

PEMAKAIAN AI		
Tools	:	
Prompt	:	<ol style="list-style-type: none"> 1) Berikan saya jurnal yang membahas tentang proses kalsinasi dan proses terjadinya kalsinasi seperti apa saja. 2) Pada penelitian saya yield rendah, kenapa terjadi yield rendah pada saat katalis meningkat, dan berikan saya jurnal yang membahas tentang penurunan yield biodiesel akibat peningkatan konsentrasi katalis. 3) Apa hubungan nilai yield yang dihasilkan dengan luas permukaan katalis dan rasio mol saya. 4) Mana yang lebih dominan yang terjadi antara reaksi saponifikasi atau reaksi balik pada penelitian saya yang lebih berpengaruh menurunkan yield. 5) Jelaskan tabel BNT dari analisis densitas saya dan kenapa densitas tidak stabil, serta berikan saya jurnal yang membahas tentang densitas. 6) Jelaskan tabel BNT analisis ALB saya. Kenapa terjadi penurunan alb pada saat katalis meningkat.berikan saya jurnal yang membahas tentang penurunan alb tersebut. 7) Hubungan sejauh mana pengaruh dari kandungan kadar air setelah transesterifikasi meningkatkan ALB pada penelitian saya 8) Jelaskan tentang tabel uji BNT viskositas saya. Kenapa tidak stabil apa penyebab dan berikan saya jurnal yang membahas tentang ketidakstabilan dari viskositas ini. 9) Kenapa kadar air tidak kseusai SNI dan apa penyebab dari ketidasesuain itu. Berikan saya jurnal yang membahas tentang proses pencucian dari biodiesel. 10) Jelaskan tabel korelasi antr Yield dan ALB dari penelitian saya. 11) Berdasarkan tabel apakah luas permukaan sudah layak digunakan pada reaksi transesterifikasi apabila dibandingkan dengan katalis heterogen lainnya. 12) Berikan penjelasan tentang hasil UJI BET dari katalis heterogen yang saya kalsinasi dan berikan saya jurnal tentang penggunaan katalis heterogen pada pembuatan biodiesel 13) Bagaiman performa dari katalis itu sendiri terhadap yield dan metil ester yang dihasilkan. 14) Jelaskan hasil uji analisis GCMS dari biodiesel. 15) Apa penyebab metil ester belum memnuhi standard. 16) Berikan saya jurnal yang membahas tentang penggunaan katalis dan hasil GCMS nya.
Capture prompt	:	

SKRIPSI
PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH DENGAN
MEMANFAATKAN KATALIS HETEROGEN DARI BONGGOL JAGUNG
YANG DIKALSINASI



Diusulkan Oleh :

HODDI SINAGA

22/23826/THP/STIBET

SARJANA TEKNOLOGI INDUSTRI ENERGI BARU TERBARUKAN
JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN STIPER
YOGYAKARTA
2026

SKRIPSI
PRODUKSI BODIESEL DARI MINYAK JELANTAH DENGAN
MEMANFAATKAN KATALIS HETEROGEN DARI BONGGOL JAGUNG
YANG DIKALSINASI



SARJANA TEKNOLOGI INDUSTRI ENERGI BARU TERBARUKAN
JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN STIPER
YOGYAKARTA
2026

HALAMAN PENGESAHAN

**PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH DENGAN
MEMANFAATKAN KATALIS HETEROGEN DARI BONGGOL JAGUNG
YANG DIKALSINASI**

Dibuat Oleh :

HODDI SINAGA

22/23826/TIP/STIBET

Telah diperlihatkan dihadapan Dosen Penguji pada tanggal 5 maret 2026. Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan yang di perlukan untuk memperoleh gelar derajat Sarjana satu (S1) pada Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Sepur Yogyakarta

Yogyakarta, 5 Maret 2026

Menyetujui,

Dosen Pembimbing

Dekan Fakultas Teknologi Pertanian



(M. Prasanto Himantyo, S.T., M.Eng)



(Dr. Ngastirah, S.T., M.P., IPM)

Dosen Penguji



(Dr. Ir. Adi Ruswanto, MP)

KATA PENGANTAR

Dengan penuh rasa syukur dan terima kasih, penyusun memanjatkan puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya yang melimpah, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini. Pada kesempatan yang berbahagia ini, penyusun juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus dan mendalam kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, serta bantuan dalam proses penyusunan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati, penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus yang telah melimpahkan karunia-Nya, sehingga penyusun diberikan kesehatan, keberkahan dan kelancaran dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini.
2. Kepada kedua orangtua tercinta saya Bapak Jalabe Sinaga dan Ibu Raijon Simanihuruk, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya atas semua dukungan, doa, dan pengorbanan yang selalu diberikan kepada penulis tanpa henti mulai dari kecil hingga skripsi ini dapat diselesaikan oleh penulis. Semangat dan perhatian yang diberikan menjadi motivasi terbesar penulis dalam menyelesaikan dan menghadapi tantangan penulisan skripsi ini. Karya ini penulis persembahkan atas pengorbanan dan cinta yang selalu diberikan kepada kedua orangtua saya. Semoga Tuhan selalu memberkati dan memberikan umur panjang untuk kedua kesayangan saya. Tanpa dukungan dan doa dari orang tua, skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan dengan baik.
3. Dr. Ir. Harsawardana, M.Eng selaku Rektor Institut Pertanian Stiper Yogyakarta.
4. Dr. Ngatirah, S.P., M.P., IPM selaku Dekan Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Stiper Yogyakarta.
5. Reza Widyasaputra, S.TP., M.Si selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
6. M. Prasanto Bimantio, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu, membimbing dan mengarahkan penyusun dalam berbagai kegiatan akademik termasuk dalam penelitian dan menyelesaikan skripsi.
7. Dr. Ir. Adi Ruswanto, M.P., IPM selaku dosen penguji yang telah membimbing dan mengarahkan penyusun dalam menyelesaikan skripsi.
8. Seluruh dosen Fakultas Teknologi Pertanian, jurusan Teknologi Hasil Pertanian khususnya yang telah membekali ilmu pengetahuan kepada penyusun.

9. Seluruh staff dan karyawan Fakultas Teknologi Pertanian yang telah membantu dalam administrasi dari awal penyusunan di bangku perkuliahan.
10. Kepada abang saya Ances Sinaga dan semua saudara perempuan saya, dan semua keluarga besar OP. Pratama Sinaga yang selalu memberikan doa,dukungan dan semangat selama perkuliahan hingga skripsi ini selesai. Terimakasih sudah selalu mendukung penulis hingga saat tuhan yesus memberkati.
11. Kepada Kakak Diego orang yang paling mengetahui perjalanan dan perjuangan penulis serta selalu memberikan dukungan, semangat dan nasehat kepada penulis selama melakukan proses perkuliahan di yogyakarta hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Terimakasih sudah selalu mendukung penulis hingga saat tuhan yesus memberkati.
12. Kepada seluruh teman-teman Parminum, Parsamosir Yogyakarta, Kelas STIBET, keluarga prodi THP angkatan 22 dan seluruh teman teman penulis yang telah berkontribusi dalam perkuliahan, keseharian dan penyusunan skripsi. Terimakasih yang sebesar-besarnya telah menjadi warna dalam kehidupan perkuliahan saya dan sebagai tempat bercerita penulis, sehat selalu semua.
13. Kepada saudari Cindy Clara Siregar, penulis mengucapkan terimakasih karena menjadi orang yang paling mengetahui tentang perjuangan penulis dalam mengerjakan skripsi ini dan menjadi tempat bercerita penulis. Pengertian dan kesabaran yang diberikan sangat berarti bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga Tuhan selalu memberkati dan melancarkan kita.
14. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada tim kesayangan BARCELONA FC yang secara tidak langsung menjadi hiburan dan penyemangat di sela-sela proses perkuliahan dan penyusunan skripsi ini. Dukungan emosional melalui pertandingan dan momen-momen yang ditampilkan membantu penulis menjaga semangat hingga skripsi ini dapat diselesaikan. *Visca Barca*.

Penyusun sangat mengharapkan masukan dan saran untuk perbaikan dimasa mendatang. Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat dan berguna bagi pengembangan dunia pengetahuan. Aamiin

Yogyakarta, 31 Maret 2026

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
INTISARI	viii
ABSTRACT	ix
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Biodiesel	6
2.2 Minyak Jelantah Sebagai Bahan Baku	8
2.4 Reaksi Transesterifikasi	11
2.4 Katalis	14
2.4.1 Katalis Homogen	15
2.4.2 Katalis Heterogen	16
2.5 Abu Bonggol Jagung Sebagai Katalis	17
2.6 Kalsinasi	20
2.7 SNI Biodiesel	22
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Alat, Bahan, Tempat, dan Waktu Penelitian	26
3.1.1 Alat	26
3.1.2 Bahan	26
3.1.3 Tempat dan Waktu penelitian	26
3.2 Rancangan Percobaan	26
3.3 Prosedur Penelitian	27
3.3.1 Preparasi Katalis	27
3.3.2 Kalsinasi Bonggol jagung	28
3.3.3 Proses Pembuatan Biodiesel	28
3.4 Analisis Data dan Digram Alir	30
3.4.1 Pembuatan Katalis	31
3.4.2 Pembuatan Biodiesel	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Yield	34
4.2 Densitas	38
4.3 Asam Lemak Bebas (ALB)	41
4.4 Visikositas	45
4.5 Kadar Air	48
4.6 Analisa BET	52
4.7 Uji GC-MS	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	58
B. Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	68

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kandungan Abu Bonggol Jagung ISSN 2477-5258.....	20
Tabel 2. SNI 7182: 2015	23
Tabel 3. Tata Letak Urutan Ekperimental	27
Tabel 4. Data Primer Analisa <i>Yield</i>	34
Tabel 5. Analisa Uji ANOVA <i>Yield</i>	35
Tabel 6. Uji BNT <i>Yield</i>	35
Tabel 7. Data Primer Analisa Densitas.....	38
Tabel 8. Analisa Uji ANOVA Densitas.....	39
Tabel 9. Uji BNT Densitas	39
Tabel 10. Data Primer Analisa ALB	40
Tabel 11. Analisa Uji ANOVA ALB	41
Tabel 12. Uji BNT ALB.....	42
Tabel 13. Data Primer Analisa Visikositas.....	45
Tabel 14. Analisa Uji ANOVA Visikositas.....	45
Tabel 15. Uji BNT Visikositas	46
Tabel 16. Data Primer Analisa Kadar Air	48
Tabel 17. Analisa Uji ANOVA Kadar Air	49
Tabel 18. Uji BNT Kadar Air.....	49
Tabel 19. Uji Kolerasi Antar Parameter	50
Tabel 20. Hasil Uji BET Katalis Bonggol Jagung.....	52
Tabel 21. Hasil Analisa GC-MS	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Biodiesel	6
Gambar 2. Minyak Jelantah.....	
Gambar 3. Mekanisme Transesterifikasi	13
Gambar 4. Sentra Produksi Jagung di Indonesia 2021	19
Gambar 5. <i>Furnace</i>	22
Gambar 6. Kromatogram GC – MS Biodiesel	55

PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH DENGAN MEMANFAATKAN KATALIS HETEROGEN DARI BONGGOL JAGUNG YANG DIKALSINASI

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi katalis heterogen berbasis bonggol jagung terkalsinasi dan waktu reaksi terhadap karakteristik biodiesel dari minyak jelantah melalui proses transesterifikasi. Metode penelitian menggunakan rancangan acak lengkap dengan 2 faktor dan 3 variabel sehingga didapatkan 18 satuan eksperimental. Parameter yang dianalisis meliputi *yield*, densitas, viskositas, kadar air, asam lemak bebas (ALB), kandungan metil ester (GC-MS), dan analisis karakteristik katalis menggunakan uji BET. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi konsentrasi katalis dan waktu reaksi tidak memberikan pengaruh nyata terhadap *yield*, densitas, viskositas, dan kadar air biodiesel. *Yield* biodiesel berada pada kisaran 45,5-53,5% dan cenderung menurun pada konsentrasi katalis serta waktu reaksi yang lebih tinggi akibat reaksi samping saponifikasi. Densitas dan viskositas telah memenuhi standar SNI, sedangkan kadar air masih berada di bawah batas atas standar. Konsentrasi katalis berpengaruh nyata terhadap nilai ALB, sementara waktu reaksi berpengaruh nyata. Nilai ALB masih memenuhi standar mutu SNI. Hasil uji GC-MS yang dilakukan menunjukkan kadar metil ester yang pada biodiesel diperkirakan sebesar $\pm 94,9\%$. Nilai kadar metil ester masih berada di bawah batas minimum standar mutu SNI. Hasil uji BET menunjukkan katalis bonggol jagung terkalsinasi memiliki luas permukaan sebesar $17,7 \text{ m}^2/\text{g}$ yang cukup mendukung reaksi transesterifikasi. Secara keseluruhan, katalis heterogen bonggol jagung berpotensi digunakan dalam produksi biodiesel, dengan kondisi reaksi optimum pada konsentrasi katalis dan waktu reaksi.

Kata Kunci: Biodiesel, Kalsinasi, Katalis, Reaksi saponifikasi, Transesterifikasi.

BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE-USED OIL USING HETEROGENEOUS CATALYST FROM CALCINATED CORN COBS

ABSTRACT

This study aims to investigate the effect of variations in the concentration of heterogeneous catalysts derived from calcined corn cobs and reaction time on the characteristics of biodiesel produced from waste cooking oil through the transesterification process. The parameters analyzed included yield, density, viscosity, moisture content, free fatty acid (FFA) value, methyl ester content determined by GC-MS, and catalyst characteristics evaluated using BET analysis. The results showed that variations in catalyst concentration and reaction time did not have a significant effect on biodiesel yield, density, viscosity, and moisture content. The biodiesel yield ranged from 45.5% to 53.5% and tended to decrease at higher catalyst concentrations and longer reaction times due to the occurrence of side reactions, particularly saponification. The density and viscosity values met the Indonesian National Standard (SNI), while the moisture content was still close to the upper limit of the standard. Catalyst concentration had a significant effect on the FFA value, whereas reaction time did not show a significant influence. The FFA values of the produced biodiesel still complied with the SNI quality standards. GC-MS analysis indicated that the methyl ester content of the biodiesel was approximately 94.9%, which is still below the minimum requirement specified by the SNI. BET analysis revealed that the calcined corn cob catalyst possessed a surface area of 17.7 m²/g, which is sufficient to support the transesterification reaction.

Keywords: Biodiesel, Calcination, Catalyst, Saponification reaction, Transesterification.

BAB I.

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi adalah salah satu kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan manusia baik untuk sektor industri, transportasi, maupun rumah tangga. Kebutuhan dunia akan energi semakin hari terus meningkat, hal ini tidak bisa dihindari seiring dengan berkembangnya dunia industri serta bertambahnya populasi manusia. Saat ini sumber utama energi yang digunakan berasal dari minyak bumi, batu bara, dan gas alam (bahan bakar fosil) yang mana sumber energi ini bersifat tak terbarukan (*unrenewable*) dan jumlahnya terbatas serta memiliki dampak negatif terhadap lingkungan, seperti emisi gas rumah kaca dan kerusakan pada lingkungan. Oleh karena itu, maka diperlukan energi alternatif yaitu energi baru terbarukan (*renewable energy*) yang lebih ramah lingkungan serta berkelanjutan, salah satunya adalah biodiesel.

