 hlm.
- Standar Nasional Indonesia. 2022. *Mutu dan Metode Uji Minyak Nabati Murni untuk Bahan Bakar Motor Diesel Putaran Sedang SNI 7431:2022*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta. 36 hlm.
- Tiffany, M.H., Samang A.M.B., Islamiyah, S.A. 2023. Potensi polisakarida (selulosa, lignin, pektin) sebagai bahan baku alternatif bio-based surfaktan polimerik. *Jurnal Informasi, Sains, dan Teknologi*, 6(1): 78-89.
- Wibisono, H.S., Jasni, Arsyad, W.O.M. 2018. Komposisi kimia dan keawetan alami delapan jenis kayu di bawah naungan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 36(1): 59-65.
- Yulanda, A., Wahyuni, L., Safitri, R., Bakar, A., Supardan, M.D. 2018. Pemanfaatan bentonit sebagai penyerap air pada proses transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel. *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*, 10(2): 14-19.

- Yunsari, A., Husnaini, Rusdianasari. 2019. Effect of variation of catalyst concentration in the producing of biodiesel from crude palm oil using induction heater. *Asian Journal of Applied Research and Community Development and Empowerment*. 3(1): 24-27.
- Zuliyama, Rahmanipu, Mulyana, W.O. 2023. Deskripsi kualitas minyak goreng hasil pemanasan. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 12(1): 57-63.