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang dapat menggantikan diesel konvensional, dibuat dari minyak nabati atau lemak hewan. Bahan bakar ini bisa dicampur dengan solar biasa untuk digunakan. Biodiesel mudah digunakan, ramah lingkungan karena dapat terurai secara alami, tidak beracun, serta bebas dari sulfur dan senyawa aromatik. Selain itu, biodiesel memiliki titik nyala yang lebih tinggi dibandingkan solar biasa, sehingga lebih aman dalam penyimpanan dan penggunaan. Biodiesel merupakan sumber energi terbarukan yang berasal dari ester asam lemak minyak nabati, seperti minyak kelapa sawit, minyak kelapa, minyak jarak, minyak biji kapuk, dan lainnya. Bahkan, ada lebih dari 30 jenis tanaman di Indonesia yang berpotensi untuk diolah menjadi biodiesel, menjadikannya pilihan bahan bakar yang berkelanjutan dan ramah lingkungan Darmawan and Susila

(2013). Salah satu yang dapat dimanfaatkan pada pembuatan biodiesel adalah minyak goreng bekas.

Minyak jelantah adalah limbah yang mengandung senyawa karsinogenik yang terbentuk selama proses penggorengan. Penggunaan minyak jelantah secara terus-menerus dapat menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan manusia, seperti meningkatkan risiko penyakit kanker. Berdasarkan data dari BPS (2019) menunjukkan bahwa pada tahun 2018, konsumsi minyak goreng sawit mencapai 10,79 liter per kapita per tahun. Prediksi untuk tahun 2019 dan 2020 juga menunjukkan peningkatan, yaitu masing-masing sebesar 11,09 liter per kapita per tahun (2019) dan 11,38 liter per kapita per tahun 2020. Pada hari ini minyak jelantah yang kebanyakan dibuang begitu saja ke lingkungan, Namun pemanfaatan minyak goreng saat ini dapat diolah menjadi beberapa produk seperti sabun, lilin, pupuk cair, pakan ternak, dan pastinya biodiesel. Alasan mengapa minyak jelantah dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku pembuatan biodiesel karena selain mengandung asam lemak bebas, minyak jelantah juga mengandung trigliserida. (Hadrach, Kasman, and Sari 2018).

Namun, produksi biodiesel dari minyak jelantah menghadapi beberapa tantangan pada prosesnya. Kandungan Asam Lemak bebas (*Free Acid/FFA*) yang tinggi yang terdapat pada minyak jelantah dan adanya pengotor yang dapat menghambat proses transesterifikasi. Oleh karena kandungan-kandungan tersebut maka penggunaan katalis yang efektif menjadi faktor penting dalam meningkatkan efisiensi reaksi transesterifikasi tersebut.

Proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati biasanya melibatkan reaksi transesterifikasi antara minyak dan alkohol dengan bantuan katalis homogen.

Namun, katalis homogen memiliki beberapa kekurangan, seperti pembentukan sabun sebagai produk samping yang mengurangi hasil biodiesel, kesulitan dalam memisahkan biodiesel dari katalis, serta sifat korosif dan limbahnya yang berpotensi mencemari lingkungan. Untuk mengatasi masalah ini, katalis heterogen (padat) mulai dikembangkan sebagai pengganti katalis homogen. Penggunaan katalis heterogen dalam reaksi esterifikasi atau transesterifikasi dengan alkohol memudahkan pemisahan katalis dari campuran reaksi dan memungkinkan katalis untuk digunakan kembali. Salah satu alternatif katalis heterogen adalah katalis dari bonggol jagung, yang memiliki energi aktivasi tinggi sehingga mudah bereaksi, biaya relatif murah, tidak korosif, dan ramah lingkungan.

Alternatif yang lebih efisien daripada katalis konvensional dapat diperoleh dari abu tongkol jagung (CCA). Tongkol jagung merupakan limbah pertanian yang tersedia dalam jumlah besar dan mudah diperoleh. Analisis menunjukkan bahwa abu dari pembakaran tongkol jagung mengandung jumlah kalium yang signifikan, yaitu sekitar $7,26 \text{ mg g}^{-1}$ dalam bentuk K_2CO_3 dan 4,23% dalam bentuk K_2O (Adu, 2020). Hingga saat ini, tinjauan literatur belum menemukan studi yang mengkaji potensi penggunaan abu tongkol jagung sebagai sumber katalis basa dalam sintesis biodiesel. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan abu tongkol jagung sebagai alternatif katalis basa yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Abu tersebut akan dilarutkan dalam medium alkali sehingga dapat berfungsi sebagai katalis dalam reaksi transesterifikasi pada proses produksi biodiesel. Melalui proses kalsinasi pada bonggol jagung, diharapkan abu bonggol jagung menghasilkan katalis yang aktif dan stabil untuk mempercepat reaksi transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel.

Pada proses reaksi transesterifikasi ada beberapa faktor yang dapat diperhatikan seperti jumlah massa katalis, variasi waktu reaksi transesterifikasi, suhu reaksi, dan rasio mol methanol. Namun pada penelitian ini menggunakan variasi jumlah massa katalis dan waktu reaksi. Berdasarkan penelitian Widiarti and Kusumastuti (2015) Variabel independen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi waktu reaksi (30, 60, 90, dan 150 menit), serta persentase SrO yang terikat pada CaO (1%, 2%, 4%, 8%, dan 16%) atau persentase berat per berat (b/b) SrO/CaO. Pada penelitian lain juga mempunyai variasi jumlah katalis heterogen yang berbeda seperti pada penelitian Kusyanto and Hasmara (2017) Transesterifikasi dilakukan pada minyak sawit dengan perbandingan massa terhadap volume minyak (10%, 15%, 20%, 25% v/b), dengan menggunakan waktu reaksi yang sama yaitu selama 2 jam.

Penelitian ini bertujuan memanfaatkan bonggol jagung yang merupakan limbah pertanian menjadi katalis heterogen dalam produksi biodiesel dari minyak jelantah. Selain itu, penelitian ini juga mengeksplorasi pengaruh dari jumlah katalis dan rasio molar methanol terhadap kualitas biodiesel yang akan dihasilkan. Dengan memanfaatkan katalis heterogen berbasis limbah dan minyak goreng yang apabila dibuang begitu saja dapat merusak lingkungan diharapkan dapat memberikan solusi berkelanjutan dalam pengolahan limbah serta mendukung transisi energi berbasis bahan bakar nabati yang lebih ramah lingkungan dan jumlah yang tidak terbatas, serta dapat meningkatkan nilai ekonomi pada pertanian.

B. Rumusan Masalah.

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah

1. Apakah massa katalis berpengaruh terhadap karakteristik biodiesel .
2. Apa pengaruh dari waktu reaksi transesterifikasi terhadap karakteristik biodiesel.
3. Apakah Biodiesel yang dihasilkan sesuai dengan standard kualitas SNI.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui pengaruh jumlah katalis terhadap karakteristik biodiesel yang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh waktu reaksi transesterifikasi terhadap karakteristik biodiesel.
3. Membandingkan kualitas biodiesel yang dihasilkan dengan standar SNI.

D. Manfaat Penelitian.

Adapun Manfaat dari penelitian ini adalah

1. Menawarkan alternatif pemanfaatan limbah minyak jelantah menjadi produk bernilai ekonomi tinggi, yaitu biodiesel.
2. Menyediakan sumber energi yang ramah lingkungan dengan menggunakan katalis berbasis bahan alami yaitu bonggol jagung, yang lebih muda dipisahkan dan dapat digunakan kembali dibandingkan katalis homogen.
3. Membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dengan menghasilkan biodiesel yang dapat digunakan sebagai energi baru terbaru.

BAB II.

TINJAUAN PUSTAKA.

2.1. Biodiesel.



Gambar 1. Biodiesel (Sita Mellia, 2025).

Biodiesel merupakan salah satu alternatif bahan bakar yang bersumber dari bahan terbarukan, seperti minyak nabati dan lemak hewani. Secara kimiawi biodiesel terdiri dari campuran metil ester dari asam lemak rantai panjang yang dihasilkan dari sumber hayati. Bahan bakar ini dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil, khususnya solar, karena memiliki sifat yang mirip dan ramah lingkungan (Efri Mardawati 2019). Menurut Ramadani (2023) Biodiesel adalah metil ester yang dapat didapatkan dari konversi minyak dari hewan dan tumbuhan dengan reaksi transesterifikasi yang pada penggunaannya yaitu sebagai bahan bakar nabati pengganti minyak solar pada mesin diesel.

Biodiesel biasanya diproduksi melalui proses kimia yang dikenal sebagai reaksi transesterifikasi atau esterifikasi. Proses ini melibatkan reaksi antara senyawa ester dan alkohol dengan bantuan katalis. Biodiesel dihasilkan dari minyak nabati yang berasal dari sumber daya alam terbarukan. Beberapa bahan baku potensial untuk pembuatan biodiesel antara lain kelapa sawit, kedelai, bunga matahari, jarak pagar, tebu, alpukat, serta berbagai jenis tumbuhan lainnya. Tidak hanya minyak nabati,

bahan baku biodiesel juga dapat dihasilkan dari lemak hewan, lemak bekas, atau lemak daur ulang. Semua jenis bahan baku pada dasarnya mengandung tiga komponen utama, yaitu trigliserida, asam lemak bebas (FFA), dan berbagai kontaminan. Dari segi struktur kimia, biodiesel merupakan senyawa ester monoalkil atau ester metil dengan rantai karbon berpanjang 12 hingga 20. Karakteristik ini merupakan perbedaan utama antara biodiesel dan bahan bakar diesel (diesel minyak bumi), yang komponen utamanya adalah senyawa hidrokarbon (Devita, Penyuluhan, and Medan 2015).

Pada awal pembuatan bahan bakar berbasis biomassa ini mempunyai sejarah ke arah ekonomi dan politis daripada teknologi. Menurut Hartono (2022), bahan bakar ini diawali adanya pengenalan mobil bertenaga bensin, dimana perusahaan mobil diwajibkan untuk menyuling minyak bumi yang merupakan bahan mentah sebagai bensin dengan tujuan mempunyai kelebihan distilat, yang mana bahan bakar tersebut lebih bagus untuk mesin diesel dan lebih murah dari minyak nabati dari segi harga. Namun, yang menjadi tantangannya adalah ketersediaan minyak bumi yang terbatas menjadi perhatian. Dengan alasan inilah adanya inovasi dari minyak nabati sebagai bahan bakar.

Biodiesel bukanlah hal baru dalam dunia kendaraan bermesin. Berdasarkan sejarah keberadaan biodiesel telah mencapai hingga lebih dari dua abad. Tahun 1853 ekstraksi minyak nabati pertama kali dilakukan oleh ilmuwan E. Duffy dan J. Patrick, jauh sebelum mesin diesel pertama berhasil dioperasikan. Mesin diesel pertama, yang dirancang oleh Rudolf Diesel, berhasil bekerja untuk pertama kalinya di Augsburg, Jerman, pada tanggal 10 Agustus 1893. Untuk memperingati momen bersejarah ini, setiap tanggal 10 Agustus ditetapkan sebagai Hari Biodiesel

Internasional. Rudolf Diesel kemudian mendemonstrasikan mesin ciptaannya di *World Fair* yang diselenggarakan di Paris pada tahun 1900, dan mesin tersebut berhasil memenangkan penghargaan tertinggi. Mesin ini menjadi bukti nyata dari visi Diesel, karena dapat beroperasi menggunakan minyak kacang-kacangan. Meskipun bahan bakar yang digunakan pada saat itu tidak sepenuhnya sesuai dengan definisi biodiesel modern, penemuan ini menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar berbasis nabati dalam kendaraan bermesin telah ada sejak lama. Dengan demikian, biodiesel memiliki akar sejarah yang panjang dan menjadi bagian penting dalam perkembangan teknologi mesin dan energi terbarukan (Sahbana and Fuhaid 2012).

Di Indonesia sendiri implementasi kebijakan BBN (Bahan bakar nabati) telah diterapkan oleh pemerintah Indonesia dengan mendukung riset yang lebih besar tentang biodiesel dengan cara pemberian pembiayaan. Pemerintah mempunyai komitmen jangka panjang untuk pengembangan industri biodiesel di Indonesia. Hal ini terbukti dengan berhasilnya Indonesia dalam mengimplementasikan B-20 pada tahun 2019. Sebagai lanjutan dari B-20, pemerintah kembali mengimplementasikan B-30 (Campuran 30% biodiesel) hal ini dilakukan untuk menekan ketergantungan akan impor minyak diesel (Romadhona et al. 2024)

2.2. Minyak Jelantah Sebagai Bahan Baku



Gambar 2. Minyak Jelantah (Grennia, 2025).

Minyak goreng bekas adalah limbah dapur yang diketahui mengandung senyawa karsinogenik yang terbentuk akibat pemanasan berulang selama proses penggorengan. Penggunaan minyak goreng bekas secara terus-menerus dalam jangka waktu lama dapat menimbulkan dampak kesehatan negatif, termasuk peningkatan risiko kanker. Temuan penelitian menunjukkan bahwa individu yang secara rutin memasak dan mengonsumsi makanan goreng menggunakan minyak goreng bekas memiliki risiko lebih tinggi untuk mengembangkan tekanan darah tinggi dibandingkan dengan mereka yang secara rutin mengganti minyak goreng dengan minyak segar setiap kali memasak.

Berdasarkan informasi yang didapatkan, kecenderungan masyarakat Indonesia dalam mengonsumsi makanan yang digoreng cukup tinggi, hal inilah penyebab konsumsi minyak goreng sawit tinggi. Data dari BPS (2019) menunjukkan bahwa pada tahun 2018, konsumsi minyak goreng sawit mencapai 10,79 liter per kapita per tahun. Prediksi untuk tahun 2019 dan 2020 juga menunjukkan peningkatan, yaitu masing-masing sebesar 11,09 liter per kapita per tahun (2019) dan 11,38 liter per kapita per tahun 2020 Damayanti (2020). Dengan data ini maka dipastikan banyaknya limbah dari minyak jelantah yang apabila dilakukan pembuangan secara langsung (tanpa pengolahan) selain berpotensi mencemari sumber air, limbah minyak goreng bekas juga dapat merusak struktur tanah dengan menyumbat pori-pori tanah, sehingga mengganggu pergerakan air. Oleh karena itu, solusi teknologi yang paling tepat untuk diterapkan adalah mendaur ulang limbah minyak goreng bekas agar dapat memberikan manfaat baru bagi masyarakat.

Salah satu bentuk pemanfaatan minyak jelantah yang dapat dilakukan adalah dengan mengubahnya menjadi biodiesel. Hal ini dimungkinkan karena minyak

jelantah termasuk dalam kategori minyak nabati. Pemanfaatan minyak nabati sebagai bahan baku biodiesel memiliki beberapa kelebihan, di antaranya: sumber minyak nabati mudah diperoleh, proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati relatif mudah dan cepat, serta tingkat konversi minyak nabati menjadi biodiesel yang tinggi, yaitu mencapai 95%.(Sinaga, Haryanto, and Triyono 2014).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Alamsyah dan Kalla (2017), analisis nilai peroksida pada minyak goreng bekas menunjukkan bahwa semakin sering minyak tersebut digunakan untuk menggoreng, semakin tinggi kandungan peroksidanya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai peroksida pada minyak goreng bekas yang digunakan berulang kali jauh melebihi nilai peroksida pada minyak goreng segar. Ketika minyak goreng bekas dipanaskan berulang kali pada suhu tinggi (di atas 170°C hingga 200°C), minyak tersebut mengalami berbagai perubahan pada komposisi kimianya. Salah satu perubahan yang terjadi adalah oksidasi, yang menyebabkan struktur asam lemak tak jenuh berubah dari bentuk cis menjadi bentuk trans. Selain itu, oksidasi selama pemanasan minyak goreng juga menghasilkan senyawa peroksida dan hidroperoksida, yang diklasifikasikan sebagai radikal bebas (Ketaren, 2008).

Salah satu hal yang dapat dilihat dari minyak jelantah yang telah mengalami kerusakan terlihat dari penampakan fisiknya yang kurang menarik serta cita rasa yang tidak enak (Ketaren, 2005). Beberapa proses yang terjadi pada minyak, beberapa trigliserida dalam minyak akan terurai menjadi senyawa-senyawa lain, misalnya *Free Fatty Acid* (FFA) atau asam lemak bebas (Suirta, 2009).

Minyak goreng bekas memiliki kadar asam lemak bebas (*Free Fatty Acid/FFA*) yang meningkat akibat proses pemanasan berulang-ulang. Oleh karena itu, pembuatan biodiesel dari minyak goreng bekas biasanya dilakukan melalui dua tahap proses, yaitu esterifikasi dan transesterifikasi. Menurut Julianus (2006), tahap esterifikasi diperlukan untuk mengubah asam lemak bebas (FFA) dalam minyak bekas menjadi ester, sehingga jumlah FFA tidak terlalu tinggi. Jika kandungan asam lemak bebas terlalu banyak, hal ini dapat menyebabkan pembentukan sabun dalam jumlah besar selama proses transesterifikasi, yang akhirnya mengurangi hasil produksi biodiesel (Hadrah et al. 2018).

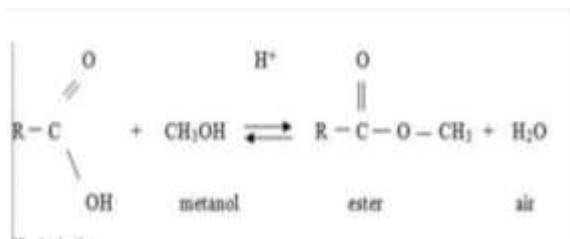
2.3. Reaksi Esterifikasi.

Reaksi esterifikasi adalah proses kimia yang melibatkan interaksi antara asam karboksilat dan alkohol yang menghasilkan senyawa ester dan air sebagai produk. Ester yang terbentuk merupakan turunan asam karboksilat dengan gugus fungsi $-COOR$, dimana R dapat berupa gugus alkil maupun aril. Pada umumnya, reaksi ini berlangsung dengan bantuan katalis asam untuk meningkatkan laju reaksi. Esterifikasi juga termasuk reaksi yang bersifat reversibel, sehingga kesetimbangan dapat tercapai antara pereaksi dan produk yang dihasilkan.

Salah satu parameter yang menentukan keberhasilan produksi biodiesel adalah kandungan asam lemak bebas atau *free fatty acid* dalam bahan baku minyak. Kandungan FFA yang tinggi dapat memicu terjadinya reaksi saponifikasi selama proses produksi biodiesel, sehingga menyebabkan penurunan pembentukan *fatty acid methyl ester* yang dihasilkan. Selain itu, pembentukan sabun akibat reaksi tersebut juga dapat menghambat proses pemisahan antara biodiesel dan gliserol.

Minyak dengan kandungan FFA lebih dari 1% cenderung menurunkan rendemen biodiesel yang diperoleh serta meningkatkan pembentukan sabun. Oleh karena itu, minyak dengan kandungan 1% tidak dianjurkan langsung diproses melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa, dalam kondisi tersebut, diperlukan tahap esterifikasi terlebih dahulu menggunakan katalis asam untuk menurunkan kadar FFA.

Penggunaan katalis asam seperti HCl atau H₂SO₄ pada proses esterifikasi dilaporkan efektif menurunkan kandungan FFA hingga dibawah 1%. Dengan demikian, tujuan utama esterifikasi adalah mengurangi kadar asam lemak bebas dalam minyak hingga mencapai nilai yang lebih rendah, umumnya dibawah 2% sehingga proses transesterifikasi selanjutnya dapat berlangsung secara optimal (Hesty, 2013).



Gambar 2. Mekanisme Reaksi Esterifikasi (Park et al., 2015).

2.4. Reaksi Transesterifikasi.

Proses reaksi antara minyak (trigliserida) dan alkohol dikenal sebagai transesterifikasi (Darnoko dan Cheryan, 2000). Secara kimia, transesterifikasi adalah reaksi yang menghasilkan senyawa ester, di mana salah satu reaktan yang digunakan juga merupakan senyawa ester. Dalam reaksi ini, molekul trigliserida

dipecah, disertai dengan transfer kelompok alkil dari satu senyawa ester ke senyawa ester lainnya. Senyawa ester yang dihasilkan dari proses transesterifikasi inilah yang kita kenal sebagai biodiesel. Dari struktur kimianya, bagian R menunjukkan gugus alkil, sedangkan R1 hingga R3 menggambarkan gugus asam lemak, yang dapat berupa rantai jenuh atau tak jenuh dengan panjang rantai yang bervariasi (Isalmi Aziz 2021).

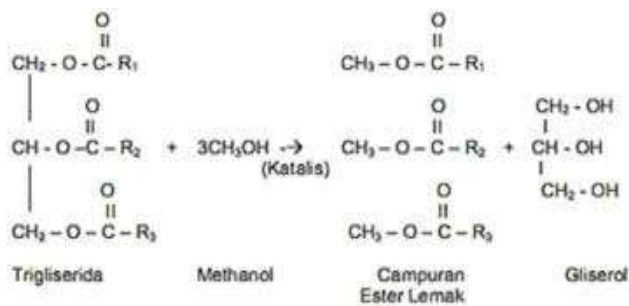
Reaksi transesterifikasi adalah reaksi reversibel. Oleh karena itu, penambahan alkohol dengan jumlah yang berlebih akan menyebabkan perpindahan keseimbangan reaksi ke arah pembentukan produk yaitu biodiesel. Lama waktu terjadinya reaksi transesterifikasi berpengaruh nyata terhadap hasil konversi dari reaksi. Semakin lama waktu reaksi, semakin banyak trigliserida terkonversi menjadi metil ester. Hal ini disebabkan oleh semakin berkurangnya jumlah trigliserida pada minyak seiring berjalannya reaksi dengan metanol, yang keduanya membentuk metil ester (Evy dkk., 2012).

Mekanisme reaksi transesterifikasi terjadi melalui beberapa tahapan, yaitu:

1. Tahap Awal: Sebelum reaksi berlangsung, terjadi pembentukan ikatan antara katalis dan trigliserida.
2. Serangan Ion Alkoksida: Ion alkoksida menyerang atom karbon pada gugus karbonil trigliserida, menghasilkan komponen hasil antara (intermediate).
3. Reaksi dengan Alkoho: Komponen hasil antara bereaksi dengan molekul alkohol menghasilkan ion alkoksida.

4. Pembentukan Produk: Penyusunan kembali komponen hasil antara menghasilkan ester (biodiesel) dan gliserol sebagai produk samping (Enweremadu dkk., 2009).

Proses ini menjelaskan bagaimana trigliserida dalam minyak diubah menjadi metil ester (biodiesel) melalui reaksi transesterifikasi dengan bantuan katalis dan alkohol.



Gambar 3. Mekanisme Transesterifikasi (Hadrah et al. 2018).

Secara umum, biodiesel dapat diproduksi melalui reaksi transesterifikasi, di mana trigliserida seperti minyak nabati direaksikan dengan alkohol, biasanya metanol, menggunakan katalis alkali. Reaksi ini menghasilkan *fatty acid methyl ester* (FAME) dan gliserol, di mana FAME digunakan sebagai biodiesel. Metode esterifikasi dengan katalis alkali merupakan yang paling banyak digunakan dalam produksi biodiesel karena katalis seperti metal alkoksida atau hidroksida alkali lebih efektif dibandingkan katalis asam (Asakuma dkk., 2009). Proses pembuatan biodiesel melalui transesterifikasi dengan katalis basa mampu mengkonversi trigliserida menjadi biodiesel dengan kadar FAME yang tinggi, memiliki sifat

mirip dengan bahan bakar diesel, dan memerlukan biaya operasi yang relatif rendah (Lin dkk., 2011).

Dalam praktiknya, reaksi transesterifikasi umumnya dilakukan pada suhu operasi yang sesuai dengan titik didih alkohol yang digunakan, pada konteks ini biasanya adalah methanol, dengan rentang suhu sekitar 60-65°C. Metode pemanasan yang digunakan meliputi pelat panas langsung (Leung dkk., 2010). Beberapa riset menunjukkan bahwa penggunaan pemanasan dapat menghasilkan hasil biodiesel yang lebih maksimal (Helwani dkk., 2009). Namun, reaksi transesterifikasi yang menggunakan metode pemanasan konvensional memerlukan waktu yang relatif lama, yaitu sekitar 1 hingga 2 jam (Gude dkk., 2013). Lamanya waktu reaksi ini disebabkan oleh proses pemanasan harus melewati tiga proses transfer panas yaitu radiasi, konduksi, dan konveksi. Tahap-tahap transfer panas ini menyebabkan kerugian energi yang signifikan, sehingga energi yang dibutuhkan dari sumber panas untuk mendukung reaksi transesterifikasi menjadi lebih besar (Poerwadi et al. 2019).

2.5. Katalis.

Katalis adalah zat yang mampu meningkatkan laju reaksi dan setelah reaksi selesai, zat tersebut terbentuk kembali dalam kondisi yang tidak berubah. Katalis berperan dalam reaksi dengan menyediakan mekanisme baru yang memiliki energi aktivasi lebih rendah dibandingkan reaksi tanpa katalis (Supriyanto, Ismanto, and Suwito 2019). Katalis berperan dalam mempercepat reaksi kimia tanpa mengalami perubahan pada akhir proses. Katalis telah lama menjadi komponen penting dalam industri dan penelitian ilmiah. Tujuannya adalah untuk mengoptimalkan distribusi produk dan meningkatkan selektivitas terhadap produk yang diinginkan. Dalam

konteks ini, proses degradasi katalitik sangat menarik untuk dikembangkan karena dapat menghasilkan produk yang bernilai komersial. Contoh produk semacam itu meliputi bahan bakar kendaraan bermotor seperti diesel dan bensin, serta C2-C4, yang sangat diminati di industri petrokimia. Secara umum, katalis dibagi menjadi dua jenis yaitu katalis homogen dan katalis heterogen.

2.5.1. Katalis Homogen.

Katalis homogen merupakan suatu sistem katalitik di mana reaktan dan katalis berada dalam fase yang sama. Dalam reaksi transesterifikasi trigliserida, contoh katalis homogen yang umum digunakan antara lain basa seperti NaOH, KOH, dan NaOCH₃, serta asam seperti H₂SO₄. Selain itu, CO₂ juga dapat berperan sebagai katalis dalam kondisi tertentu (Dkk. 2024). Katalis homogen diklasifikasikan berdasarkan fase fisik reaktan serta kemudahannya berinteraksi dengan katalis (baik asam maupun basa). Larutan asam seperti H₂SO₄ dan HCl merupakan contoh katalis asam yang sering digunakan karena toleransinya terhadap asam lemak bebas, meskipun aplikasinya umumnya terbatas pada skala laboratorium. Di sisi lain, katalis basa seperti KOH dan NaOH lebih banyak dipilih untuk proses transesterifikasi pada suhu rendah karena mampu mempercepat laju produksi biodiesel secara signifikan. Menurut penelitian Chongkhong et al.,(2007), katalis basa menunjukkan kinerja reaksi yang lebih tinggi dibandingkan katalis asam dalam konteks ini. Agar reaksi transesterifikasi

dalam produksi biodiesel dapat berjalan. Namun, penggunaan katalis homogen memiliki beberapa kelemahan, seperti masalah korosi, kesulitan dalam pemulihan katalis, pembentukan sabun, produksi limbah air dalam jumlah besar, serta penurunan kualitas gliserol sebagai produk samping (Zaki et al. 2019). Penggunaan katalis homogen memiliki beberapa kelemahan, seperti menghasilkan limbah dari proses pencucian residu katalis dan ketidakmampuan katalis tersebut untuk digunakan kembali. Penggunaan katalis homogen menawarkan beberapa keunggulan, antara lain biaya produksi yang lebih rendah, ketersediaan bahan baku yang luas, serta efisiensi konversi tinggi pada suhu reaksi rendah. Dengan karakteristik ini, proses produksi biodiesel menjadi lebih ekonomis dan mudah dioptimalkan (Fadhillah and Sari 2023). Dengan kelemahan yang ada pada katalis heterogen didapatkan opsi lain yaitu berupa katalis heterogen yang lebih ramah lingkungan.

2.5.1. Katalis Heterogen.

Katalis heterogen merupakan jenis katalis yang berada dalam fase berbeda dengan reaktan dan produk reaksinya. Umumnya, katalis ini berbentuk padatan sedangkan reaktannya berupa cairan. Dibandingkan dengan katalis homogen, katalis heterogen memiliki reaktivitas yang lebih rendah akibat heterogenitas permukaannya, sehingga efektivitasnya pun lebih terbatas. Keunggulan lainnya meliputi harga yang lebih ekonomis dibandingkan katalis homogen serta sifatnya yang lebih ramah lingkungan (Sains et al. 2021). Penggunaan katalis heterogen dapat mengatasi kekurangan yang dimiliki oleh katalis homogen. Pemisahan katalis heterogen dari produknya

relatif sederhana, yaitu melalui proses filtrasi, dan katalis ini dapat dikembangkan untuk meningkatkan aktivitas, selektivitas, serta ketahanannya. Keuntungan lain dari penggunaan katalis heterogen adalah bahwa mereka menghindari proses netralisasi, yang biasanya menghasilkan limbah. Katalis heterogen memiliki keunggulan dalam hal pemisahan, karena dapat dengan mudah dipisahkan dari sistem reaksi pada akhir proses dan dapat digunakan kembali untuk reaksi selanjutnya. Selain itu, penggunaan katalis heterogen juga efektif dalam mencegah terjadinya penyabunan yang terjadi akibat netralisasi asam lemak bebas atau saponifikasi.

Menurut Haryono (2020) Kinerja optimal katalis heterogen dalam sintesis biodiesel dipengaruhi oleh beberapa faktor penting. Faktor-faktor tersebut meliputi karakteristik katalis itu sendiri, kondisi operasional reaksi, dan sifat fisiko-kimia minyak nabati yang digunakan. Diantara berbagai sifat fisikokimia minyak nabati, kandungan asam lemak bebas merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi kinerja katalitik, terutama saat menggunakan katalis heterogen padat.

Beberapa jenis katalis heterogen telah diterapkan dalam proses transesterifikasi, termasuk MgO, SrO, zeolite, ZnO, TiO₂, CaO, CaCO₃, dan Al₂O₃ (Wendi dkk., 2015). Diantara katalis-katalis tersebut, zeolit adalah senyawa mineral dengan rasio Si/Al sebesar 1,23 dan struktur berongga. Rongga-rongga dalam zeolit umumnya mengandung air dan kation yang dapat ditukar, serta memiliki ukuran pori-pori yang spesifik. Karakteristik unik ini memungkinkan zeolit digunakan sebagai katalis,

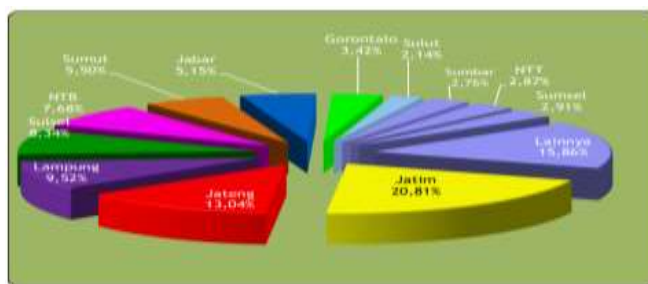
penukar ion, adsorben, dan filter. Untuk meningkatkan kinerja zeolit harus dilakukan terlebih dahulu (Suminar et al. 2023).

2.6. Abu Bonggol Jagung Sebagai Katalis

Katalis memainkan peran penting dalam produksi biodiesel dan dapat memengaruhi harganya. Saat ini, para ilmuwan tengah berfokus pada pencarian katalis yang ekonomis dan mudah diperoleh. Secara umum, katalis dapat dibagi dua kategori utama, yaitu katalis berbasis biomassa dan katalis non-biomassa. Katalis non-biomassa memang memiliki keunggulan dalam hal efisiensi produksi, tetapi harganya relatif mahal. Selain itu, katalis non-biomassa juga berpotensi menghasilkan produk samping yang dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu, penggunaan katalis berbasis biomassa dianggap lebih ramah lingkungan dan dapat membantu mengurangi dampak pencemaran (Talesh, 2022; Amrullah & Evila, 2021). Berdasarkan penjelasan Shell and Extract (2024) pemanfaatan katalis dari minyak jelantah dan biomassa untuk menghasilkan biodiesel memiliki potensi yang besar. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan proses transesterifikasi dengan memanfaatkan minyak jelantah sebagai bahan baku dan menggunakan katalis yang berasal dari biomassa. Salah satu biomassa yang dapat dijadikan menjadi bahan pembuatan katalis adalah jagung.

Sebagai alternatif yang lebih efisien dibandingkan katalis konvensional, abu tongkol jagung merupakan limbah pertanian yang melimpah dan mudah diperoleh. Pembakaran tongkol jagung menghasilkan abu yang memiliki kandungan kalium bervariasi namun cukup tinggi, yaitu sekitar 7,26 mg/g dalam bentuk K_2CO_3 . (Wannapeera dkk., 2008) dan 4,23% dalam bentuk K_2O (Owolabi dkk., 2015).

Namun, berdasarkan penelusuran literatur, belum ada kajian mengenai potensi tongkol jagung sebagai sumber alternatif katalis basa dalam pembuatan biodiesel. Oleh karena itu, dalam penelitian ini abu tongkol jagung digunakan terlebih dahulu diproses dengan cara melarutkannya ke dalam larutan alkali yang memiliki kemampuan untuk mengkatalisis reaksi transesterifikasi.



Gambar 4. Sentra Produksi Jagung di Indonesia 2021 (Komalasari 2022).

Provinsi Lampung menjadi sentra produksi setelah Jawa Tengah yang mampu memproduksi 2 juta ton jagung per tahun 2021. Sementara beberapa provinsi seperti Sulawesi Selatan, NTB, Sumatera Utara dan Jawa Barat per tahun 2021 memproduksi dibawah 2 juta ton jagung (Komalasari 2022).

Tabel 1. Kandungan Abu Bonggol Jagung ISSN 2477-5258.

Senyawa Kimia	Presentase Komposisi (%)
SiO ₂	59
P ₂ O ₅	2.8
K ₂ O	10.3
CaO	15.5
TiO ₂	0.39
MnO	0.27
Fe ₂ O ₃	4.17
NiO	0.01
CuO	0.063
ZnO	0.17
As ₂ O ₃	0.03
SrO	2.7

2.7. Kalsinasi

Kalsinasi adalah proses pemanasan pada suhu tertentu yang bertujuan untuk menghilangkan komponen tertentu dan menguapkan molekul air (proses dehidroksilasi) (Sunardi, Irawati, and Wianto 2011). Metode kalsinasi yang digunakan mampu menghilangkan senyawa organik dan air yang terdapat pada bahan, sehingga menghasilkan hidroksiapatit serta meningkatkan rendemen hidroksiapatit yang diperoleh. Keunggulan metode kalsinasi adalah kemampuannya untuk menguraikan komponen organik dalam pada bahan secara

termal dan menghilangkan jejak genom penyakit, sehingga memberikan tingkat keamanan biologis yang tinggi. Sedangkan Kekurangan dari metode kalsinasi adalah proses ini harus dilakukan pada suhu yang tepat. Senyawa organik dapat rusak ketika pemanasan dilakukan di atas 100°C. Ketika suhu mencapai 900°C, fase yang dihasilkan adalah kalsium karbonat tipe A (AKA)(Marwanto et al. 2023).

Kalsinasi dilakukan menggunakan alat furnace. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan H₂O, CO₂, atau gas lain yang terikat secara kimia dengan biji atau serbuk, sehingga menghasilkan produk yang disebut kalsin (CaO). Kalsinasi adalah perlakuan termal yang diterapkan pada bubuk cangkang cumi-cumi untuk mempromosikan dekomposisi dan menghilangkan senyawa yang terikat secara kimia, seperti karbondioksida, dan air. Dalam proses ini, abu dipanggang pada suhu yang berbeda-beda, tergantung pada jenis senyawa karbonat yang digunakan. Misalnya, dalam kasus karbonat kalsium, suhu antara 800°C hingga 1000°C. Oleh karena itu, dilakukan variasi proses kalsinasi pada suhu 800 °C, 850 °C, 900 °C, 950 °C, dan 1000 °C dengan durasi 30 dan 90 menit.(Meilianti 2017). Beberapa hal yang mempengaruhi kalsinasi adalah suhu kalsinasi, waktu kalsinasi dan kondisi udara. Contoh menurut pada uji XRD Prandika (2013) Semakin tinggi temperatur kalsinasi yang diterapkan pada WO₃, semakin besar ukuran kristal WO₃ yang dihasilkan. Pada temperatur kalsinasi 300 °C, ukuran kristal WO₃ yang diperoleh adalah yang terkecil, yaitu 355,91 Å. Sementara itu, pada temperatur kalsinasi 450 °C, ukuran kristal WO₃ mencapai yang terbesar, yaitu 1212,98 Å. semakin tinggi temperatur kalsinasi, puncak-puncak intensitasnya semakin sempit dan tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa *kristalinitas* WO₃ semakin meningkat seiring dengan kenaikan temperatur kalsinasi. Sedangkan pada pengaruh waktu

Commented [sh1]: Berikan saya jurnal yang membahas tentang proses kalsinasi dan proses terjadinya kalsinasi seperti apa saja

pada uji sintesis hidroksiapatit menurut penelitian (Yanti and Gandi 2020). Berdasarkan hasil pengujian dengan berbagai waktu pembakaran suhu 900°C, ditemukan bahwa waktu pembakaran selama 180 menit menghasilkan hasil terbaik dalam pembentukan hidroksiapatit (HAp). Dalam kondisi ini, persentase hidroksiapatit (HAp) yang dihasilkan mencapai 83% dengan ukuran kristal sekitar 26,62 nm. Analisis ukuran kristal ini dilakukan menggunakan persamaan *scherrer*, dengan data yang diperoleh dari analisis difraksi sinar-X.



Gambar 5. Furnace (Derrick Wilson-20 Januari 2017).

2.8. SNI Biodiesel

Kualitas adalah suatu kondisi dinamis yang terkait dengan produk, jasa, manusia, proses, dan lingkungan, yang memenuhi atau bahkan melampaui harapan (Sayati, 2019). Ditetapkam oleh standard nasional indonesia (SNI) nomor 01-2901-2006 berjudul minyak sawit mentah. Sementara itu, kualitas biofuel diatur dalam **SNI 7182:2015** tentang biodiesel. Di sisi lain, dalam konteks perdagangan internasional, terdapat standard khusus yang mengatur keberlanjutan prosuk minyak kelapa sawit, yaitu *roundtable on sustainabke palm oil* (RSPO). RSPO merupakan organisasi yang memiliki visi untuk menjadikan minyak sawit berkelanjutan sebagai kebijakan dan aturan yang diakui (Rosyadi et al., 2020). Di

sisinya lain, Indonesia memiliki *Indonesian Sustainable Palm Oil* (ISPO), dan Malaysia memiliki *Malaysian Sustainable Palm Oil* (MSPO) (Susanto 2020).

Biodiesel dinilai layak secara matematis untuk diproduksi (Tety et al., 2012). Produksi biodiesel dilakukan sebagai substitusi minyak, yang menyebabkan harganya lebih mahal. Sementara itu, peningkatan teknologi dan efisiensi produksi merupakan tantangan dan peluang bagi biodiesel untuk menjadi alternatif utama pengganti bahan bakar fosil. Untuk menghadapi persaingan dan menjaga kualitas CPO (minyak sawit mentah) dan produk biodiesel, upaya peningkatan kualitas dapat dilakukan dengan menerapkan standar nasional Indonesia (SNI) dengan *sustainable palm oil* (ISPO) (Widyaningtyas & Widodo, 2016). Perlu dicatat bahwa bahan baku dalam proses pengolahan biodiesel menyumbang lebih dari 75% dari total biaya produksi, sehingga kualitas bahan baku berupa CPO sangat mempengaruhi kualitas dan harga biodiesel yang dihasilkan (Atabani et al., 2012). Adapun SNI Biodiesel adalah

Tabel 2. SNI Biodiesel 7182:2015

Parameter	Satuan	Batas Maksimum
Angka Asam (Acid Number)	mg KOH/gram	0,5
Angka Iod (Iodine Number)	gram I ₂ /100	120
titik Nyala (Flash Point)	suhu udara	≥ 100
Kepadatan pada 15°C	gram/ml	0,85 – 0,89
Viskositas Kinematik pada 40°	mm ² /detik	2,3 – 6,0
Kadar Air (Kadar Air)	% (dalam bentuk v/v)	≤ 0,05
Kadar Abu (Kandungan Abu)	% (bln/bln)	≤ 0,02
Kadar Metanol (Kandungan Metanol)	% (dalam bentuk v/v)	≤ 0,2
Kadar Gliserol (Kandungan Gliserol)		≤ 200
Kadar Katalis (Konten Katalis)	Mg/kg	≤ 10
Kadar Asam Lemak Bebas (FFA)	% (bln/bln)	≤ 0,02
Angka Cetane	-	≥ 51
Indeks Setana (Indeks Cetana)	-	≥ 46
Titik Tuju (Cloud Point)	suhu udara	Maksimum 3°C lebih rendah dari titik tuju biodiesel murni
Titik Tuju (Pour Point)	Suhu udara	Maksimum 5°C lebih rendah dari titik tuju biodiesel murni
Kadar Unsur Logam (Kandungan Logam)	mg/kg	≤ 5
Kadar Klorida (Kandungan Klorida)	mg/kg	≤ 1

Kadar Sulfur (Kandungan Sulfur)	% (M/	$\leq 0,05$
---------------------------------	-------	-------------

BAB III.

METODE PENELITIAN

2.6. Alat, Bahan, Tempat, dan Waktu Penelitian

2.6.1. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Erlenmeyer, gelas ukur, timbangan analitik, gelas beker, spatula, oven, furnace, mortar, *Picnometer*, corong pemisah, *hotplate*, penyangga corong, Ayakan 100 mesh, botol, dan GCMS jenis DB-5 MS, *magnetic stirrer*, cawan porselen, *moistuer analyzer*, viskometer dan termometer, *BET surface area*.

2.6.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah bonggol jagung, asam sulfat, methanol, akuades, minyak jelanta, NAOH, indikator pp, Ethanol.

2.6.3. Tempat dan Waktu penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium fakultas Teknologi Pertanian INSTIPER Yogyakarta selama 3 bulan, dari bulan Mei – Juli 2025.

2.7. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan pada penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dua faktor dengan 2 kali pengulangan.

Faktor pertama (A) adalah jumlah massa katalis denga 3 taraf yang berbeda yaitu:

A1= 1% dari minyak jelantah

A2= 2% dari minyak jelantah

A3= 3% dari minyak jelantah

Faktor kedua (B) adalah variasi waktu reaksi transesterifikasi dengan 3 taraf yaitu:

B1= 90 menit

B2= 120 menit

B3= 150 menit

Perlakuan akan dilakukan 2 kali pengulangan, sehingga diperoleh $3 \times 3 \times 2 = 18$ satuan eksperimental.

Tabel 3. Tata Letak Urutan Eksperimental.

A1B 1 ¹	A2B 2 ²	A2B 1 ³	A1B 3 ⁴	A1B 2 ⁵	A3B 1 ⁶	A2B 3 ⁷	A3B 3 ⁸	A3 B2 ⁹
A1B 2 ¹⁰	A1B 3 ¹¹	A3B 1 ¹²	A2B 3 ¹³	A2B 1 ¹⁴	A3B 3 ¹⁵	A2B 2 ¹⁶	A3B 2 ¹⁷	A1 B1 ¹⁸

2.8. Prosedur Penelitian.

2.8.1. Preparasi Katalis.

Limbah bonggol jagung yang telah dikumpulkan dibersihkan dengan cara dicuci menggunakan air agar kotoran-kotoran seperti tanah dan pasir yang masih menempel pada bonggol jagung menghilang. Limbah

bonggol jagung yang sudah dibersihkan kemudian dikeringkan menggunakan oven selama 24 jam pada suhu 100°C. Setelah 24 jam hasil pengovenan dari bonggol jagung lalu dihaluskan menggunakan mortar. Lalu setelah dikecilkan lalu diayak menggunakan ayakan 100 *mesh*.

2.8.2. Kalsinasi Bonggol jagung

Proses kalsinasi bonggol jagung yaitu dengan bonggol jagung yang sudah diayak menggunakan ayakan 100 *mesh* kemudian dimasukkan ke dalam cawan porselen. Setelah dimasukkan ke dalam cawan porselen kemudian dimasukkan ke dalam muffle furnace untuk dilakukan kalsinasi pada suhu 800°C-1000°C selama 2 jam. Setelah 2 jam kemudian hasil kalsinasi katalis didinginkan selama 24 jam, lalu setelah itu katalis yang dihasilkan dapat digunakan

2.8.3. Proses Pembuatan Biodiesel

Pada proses reaksi esterifikasi, minyak jelantah yang sudah disiapkan pertama dilakukan penyaringan agar sisa-sisa kotoran pada penggorengan keluar. Selanjutnya minyak jelantah tersebut dilakukan pemanasan pada hotplate sampai mencapai suhu 60°C. Sebelumnya campurkan methanol dan katalis yang mana pada reaksi esterifikasi ini menggunakan katalis asam sulfat sesuai dengan jumlah minyak jelantah yang akan diakan dilakukan reaksi esterifikasi. Reaksi akan dilakukan selama 2 jam dan diaduk menggunakan magnetic stirer. Setelah 2 jam selanjutnya dilakukan pemisahan antara hasil ester dan metanol sisa yang tidak bereaksi dengan cara penyucian menggunakan akuades yang sudah dipanaskan. Hasil dari reaksi esterifikasi berupa ester ini kemudian akan dilakukan reaksi

transesterifikasi. Pada tahapan transesterifikasi kurang lebih sama dengan proses esterifikasi. Akan tetapi pada reaksi transesterifikasi ini menggunakan rancangan percobaan 2 variabel yang sudah ditentukan yaitu jumlah massa katalis heterogen dari bonggol jagung yang mempunyai 3 taraf yaitu 1%, 2%, 3% dari jumlah minyak dan waktu reaksi yang juga 3 taraf yaitu 90 menit, 120 menit, dan 150 menit. Pertama timbang massa katalis 1% dari massa minyak sebanyak 3 kali. lalu campurkan masing-masing dengan methanol dengan konsentrasi 1:4 dengan mol minyak. Lalu lakukan reaksi transesterifikasi dengan waktu reaksi masing masing 90, 120, 150 menit dan diaduk menggunakan magnetic stirer. Setelah dilakukan reaksi selanjutnya hasil reaksi dialakukan pencucian sebanyak 3 kali menggunakan akuades panas, selanjutnya lakukan pemisahan katalis dan metil ester, setelah dipisahkan metil ester selanjutnya dipanaskan selama 30 menit pada suhu 65-70°C. Selanjutnya timbang massa katalis 2% dari massa minyak sebanyak 3 kali. lalu campurkan masing-masing dengan methanol dengan konsentrasi 1:4 dengan mol minyak. Lalu lakukan reaksi transesterifikasi dengan waktu reaksi masing masing 90, 120, 150 menit dan diaduk menggunakan magnetic stirer. Setelah dilakukan reaksi selanjutnya hasil reaksi dialakukan pencucian sebanyak 3 kali menggunakan akuades panas, selanjutnya lakukan pemisahan katalis dan metil ester, setelah dipisahkan metil ester selanjutnya dipanaskan selama 30 menit pada suhu 65-70°C. Selanjutnya timbang massa katalis 3% dari massa minyak sebanyak 3 kali. lalu campurkan masing-masing dengan methanol dengan konsentrasi 1:4 dengan mol minyak. Lalu lakukan reaksi

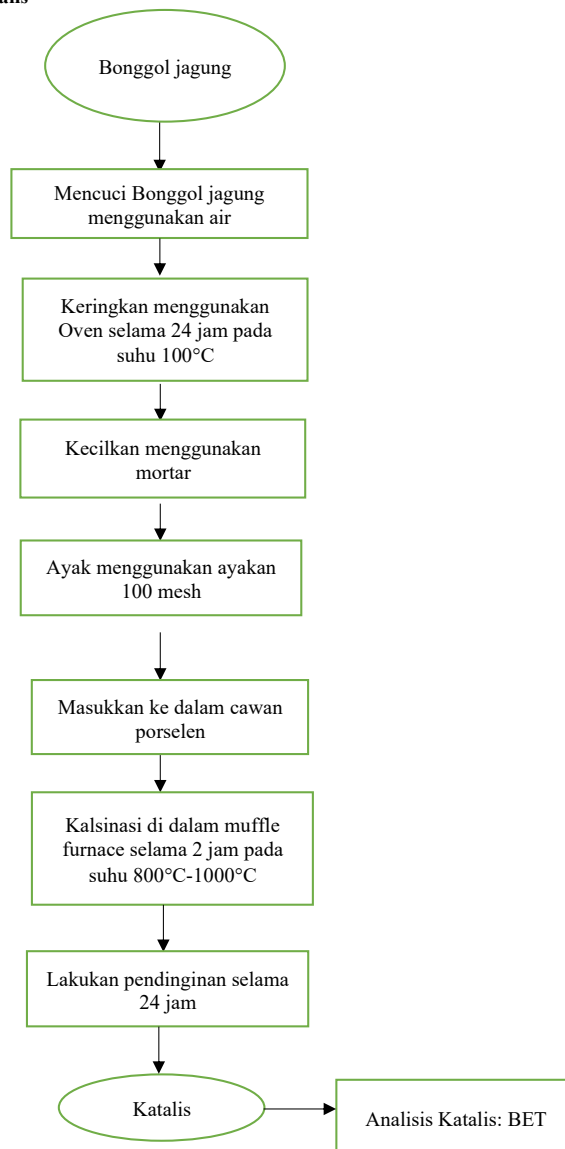
transesterifikasi dengan waktu reaksi masing masing 90, 120, 150 menit dan diaduk menggunakan magnetic stirer. Setelah dilakukan reaksi selanjutnya hasil reaksi dilakukan pencucian sebanyak 3 kali menggunakan akuades panas, selanjutnya lakukan pemisahan katalis dan metil ester, setelah dipisahkan metil ester selanjutnya dipanaskan selama 30 menit pada suhu 65-70°C. Selanjutnya biodiesel yang dihasilkan dilakukan analisis.

3.4 Analisis Data

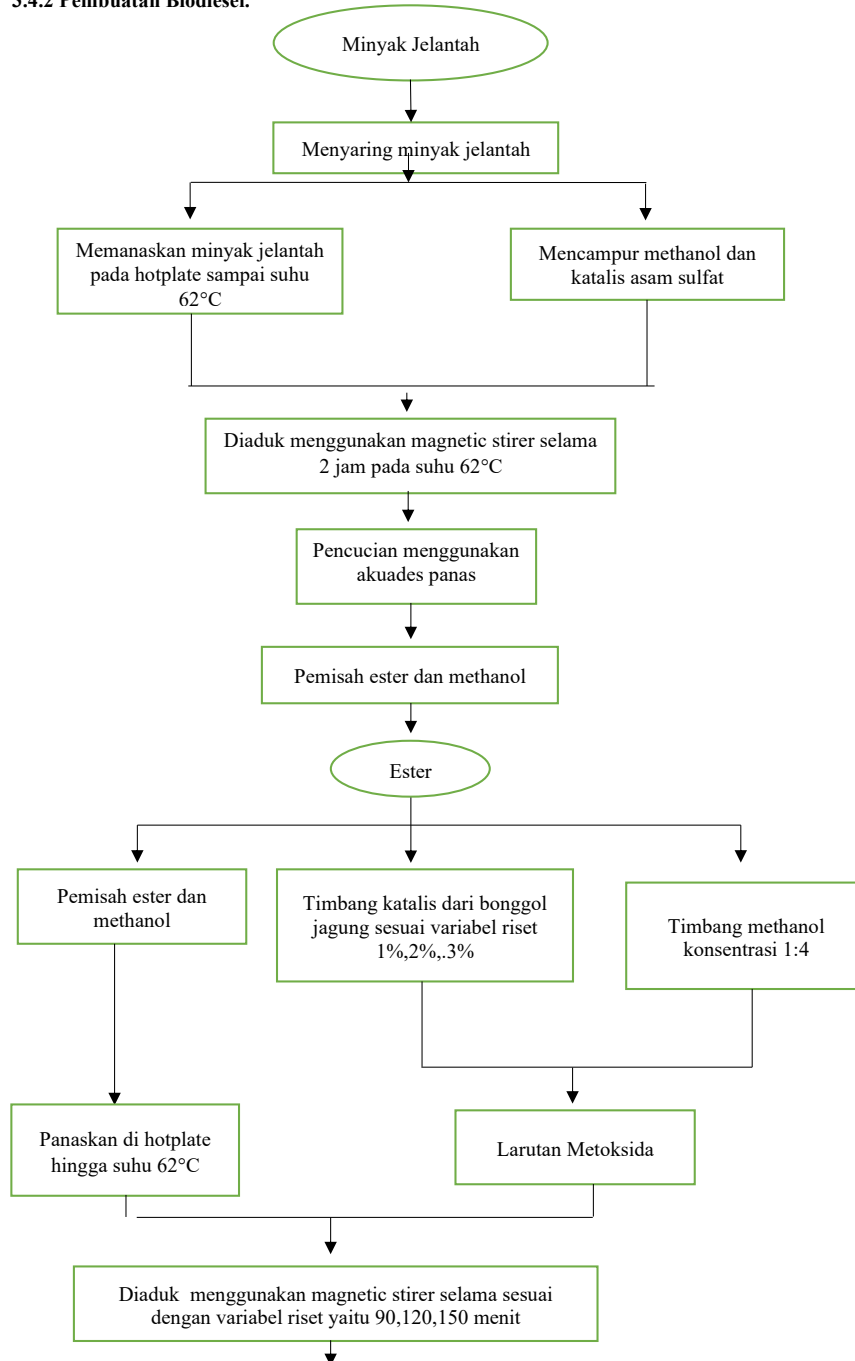
Data yang dianalisis pada penelitian ini adalah densitas, kadar air, kadar asam lemak bebas, yield, dan metil ester pada biodiesel yang dihasilkan, uji karakteristik katalis dengan metode BET.

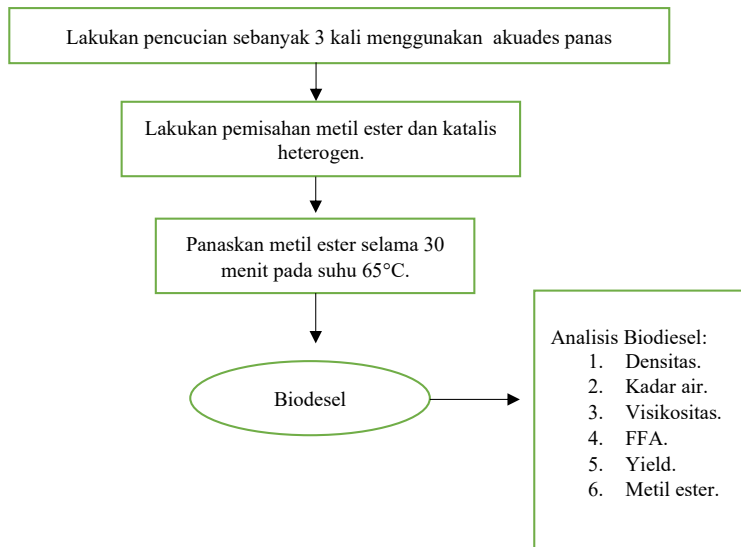
DIAGRAM ALIR

3.4.1 Pembuatan Katalis



3.4.2 Pembuatan Biodiesel.





BAB IV.
HASIL DAN PEMBAHASAN.

Guna mengetahui pengaruh konsentrasi katalis heterogen dari bonggol jagung dan waktu reaksi pada penelitian ini ini, telah dilakukan beberapa analisis seperti densitas, kadar air, *yield*, viskositas, ALB, BET pada katalis, dan GCMS pada biodiesel yang bertujuan untuk mengetahui kualitas biodiesel yang dihasilkan.

4.1. Yield.

Data primer hasil analisa *yield* terhadap konsentrasi katalis dan waktu reaksi transesterifikasi dapat dilihat pada tabel.

Tabel 4. Data Primer Analisa *Yield* (mL)

Sampel	Ulangan		Total	Rerata
	1	2		
A1b1	53	54	107	53,5
A1B2	52	52	104	52
A1B3	51	51	102	51
A2B1	51	50	101	50,5
A2B2	43	41	84	42
A2B3	40	40	80	40
A3B1	46	45	91	45,5
A3B2	38	37	75	37,5
A3B3	37	35	72	36
Grand Total			816	45,33

Data primer analisa *yield* pada tabel selanjutnya dilakukan analisa keragaman ununtuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap densitas biodiesel yang dihasilkan. Hasil analisa uji ANOVA disajikan pada tabel

Tabel 5. Analisa Uji ANOVA *Yield*.

SK	DB	JK	KT	Fhit	F Tab		KE T
					0,05	0,01	
Perl	8	716	89,5	134,250	3,23	5,467	TN
A	2	481	240,5	360,750	4,25 6	8,022	TN
B	2	189	94,5	141,750	4,25 6	8,022	TN
VP	4	46	11,5	17,250	3,63 3	6,422	TN
Galat	9	6	0,666				
Total	17	722					

Ket: TN Berbeda/berpengaruh tidak nyata
 * Berbeda/berpengaruh nyata
 ** Berbeda/berpengaruh sangat nyata

Berdasarkan tabel uji ANOVA *yield* yang dilakukan menunjukkan bahwa konsentrasi katalis tidak berpengaruh nyata terhadap *yield* biodiesel yang dihasilkan, sedangkan waktu reaksi juga tidak berpengaruh nyata terhadap biodiesel yang dihasilkan. Kedua faktor antara konsentrasi katalis dengan waktu reaksi juga tidak memiliki interaksi antara keduanya. Selanjutnya, untuk mengetahui perbedaan perlakuan yang berpengaruh pada kedua faktor maka dilakukan uji BNT pada kedua faktor. Adapun hasil BNT biodiesel dapat dilihat pada tabel.

Tabel 6. Uji BNT *Yield*

Faktor A	Faktor B		
	B1	B2	B3
A1	53,5 ^a	52 ^a	51 ^a
A2	50,5 ^a	42 ^a	40 ^a
A3	45,5 ^a	37,5 ^a	36 ^a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%.

Berdasarkan hasil uji BNT pada taraf 5%, seluruh perlakuan faktor konsentrasi katalis dan variasi waktu tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap *yield* biodiesel. Kedua faktor juga tidak mempunyai interaksi, hal ini menunjukkan bahwa tidak mempunyai pengaruh nyata terhadap *yield* biodiesel antar perlakuan yang dihasilkan.

Berdasarkan data yang didapatkan, rerata yield biodiesel pada faktor konsentrasi menunjukkan semakin tinggi konsentrasi katalis maka *yield* yang didapatkan semakin sedikit. *Yield* tertinggi didapatkan pada perlakuan konsentrasi katalis paling sedikit 1% pada perlakuan A1 sebesar 53,5% kemudian dengan konsentrasi 2% didapatkan *yield* sebanyak 52,5%, dan konsentrasi katalis 3% atau pada perlakuan A3 didapatkan *yield* terendah sebesar 50%.

Hal yang sama juga terjadi pada faktor B waktu reaksi menunjukkan bahwa semakin lama waktu reaksi maka *yield* yang didapatkan semakin kecil. Perlakuan waktu paling cepat yaitu B1 selama 90 menit reaksi berlangsung mendapatkan *yield* tertinggi, sedangkan semakin lama waktu reaksi maka *yield* yang terjadi penurunan *yield* pada biodiesel. Pada penelitian ini *yield* yang didapatkan antara 45,5- 53,5%.

Penurunan *yield* yang terjadi pada konsentrasi katalis dan waktu reaksi pada perlakuan yang lebih tinggi, diikuti dengan penurunan asam lemak bebas disebabkan oleh terjadinya reaksi samping saponifikasi yang diakibatkan kandungan *free fatty acid* (FFA) pada minyak jelantah, hal ini disebabkan reaksi sudah melewati kondisi optimum. Reaksi penyabunan yang terjadi akan mengonsumsi katalis basa dan akan membentuk sabun, hal menyebabkan adanya hambatan konversi trigliserida menjadi metil ester.

Reaksi penyabunan yang terjadi akan menghambat terbentuknya metil ester sehingga terjadinya penurunan *yield*. Penelitian lain juga menyatakan bahwa pengaruh semakin tinggi konsentrasi katalis yang membuat penurunan *yield* biodiesel disebabkan oleh fenomena reaksi samping yang dominan pada katalis berkonsentrasi tinggi (Gumahin et al. 2019). Penurunan *yield* pada penelitian ini bukan hanya disebabkan oleh reaksi saponifikasi saja. Beberapa hal yang menyebabkan terjadinya penurunan *yield* seperti terjadinya reaksi balik/reversibel dari reaksi transesterifikasi.

Reaksi antara methanol dengan trigliserida menghasilkan metil ester dan gliserol, akan tetapi ketika kondisi reaksi melewati titik optimum kondisi kesetimbangan, produk yang terbentuk dapat mengalami reaksi balik membentuk gliserida. Hal ini menyebabkan metil ester yang sudah terbentuk dapat jumlahnya dapat berkurang. Fenomena ini menunjukkan bahwa waktu

Commented [sh2]: Pada penelitian saya *yield* rendah, kenapa terjadi *yield* rendah pada saat katalis meningkat, dan berikan saya jurnal yang membahas tentang penurunan *yield* biodiesel akibat peningkatan konsentrasi katalis.).

reaksi yang terlalu lama dapat menyebabkan sistem mencapai reaksi dan menurunkan *yield*. Namun pada penelitian ini hal yang berperan paling besar dalam penurunan *yield* disebabkan oleh terjadinya reaksi saponifikasi.

Berdasarkan data yang sudah didapatkan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi konsentrasi katalis heterogen berbasis bonggol jagung yang dikalsinasi dan waktu reaksi dengan beberapa perlakuan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap hasil *yield* biodiesel yang didapatkan. Namun terjadinya penurunan *yield* pada perlakuan tinggi pada variasi kedua faktor menunjukkan bahwa kondisi reaksi lebih maksimal atau optimum pada perlakuan variasi konsentrasi maupun waktu reaksi yang lebih rendah. Dan dapat dikatakan bahwa penambahan konsentrasi katalis dan waktu reaksi pada perlakuan pembuatan biodiesel dari minyak jelantah dengan katalis heterogen ini tidak membuat peningkatan *yield* biodiesel yang didapatkan dan menunjukkan bahwa biodiesel dari minyak jelantah dan katalis heterogen memiliki batas optimum pada reaksi transesterifikasi.

Yield yang dihasilkan pada penelitian ini termasuk rendah. Hasil *yield* yang rendah yang dihasilkan dipengaruhi oleh faktor reaksi saponifikasi yang terjadi sebagai reaksi samping. Reaksi saponifikasi yang terjadi ini disebabkan oleh katalis CaO hasil kalsinasi bonggol jagung yang memiliki situs basa kuat berupa ion oksida (O^{2-}) pada permukaan yang mampu bereaksi langsung dengan asam lemak bebas kandungan dari minyak jelantah. Dengan permukaan katalis heterogen yang dihasilkan yaitu sebesar $17,434 \text{ m}^2/\text{g}$ kontak antara FFA dan situs basa katalis menjadi lebih intensif, hal inilah yang membuat reaksi saponifikasi terjadi pada permukaan katalis. Hasil dari reaksi yang terjadi berupa sabun kalsium yang menutupi pori katalis dan membentuk emulsi stabil. Hal inilah yang menyebabkan hilangnya metil ester selama pemisahan dan berkontribusi terhadap rendahnya.

Faktor aktivitas katalis rasio mol metanol yang digunakan pada penelitian ini yaitu 1:4 relatif cukup rendah untuk katalis heterogen yang membuat pergeseran kearah kesetimbangan reaksi kearah pembentukan metil ester terbatas. Peningkatan konsentrasi katalis berarti membuat luas permukaan semakin luas, akan tetapi apabila tidak diikuti dengan penambahan metanol akan membuat

Commented [sh3]: Mana yang lebih dominan yang terjadi antara reaksi saponifikasi atau reaksi balik pada penelitian saya

Commented [sh4]: Bagaimana performa katalis terhadap *yield* yang dihasilkan

aktivitas katalis menurun dan reaksi saponifikasi lebih dominan. (Apa hubungan nilai yield yang dihasilkan dengan luas permukaan katalis dan rasio mol saya)
Hal ini diperkuat oleh penelitian yang menyatakan bahwa reaksi samping seperti pembentukan sabun dan menghambat pemisahan metil ester walaupun katalis yang digunakan berupa katalis heterogen (Lee et al., 2014).

Selain itu penggunaan katalis heterogen yang berlebihan dapat membuat campuran reaksi dengan viskositas yang meningkat dan itu akan membuat adanya penghambatan difusi methanol ke permukaan katalis, hal ini membuat tidak optimalnya reaksi transesterifikasi berlangsung dan menyebabkan terdegradasinya metil ester atau hilang pada saat pemurnian. Hal sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ayu (2019) menyatakan bahwa semakin lama waktu reaksi dan semakin tinggi konsentrasi katalis menyebabkan terjadinya penurunan *yield* hal ini disebabkan terlalu lamanya waktu reaksi. Semakin lamanya waktu reaksi maka akan menyebabkan asam lemak bebas yang tidak ikut bereaksi pada reaksi transesterifikasi akan menyebabkan terjadinya reaksi penyabunan.

Hasil yang *yield* yang didapatkan penelitian apabila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hidayati (2017) yang pada penelitiannya menggunakan katalis kalsium oksida didapatkan *yield* terbesar yaitu 53 mL. Hasil ini tidak berbeda jauh dengan hasil penelitian ini yang mana *yield* tertinggi adalah 54 mL.

4.2.Densitas.

Data primer hasil analisa densitas terhadap konsentrasi katalis dan waktu reaksi transesterifikasi dapat dilihat pada tabel

Tabel 7. Data Primer Analisa Densitas (g/cm^3).

Sampel	ulangan		total	rerata
	1	2		
A1B1	0,840	0,863	1,703	0,851
A1B2	0,832	0,852	1,685	0,842
A1B3	0,819	0,851	1,670	0,835
A2B1	0,850	0,870	1,721	0,860
A2B2	0,848	0,861	1,709	0,855
A2B3	0,835	0,861	1,695	0,848
A3B1	0,872	0,876	1,748	0,874
A3B2	0,857	0,867	1,724	0,862
A3B3	0,849	0,865	1,714	0,857
Grand Total			15,369	

Data primer analisa densitas pada tabel selanjutnya dilakukan analisa keragaman unttuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap densitas biodiesel yang dihasilkan. Hasil analisa uji ANOVA disajikan pada tabel 8

Tabel 8. Analisa Keberagaman Densitas.

SK	DB	JK	KT	Fhit	F Tab		KET
					0.05	0.01	
Perl	8	0,002	0,00026	0,00048	3,23	5,47	TN
A	2	0,001	0,0007	0,00124	4,26	8,02	TN
B	2	0,001	0,000357	0,00064	4,26	8,022	TN
VP	4	0,00002	0,000006	0,00001	3,63	6,42	TN
Galat	9	5,002	0,556				
Total	17	5,004					

Ket: TN Berbeda/berpengaruh tidak nyata
 * Berbeda/berpengaruh nyata
 ** Berbeda/berpengaruh sangat nyata

Berdasarkan tabel analisa keberagaman densitas yang dihasilkan menunjukkan bahwa konsentrasi katalis pada pembuatan biodiesel tidak berpengaruh nyata terhadap densitas biodiesel yang dihasilkan. Sedangkan waktu reaksi juga tidak berpengaruh nyata terhadap densitas yang dihasilkan, serta tidak terjadi interaksi pada kedua faktor. Selanjutnya, untuk mengetahui perbedaan perlakuan yang berpengaruh pada pada kedua faktor maka dilakukan uji BNT pada kedua faktor. Adapun hasil BNT densitas biodiesel dapat dilihat pada tabel.

Tabel 9. Analisis BNT Densitas.

Faktor A	Faktor B		
	B1	B2	B3
A1	0,835 ^a	0,800 ^a	0,835 ^a
A2	0,860 ^a	0,854 ^a	0,847 ^a
A3	0,874 ^a	0,862 ^a	0,874 ^a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%.

Berdasarkan hasil uji BNT 5% didapatkan densitas dari biodiesel yang dihasilkan tidak terdapat perbedaan nyata akibat faktor konsentrasi katalis dan waktu reaksi dalam rentang perlakuan uji yang dilakukan.

Nilai densitas biodiesel yang didapatkan berada diantara 0,800-0,874 g/mL, paling kecil 0,800 pada perlakuan konsentrasi katalis 2% dan waktu reaksi 120 menit. Sedangkan untuk nilai densitas paling besar yaitu 0,874 dengan perlakuan konsentrasi katalis 3% dan waktu reaksi 150menit. Berdasarkan data nilai keseluruhan densitas biodiesel yang didapatkan, sesuai dengan standar SNI densitas biodiesel yang mana sesuai **SNI 7182: 2015**, yaitu **0,850-890 g/cm³** maka ada 4 perlakuan tidak sesuai dengan standard SNI yaitu konsentrasi katalis paling rendah yaitu 1%, namu sebagian besar biodiesel sudah sesuai dengan standar mutu biodiesel.

Perbedaan yang tidak nyata yang dihasilkan pada biodiesel pada setiap perlakuan disebabkan karena reaksi transesterifikasi yang terjadi berlangsung dengan sempurna, sehingga jumlah metil ester yang didapatkan dari hasil reaksi hampir sama. Apabila konversi trigliserida menjadi metil ester sudah tinggi,

maka perubahan konsentrasi katalis maupun waktu reaksi tidak lagi memberikan perubahan berarti pada sifat fisik biodiesel termasuk densitas. Hal ini sejalan dengan penelitian Jaya (2022) menyatakan bahwa penggunaan variasi katalis CaO tidak terlalu berpengaruh terhadap densitas biodiesel yang dihasilkan, jenis katalis dan konsentrasi yang berlebihan hanya membuat terjadinya reaksi penyabunan dan densitas yang bervariasi saja.

Katalis heterogen yang berasal dari biomassa bonggol jagung yang dikalsinasi berbasis kalsium oksidasi (CaO) diketahui efektif dalam mempercepat reaksi transesterifikasi serta mudah dipisahkan dari produk metil ester yang dihasilkan, tetapi penambahan atau perbedaan konsentrasi katalis tidak selalu mengubah densitas secara signifikan dari biodiesel yang dihasilkan. Berdasarkan penelitian Azhari and Area (2023) menyatakan bahwa variasi konsentrasi katalis dari CaO yang dikalsinasi tidak memberikan perbedaan signifikan terhadap densitas biodiesel, karena sifat densitas lebih ditentukan oleh kemurnian metil ester. Penelitian ini sama dengan penelitian tersebut yang mana seluruh perlakuan menghasilkan densitas yang relatif seragam.

Sedangkan pengaruh waktu secara teori semakin lama waktu reaksi dapat meningkatkan konversi dari reaksi transesterifikasi, namun jika waktu reaksi melewati waktu optimum, maka waktu reaksi tidak mempengaruhi atau memberikan perubahan nyata pada densitas biodiesel yang dihasilkan. Pada penelitian Haryanto and Hidayati (2014) menyatakan bahwa variasi waktu reaksi transesterifikasi tidak berpengaruh signifikan pada densitas biodiesel, akan tetapi lebih berpengaruh terhadap bilangan asam pada biodiesel. Hal ini menunjukkan bahwa apabila kondisi reaksi sampai pada titik optimum, maka waktu reaksi tidak akan memberikan perubahan densitas yang signifikan. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan jika waktu reaksi tidak berpengaruh nyata pada densitas biodiesel yang dihasilkan.

Pada penelitian yang menggunakan katalis heterogen dari abu tandan kosong sawit mendapat nilai densitas tertinggi 868 g/cm³ Issue (2024). Hasil densitas yang didapatkan apabila dibandingkan dengan hasil penelitian ini yang mendapatkan nilai densitas 0,874 g/cm³. Hal ini menunjukkan nilai densitas yang didapatkan tidak berbeda jauh.

Commented [sh5]: Jelaskan tabel BNT dari analisis densitas saya dan kenapa densitas tidak stabil, serta berikan saya jurnal yang membahas tentang densitas) Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan jika waktu reaksi tidak berpengaruh nyata pada densitas biodiesel yang dihasilkan.

4.3. Asam Lemak Bebas (ALB).

Data primer analisa asam lemak bebas terhadap konsentrasi katalis dan waktu reaksi dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Data Primer ALB (%).

SAMPEL	ULANGAN		Total	RERATA
	1	2		
A1b1	0,777	0,688	1,465	0,733
A1B2	0,757	0,659	1,416	0,708
A1B3	0,747	0,639	1,386	0,693
A2B1	0,502	0,521	1,023	0,512
A2B2	0,502	0,520	1,022	0,511
A2B3	0,492	0,492	0,984	0,492
A3B1	0,443	0,423	0,866	0,433
A3B2	0,423	0,393	0,816	0,408
A3B3	0,492	0,492	0,984	0,492
Grand Total			9,962	

Data primer analisa ALB pada tabel selanjutnya dilakukan analisa keragaman untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap densitas biodiesel yang dihasilkan. Hasil analisa uji ANOVA disajikan pada tabel 11.

Tabel 11. Hasil Uji Keragaman ANOVA ALB.

SK	DB	JK	KT	Fhit	F Tab		KET
					0,05	0,01	
Perl	8	0,244	0,031	17,6	3,230	5,470	**
A	2	0,235	0,117	67,8	4,260	8,020	**
B	2	0,001	0,001	0,30	4,260	8,022	TN
VP	4	0,008	0,002	1,20	3,630	6,420	TN
Galat	9	0,016	0,002				
Total	17	0,260					

Ket: TN Berbeda/berpengaruh tidak nyata
 * Berbeda/berpengaruh nyata
 ** Berbeda/berpengaruh sangat nyata

Berdasarkan hasil analisis keberagaman ANOVA didapatkan bahwa faktor konsentrasi katalis memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap nilai asam lemak bebas yang mana F hitung sebesar 67,87 lebih besar dari F tabel. Sedangkan faktor B waktu reaksi tidak memberikan pengaruh nyata terhadap nilai ALB, begitupun dengan interaksi AxB tidak mempunyai pengaruh nyata terhadap nilai ALB biodiesel. Selanjutnya untuk mengetahui perbedaan pada kedua perlakuan dilakukan uji BNT pada kedua faktor. Adapun uji BNT yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Uji BNT ALB

Faktor A	Faktor B		
	B1	B2	B3
A1	0,732 ^a	0,708 ^a	0,693 ^a
A2	0,512 ^a	0,511 ^a	0,492 ^a
A3	0,433 ^a	0,408 ^a	0,492 ^a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%.

Berdasarkan hasil uji BNT yang sudah dilakukan pada taraf 5% seluruh perlakuan pada faktor konsentrasi katalis dan waktu reaksi, serta interaksi antara kedua faktor menunjukkan adanya perbedaan nyata antar perlakuan terhadap nilai kadar ALB yang didapatkan.

Secara statistik data yang didapatkan semakin tinggi konsentrasi katalis dan semakin lama waktu reaksi yang dilakukan maka nilai asam lemak bebas yang didapatkan rentan menurun. Nilai ALB tertinggi didapatkan pada perlakuan konsentrasi katalis 1% dan waktu reaksi 150 menit yaitu sebesar 0,732% , sedangkan nilai ALB terendah didapatkan pada perlakuan konsentrasi katalis 2% dan waktu reaksi 120 menit.

Hasil pengujian ALB pada biodiesel ini menunjukkan bahwa kadar ALB biodiesel yang dihasilkan lebih tinggi dari kadar ALB bahan baku minyak jelantah yang sebelumnya berada diangka 0,054% setelah dilakukan proses esterifikasi pada minyak jelantah. Namun setelah terjadi proses reaksi transesterifikasi terjadi peningkatan asam lemak bebas pada biodiesel yang dihasilkan.

Peningkatan kadar ALB pada biodiesel yang dihasilkan setelah proses reaksi transesterifikasi disebabkan oleh tingginya kadar air yang tersisa pada biodiesel pada saat pencucian berlangsung, hal ini akan menyebabkan terjadinya reaksi hidrolisis metil ester selama proses pemurnian biodiesel dengan air. Metil ester yang dihasilkan oleh proses transesterifikasi dapat bereaksi dengan air dan dapat dapat terurai kembali apabila kontak dengan air apabila masih terdapat katalis yang tersisa. Hal inilah yang akan menghasilkan ALB meningkat dari bahan baku. Hal ini sejalan dengan penelitian (mauro et al 2020) yang menyatakan bahwa keberadaan residu air pasca pencucian biodiesel dapat memicu hidrolisis metil ester menjadi asam lemak bebas (FFA).

Kondisi ini membuat peningkatan angka asam pada biodiesel dan akan mengurangi kualitas bahan bakar. Selain faktor pencucian yang kurang sempurna, penyebab lain tingginya katalis disebabkan oleh adanya sisa katalis heterogen yang terbawa pada biodiesel yang juga dapat mempercepat reaksi dedgradari metil ester menjadi asam lemak bebas. Gupta and Singh (2022) pada penelitiannya menjelaskan bahwa sisa katalis heterogen yang masih terdapat pada biodiesel setelah reaksi dapat menimbulkan reaksi samping berupa hidrolisis dan saponifikasi yang dapat memicu naik asam lemak bebas pada biodiesel. Stabilitas dan sifat permukaan katalis heterogen juga mempengaruhi terbentuknya FFA sisa akibat reaksi samping pada saat pemurnian biodiesel.

Variasi konsentrasi katalis menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi katalis maka mampu menekan ALB biodiesel, hal ini disebabkan oleh lebih banyaknya situs aktif yang tersedia untuk mengkonversi trigliserida dan sisa asam lemak bebas menjadi metil ester. Akan tetapi, pada kondisi konsentrasi katalis yang terlalu tinggi berpotensi terbentuknya sabun meningkat, hal ini tentu saja akan mempersulit proses pemisahan dan dapat membuat terjadinya reaksi hidrolisis pada saat pemurnian. Hal ini sejalan dengan penelitian produksi biodiesel dengan katalis heterogen CaO yang menyatakan peningkatan konsentrasi katalis CaO menunjukkan peningkatan konversi asam lemak bebas karena jumlah situs aktif katalis lebih banyak mempercepat reaksi dengan FFA (Htc 2022).

Commented [sh6]: Hubungan sejauh mana pengaruh dari kandungan kadar air setelah transesterifikasi meningkatkan ALB pada penelitian saya)

Commented [sh7]: Jelaskan tabel BNT analisis ALB saya. Kenapa terjadi penurunan alb pada saat katalis meningkat, berikan saya jurnal yang membahas tentang penurunan alb tersebut).

Sementara variasi waktu reaksi menunjukkan bahwa semakin lama waktu reaksi maka ALB semakin turun, hal ini menunjukkan waktu kontak reaktan yang lebih lama memaksimalkan reaksi transesterifikasi berlangsung, sehingga asam lemak bebasnya berkurang. Tetapi apabila reaksi berada di kondisi melewati fase optimum, memungkinkan terjadinya reaksi balik dan hidrolisis meningkat. Waktu reaksi transesterifikasi berpengaruh pada asam lemak bebas biodiesel, dimana bilangan asam menurun seiring bertambahnya waktu reaksi hingga kondisi optimum (Wati and Pertiwi 2023).

Meningkatnya kadar ALB pada biodiesel setelah reaksi transesterifikasi bukan disebabkan kegagalan pada reaksi, melainkan disebabkan oleh reaksi lanjutan yang terjadi pada tahap pemurnian, terutama hidrolisis metil ester oleh air dan pengaruh sisa katalis. Hal ini menunjukkan bahwa pencucian mempunyai peran besar dalam pembentukan kembali asam lemak bebas. Berdasarkan hasil pengujian, hasil nilai ALB yang dihasilkan pada penelitian ini lebih rendah dari 0,8%. Hal ini menunjukkan bahwa ALB biodiesel yang didapatkan masih memenuhi persyaratan mutu **SNI 7182:2015** untuk parameter asam lemak bebas. Dengan terpenuhinya mutu ALB ini menunjukkan bahwa meningkatnya ALB karena hidrolisis tidak menurunkan kualitas biodiesel yang dihasilkan dari segi asam lemak bebas.

Nilai kadar ALB yang didapatkan pada penelitian ini yang mana nilai alb tertingginya adalah 0,732% apabila dibandingkan dengan penelitian Oke and Kurniawan (2025) yang menggunakan katalis *fly ash* pada produksi biodiesel. Penelitiannya mendapatkan nilai ALB tertinggi sebesar 0,825%. Hasil ALB dari kedua penelitian menunjukkan adanya perbedaan hasil ALB yang tidak terlalu beda.

4.4. *Visikositas.*

Data primer visikositas terhadap konsentrasi katalis dan waktu reaksi dapat dilihat pada tabel.

Tabel 13. Data Primer uji Visikositas (cSt).

Sampel	ulangan		total	rerata
	1	2		
A1B1	3,98	3,95	7,93	3,96
A1B2	3,88	3,88	7,76	3,88
A1B3	3,80	3,82	7,62	3,81
A2B1	4,15	4,20	8,35	4,17
A2B2	3,86	3,97	7,83	3,91
A2B3	3,82	3,84	7,66	3,83
A3B1	4,10	3,14	7,24	3,62
A3B2	3,97	4,10	8,07	4,03
A3B3	3,92	3,90	7,82	3,91
Grand Total			70,28	3,904

Data primer analisa Visikositas pada tabel selanjutnya dilakukan analisa keragaman unotuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap densitas biodiesel yang dihasilkan. Hasil analisa uji ANOVA disajikan pada tabel 14.

Tabel 14. Hasil Uji Keberagaman Anova Visikositas.

SK	DB	JK	KT	Fhit	F Tab		KET
					0,05	0,01	
Perl	8	0,380	0,048	0,9	3,23	4,26	TN
A	2	0,045	0,023	0,4	4,26	8,02	TN
B	2	0,028	0,014	0,3	4,26	8,022	TN
VP	4	0,306	0,077	1,4	3,63	6,42	TN
Galat	9	0,478	0,053				
Total	17	0,858					

Ket: TN Berbeda/berpengaruh tidak nyata
 * Berbeda/berpengaruh nyata
 ** Berbeda/berpengaruh sangat nyata

Berdasarkan tabel uji keberagaman anova visikosititas menunjukkan bahwa faktor A konsentrasi katalis tidak memberikan pengaruh nyata terhadap visikosititas yang dihasilkan, begitupun dengan faktor B variasi waktu reaksi tidak memberikan pengaruh nyata terhadap visikosititas biodiesel. Interaksi kedua faktor AxB juga tidak memberikan pengaruh nyata terhadap visikosititas biodiesel yang dihasilkan. Selanjutnya untuk mengetahui perbedaan pada kedua perlakuan dilakukan uji BNT pada kedua faktor. Adapun uji BNT yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 15.

Tabel 15. Uji Interaksi BNT Visikosititas.

Faktor A	Faktor B		
	B1	B2	B3
A 1	3,965 ^b	3,880 ^b	3,810 ^b
A2	4,175 ^b	3,915 ^b	3,830 ^b
A3	3,620 ^b	4,035 ^b	3,910 ^b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang berbeda menunjukkan kelompok nilai yang berbeda (tren perbedaan).

Berdasarkan uji interaksi BNT visikosititas yang dilakukan menunjukkan bahwa perlakuan kombinasi A2B2 dengan konsentrasi katalis 1% dan waktu reaksi 120 menit mendapatkan nilai visikosititas tertinggi dengan nilai 4,175 cSt, dan nilai terendah didapatkan pada kombinasi perlakuan A3B1 dengan nilai 3,620 cSt dengan visikosititas terendah. Perlakuan lainnya menunjukkan nilai relatif tidak jauh beda atau berdekatan. Perbedaan notasi pada tabel menunjukkan kecenderungan nilai variasi visikosititas.

Berdasarkan data, peningkatan konsentrasi katalis menunjukkan peningkatan nilai visikosititas yang didapat. Akan tetapi perlakuan A2 menghasilkan rerata yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan konsentrasi katalis 2% dan 3%. Kondisi menunjukkan bahwa pada konsentrasi katalis 2% merupakan kondisi optimum. Pada kondisi ini proses reaksi transesterifikasi berlangsung lebih efektif. Sehingga konversi trigliserida menjadi metil ester berlangsung lebih sempurna. Biodiesel yang dihasilkan mempunyai metil ester yang tinggi tinggi dan visikosititas yang relatif lebih tinggi. Namun pada perlakuan konsentrasi katalis 3% terjadi penurunan nilai visikosititas. Hal ini terjadi akibat terjadinya reaksi samping berupa reaksi penyabunan akibat katalis basa dan asam lemak bebas yang terkandung pada bahan baku minyak jelantah. Hal ini menyebabkan penghambatan pemisahan gliserol dan

terperangkapnya metanol dalam fase biodiesel. Keberadaan methanol pada biodiesel menyebabkan nilai viskositas menurun. Peningkatan konsentrasi katalis pada pembuatan biodiesel memberikan efek positif pada pemutusan ikatan trigliserida dan pembentukan metil ester. Hal ini menyebabkan penurunan viskositas pada biodiesel yang dihasilkan (fikri et al., 2023).

Pada faktor pengaruh waktu reaksi berdasarkan data menunjukkan bahwa perlakuan B2 dengan waktu reaksi 120 menit menghasilkan nilai viskositas lebih tinggi dibandingkan dengan 2 perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa waktu reaksi selama 120 menit merupakan waktu yang cukup kontak reaktan dan katalis berlangsung optimal, sehingga pada kondisi ini reaksi transesterifikasi mencapai kesetimbangan. Pada waktu reaksi yang terlalu singkat memungkinkan reaksi transesterifikasi tidak berlangsung sempurna sehingga adanya trigliserida yang belum terkonversi menjadi metil ester, hal ini mempengaruhi variasi komposisi biodiesel dan fluktuasi biodiesel.

Sedangkan pada waktu yang terlalu lama memungkinkan terjadinya reaksi balik (*reversible reaction*) serta terjadi degradasi sebagian pada metil ester, hal ini menyebabkan viskositas pada biodiesel tidak lagi meningkat. Hal ini sejalan dengan penelitian van Pelt (2025) menyatakan peningkatan waktu reaksi hingga kondisi optimum mampu menurunkan viskositas biodiesel karena konversi trigliserida menjadi metil ester terjadi lebih sempurna. Sedangkan waktu reaksi yang lebih singkat rentan membuat reaksi belum sempurna, sedangkan waktu reaksi yang terlalu lama melebihi titik optimum tidak memberikan sifat perbaikan viskositas biodiesel.

Interaksi kedua faktor konsentrasi katalis dan waktu reaksi terhadap viskositas biodiesel tidak memberikan pengaruh nyata, artinya kedua faktor tidak memberikan pengaruh nyata terhadap hasil. Kombinasi A2B1 dan A3B2 menghasilkan nilai viskositas tertinggi. Dari data menunjukkan bahwa konsentrasi katalis yang optimum yang dipadukan dengan waktu reaksi yang cukup menghasilkan kestabilan viskositas terbaik.

Seluruh perlakuan pada pembuatan biodiesel telah memenuhi standard mutu SNI 7182:2015 untuk viskositas, yang mana SNI biodiesel batas standard 2,3-6,0 cSt. Hal ini sesuai standar karena viskositas yang dihasilkan seluruh perlakuan

Commented [sh8]: Jelaskan tentang tabel uji BNT viskositas saya. Kenapa tidak stabil apa penyebab dan berikan saya jurnal yang membahas tentang ketidakstabilan dari viskositas ini.

berada pada rentang 3,62-4,18 cSt. Hal ini menandakan bahwa katalis heterogen dari bonggol jagung yang dikalsinasi efektif digunakan pada reaksi transesterifikasi minyak jelantah.

Hasil uji viskositas pada penelitian ini apabila dibandingkan dengan penelitian produksi biodiesel menggunakan katalis *fly ash* yang dilakukan oleh Oka and Kurniawan (2025) mendapatkan nilai viskositas sebesar 4,46 cSt, sedangkan pada penelitian ini didapatkan nilai viskositas tertinggi yaitu 4,18 cSt. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai viskositas yang didapatkan tidak terlalu jauh signifikan dan keduanya masih sesuai dengan standard SNI.

4.5.Kadar Air.

Data primer analisa kadar air terhadap konsentrasi katalis dan waktu reaksi dapat dilihat pada tabel 16.

Tabel 16. Data Primer Kadar Air (%).

SAMPEL	ULANGAN		Total	RATA-RATA
	1	2		
A1B1	0,75	0,52	1,27	0,635
A1B2	0,59	0,64	1,23	0,615
A1B3	0,59	0,59	1,18	0,590
A2B1	0,58	0,58	1,16	0,580
A2B2	0,61	0,54	1,15	0,575
A2B3	0,59	0,55	1,14	0,570
A3B1	0,62	0,56	1,18	0,590
A3B2	0,64	0,52	1,16	0,580
A3B3	0,61	0,64	1,25	0,625
			10,72	

Data primer analisa kadar air pada tabel selanjutnya dilakukan analisa keragaman unotuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap densitas biodiesel yang dihasilkan. Hasil analisa uji ANOVA disajikan pada tabel 17.

Tabel 17. Uji Keberagaman ANOVA kadar Air.

SK	DB	JK	KT	Fhit	F Tab		KET
					0,05	0,01	
Perl	8	0,0088	0,0011	0,246	3,23	5,470	TN
A	2	0,0045	0,0022	0,499	4,26	8,020	TN
B	2	0,0004	0,0002	0,046	4,26	8,022	TN
VP	4	0,0040	0,0010	0,220	3,63	6,420	TN
Galat	9	0,0400	0,0045				
Total	17	0,0490					

Ket: TN Berbeda/berpengaruh tidak nyata
 * Berbeda/berpengaruh nyata
 ** Berbeda/berpengaruh sangat nyata

Berdasarkan uji keberagaman ANOVA kadar air yang dilakukan faktor A konsentrasi katalis tidak memiliki pengaruh nyata terhadap kadar air biodiesel yang dihasilkan. Begitupun dengan faktor B waktu reaksi tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kadar air biodiesel. Interaksi kedua faktor AxB juga tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kadar air biodiesel yang dihasilkan. Selanjutnya untuk mengetahui perbedaan pada kedua perlakuan dilakukan uji BNT pada kedua faktor. Adapun uji BNT yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 18.

Tabel 18. Uji Interaksi BNT Kadar Air.

Faktor A	Faktor B		
	B1	B2	B3
A1	0,635 ^a	0,615 ^a	0,59 ^a
A2	0,58 ^a	0,575 ^a	0,57 ^a
A3	0,59 ^a	0,58 ^a	0,625 ^a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%.

Berdasarkan uji Interaksi BNT yang dilakukan faktor konsentrasi katalis dan waktu reaksi tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kadar air biodiesel yang dihasilkan. Hal ini didukung oleh hasil yang menunjukkan seluruh perlakuan kombinasi perlakuan mempunyai notasi yang sama. Artinya kadar air biodiesel yang dihasilkan tidak berbeda signifikan.

Nilai kadar air yang dihasilkan berada pada kisaran 0,570-0,635%. Yang mana perlakuan A2B3 menjadi produk dengan kadar air paling kecil dan perlakuan A1B1

menjadi kadar air terbesar. Rentang nilai kadar air yang dihasilkan tidak berbeda signifikan. Nilai kadar air yang dihasilkan menunjukkan bahwa variasi konsentrasi katalis heterogen dari bonggol jagung yang dikalsinasi maupun variasi waktu reaksi tidak mempengaruhi jumlah kadar air yang tersisa dalam produk biodiesel yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena kadar air yang terkandung pada produk biodiesel lebih dipengaruhi pada tahap pencucian biodiesel. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [Oko and Kurniawan \(2025\)](#) yang menyatakan bahwa waktu reaksi dan variasi katalis tidak memberikan pengaruh terhadap kadar pada biodiesel. Kandungan kadar pada biodiesel berasal dari sisa air dari pemurnian biodiesel. Tidak adanya perbedaan nyata pada nilai kadar air biodiesel yang dihasilkan dikarenakan proses pencucian dan pemurnian pada biodiesel relatif sama pada seluruh sampel.

Kadar air biodiesel yang dihasilkan apabila dibandingkan dengan standard mutu biodiesel **SNI 7182:2015** yang mensyaratkan kadar air maksimal sebesar 0,05%. Nilai kadar air yang dihasilkan masih diatas standard SNI yang ditetapkan. Sehingga biodiesel yang dihasilkan perlu dilakukan pretreatment lanjutan untuk mengurangi kadar air pada biodiesel.

Hasil uji kadar air yang dihasilkan pada penelitian ini yang tertinggi sebesar 0,63% berbeda jauh dengan kadar air yang dihasilkan oleh penelitian yang dilakukan oleh [Oko and Kurniawan \(2025\)](#) yang mendapatkan nilai kadar air tertinggi di 0,43%. Kedua penelitian sama-sama belum memenuhi standard SNI kadar air biodiesel.

Tabel 19. Uji Korelasi Antar Parameter.

	<i>Yield</i>	<i>Kadar air</i>	<i>Densitas</i>	<i>Visikositas</i>	<i>ALB</i>
Yield	1				
Kadar air	0,302145	1		C	
Densitas	-0,35465	-0,14521	1		
Visikositas	0,060962	-0,01284	0,03607	1	
ALB	0,775776	0,581185	0,75402	0,010449	1

Ket: Nilai r mendekati +1 menunjukkan korelasi positif kuat
 r mendekati -1 menunjukkan korelasi negatif kuat
 r mendekati 0 menunjukkan hubungan yang lemah/ tidak berkorelasi.

Commented [sh9]: Kenapa kadar air tidak kseusai SNI dan apa penyebab dari ketidasesuain itu. Berikan saya jurnal yang membahas tentang proses pencucian dari biodiesel

Berdasarkan tabel analisa korelasi antar parameter, dapat dilihat bahwa hasil produksi biodiesell (*yield*) memiliki korelasi positif dengan kandungan kadar air, dengan nilai $r=0,3021$. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan hasil *yield* diikuti oleh peningkatan ringan pada kadar air. Hubungan ini dapat dijelaskan secara logis, yaitu semakin banyak *yield* yang didapat, semakin besar volume biodiesel pada tahap pencucian, sehingga peluang air tetap tersisa dalam biodiesel semakin tinggi. Di sisi lain, hasil menunjukkan korelasi negatif dengan densitas dengan nilai $r= -0,3547$. Artinya, biodiesel dengan hasil tinggi cenderung memiliki densitas yang lebih rendah. Secara ilmiah, peningkatan hasil menunjukkan bahwa konversi trigliserida menjadi metil ester menjadi lebih lengkap. Perlu dicatat bahwa metil ester memiliki densitas yang lebih rendah daripada minyak jelantah, sehingga densitas biodiesel cenderung menurun seiring dengan peningkatan hasil.

Seperti yang ditunjukkan oleh nilai $r=0,0610$, menunjukkan bahwa perubahan hasil *yield* yang terjadi pada perlakuan penelitian ini tidak cukup signifikan untuk menyebabkan perubahan pada viskositas yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat dari karakteristik viskositas pada setiap perlakuan yang relatif sama atau seragam. Di sisi lain, korelasi antara *yield* dan ALB menunjukkan hubungan positif yang kuat dengan nilai $r=0,7758$. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa perubahan hasil *yield* ini diikuti oleh perubahan tingkat ALB. Pembentukan biodiesel dalam beberapa perlakuan masih disertai dengan pembentukan asam lemak bebas akibat reaksi samping dan proses pencucian yang optimal, yang menyebabkan peningkatan ALB.

Kadar air menunjukkan korelasi positif yang kuat dengan ALB, dengan nilai kadar air $r=0,5812$. Hubungan ini berarti semakin tinggi kadar air dalam biodiesel, semakin tinggi pula kandungan ALB yang terbentuk. Hasil ini sesuai dengan teori yang menjelaskan bahwa keberadaan air dapat memicu reaksi hidrolisis yang menghasilkan asam lemak bebas. Di sisi lain, korelasi antara kandungan air dan densitas menunjukkan hubungan negatif yang lemah dengan nilai $r=-0,1452$ sedangkan hampir tidak ada korelasi dengan viskositas, seperti yang ditunjukkan nilai $-0,0128$. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kadar air dalam rentang yang diperoleh dalam penelitian ini tidak cukup besar untuk memiliki efek signifikan pada densitas dan viskositas biodiesel.

Commented [sh10]: Jelaskan tabel korelasi antara Yield dan ALB dari penelitian saya.

Densitas berkorelasi negatif kuat dengan ALB dengan nilai $r = -0,07540$, hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan ALB, semakin rendah densitas biodiesel cenderung menurun. Dari sudut pandang kimia, fenomena ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa komposisi produk biodiesel dalam ini didominasi oleh metil ester ketika kandungan ALB meningkat. Kondisi ini terjadi karena asam lemak bebas juga mengalami transesterifikasi menjadi metil ester, yang menyebabkan metil ester menurun. Sementara itu, korelasi negatif yang sangat lemah kore dengan nilai $r = -0,0361$. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa perubahan densitas tidak diikuti oleh perubahan viskositas yang signifikan pada penelitian ini.

Kadar air ($r = -0,0128$), Densitas ($R = -0,0361$), dan ALB ($r = -0,0104$) menunjukkan bahwa rentang perlakuan yang diterapkan dalam penelitian ini tidak cukup untuk menghasilkan perubahan signifikan pada viskositas biodiesel. Secara ilmiah, viskositas lebih dipengaruhi oleh komposisi metil ester rantai panjang dan keberadaan gliserida sisa.

Berdasarkan analisis korelasi, dapat disimpulkan bahwa asam lemak bebas merupakan parameter yang paling berhubungan dengan perubahan sifat biodiesel. Hal ini ditunjukkan korelasi kuat dengan *yield*, kadar air, dan densitas. Sebaliknya, viskositas tidak terlalu terpengaruh oleh variasi parameter lain dalam studi ini. Oleh karena itu, tingkat keberhasilan proses produksi biodiesel dalam studi ini lebih jelas terlihat pada nilai *yield* dan kandungan ALB daripada pada perubahan yang terjadi pada viskositas densitas.

4.6. Analisa BET Katalis Heterogen Bonggol Jagung.

Tabel 20. Hasil Uji BET Katalis Bonggol Jagung.

Parameter BET	Satuan	Nilai
Slope BET	–	196,179
Intercept	–	0,480
Konstanta BET (C)	–	409,678
Koefisien Korelasi (r)	–	0,999941
Luas Permukaan BET (Multi-point)	m ² /g	17,708
Luas Permukaan (Single-point)	m ² /g	17,434
Jenis Adsorbat	–	N ₂
Suhu Adsorpsi	K	77,35

Karakteristik luas permukaan katalis dilakukan menggunakan metode *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) dengan adsorpsi nitrogen pada suhu 77K. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui luas permukaan spesifik material, yang merupakan parameter penting dalam menentukan kemampuan katalis heterogen dalam menyediakan situs aktif selama reaksi transesterifikasi.

Berdasarkan hasil analisa uji BET yang dilakukan, katalis dari bonggol jagung yang dikalsinasi memiliki luas permukaan sebesar 17, 708 m²/g. Nilai ini diperoleh menggunakan BET multi-point dengan koefisien korelasi sebesar 0,999941. Angka ini menunjukkan bahwa data adsorpsi memenuhi linearitas persamaan BET dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Oleh karena itu, nilai luas permukaan yang diperoleh dianggap valid serta memenuhi karakteristik fisik katalis.

Nilai konstanta BET (C) yang diperoleh dalam uji ini adalah 409,678. Nilai konstanta C yang tinggi ini menunjukkan bahwa interaksi antara molekul nitrogen dan permukaan katalis sangat kuat. Kondisi ini menunjukkan bahwa permukaan katalis memiliki energi adsorpsi yang cukup, yang berarti terdapat situs aktif potensial untuk memfasilitasi reaksi transesterifikasi.

Proses kalsinasi bonggol jagung pada suhu tinggi bertujuan untuk menghilangkan komponen organik volatil seperti hemiselulosa dan lignin. Kehilangan komponen-komponen ini menyebabkan pembentukan struktur porous dan meningkatkan porositas material. Akibatnya, luas permukaan kontak antara katalis dan reaktan menjadi lebih luas, sehingga meningkatkan peluang interaksi antara molekul trigliserida dan metanol di permukaan katalis.

Nilai luas permukaan yang diperoleh juga diperkuat oleh hasil *single-point surface area* sebesar 17,434 m²/g, yang mendekati nilai multi-point BET. Kesamaan antara kedua nilai ini menunjukkan bahwa hasil uji konsisten dan struktur pori katalis stabil. Kehadiran struktur pori dengan luas permukaan besar sangat mendukung kinerja katalis heterogen dalam proses produksi biodiesel. Semakin besar luas permukaan katalis, semakin banyak situs aktif yang tersedia untuk mengadsorpsi reaktan, sehingga meningkatkan laju transesterifikasi minyak limbah menjadi metil ester. Berdasarkan hasil BET, dapat disimpulkan

bahwa katalis tongkol jagung yang dikalsinasi memiliki karakteristik fisik yang memadai untuk diterapkan pada penelitian pembuatan biodiesel.

Luas permukaan katalis yang dihasilkan yaitu $17,7 \text{ m}^2/\text{g}$ memang menunjukkan bahwa katalis mempunyai jumlah situs aktif untuk terjadinya reaksi transesterifikasi, akan tetapi belum maksimal dalam menghasilkan konversi maksimum. Penggunaan rasio mol 1:4 menyebabkan ketersediaan metanol untuk mengisi dan mengaktivasi seluruh situs basa pada permukaan katalis.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa luas permukaan BET katalis dari Zeolit jauh lebih luas apabila dibandingkan dengan katalis heterogen dari biomassa sederhana. Biasanya luas permukaan BET katalis dari zeolit mencapai ratusan hingga ribuan m^2/g . Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Changmai et al (2020) yang menunjukkan luas permukaan BET katalis β -zeolit sebesar $469 \text{ m}^2/\text{g}$ sedangkan pada penelitian ini luas permukaan BET katalis berbasis bonggol jagung sekitar $17,7 \text{ m}^2/\text{g}$. Hasil ini menunjukkan perbedaan yang sangat jauh dari luas permukaan BET antara kedua katalis heterogen. Perbedaan luas permukaan BET antara kedua katalis heterogen ini disebabkan oleh karena struktur *kristal mikropori* yang teratur dari zeolit, sedangkan untuk bonggol jagung sendiri memiliki struktur *amorf* hasil kalsinasi biomassa yang menghasilkan pori tidak seragam serta jumlah yang terbatas.

Selama reaksi transesterifikasi, katalis heterogen berbasis basa mengaktifkan metanol di permukaan katalis. Proses ini melibatkan pelepasan proton oleh situs basa, membentuk ion metoksida. Ion metoksida yang bersifat *nukleofilik* kemudian menyerang kelompok karbonil dalam trigliserida, menghasilkan metil ester dan gliserol sebagai produk reaksi.

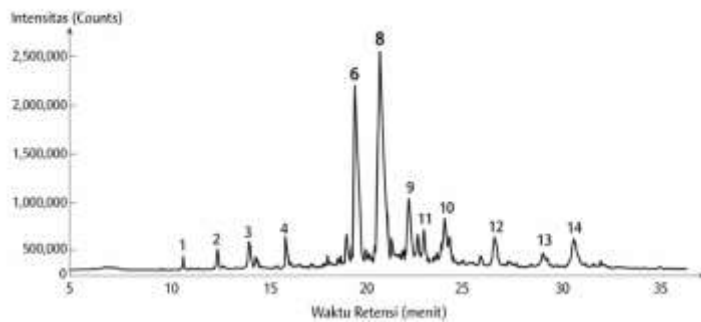
Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, penggunaan katalis heterogen berbasis bonggol jagung ini menunjukkan kondisi pada konsentrasi katalis yang lebih rendah dan waktu reaksi yang lebih singkat cukup untuk mencapai konversi awal, namun belum mencapai belum mencapai reaksi samping. Sedangkan pada konsentrasi katalis yang lebih rendah yang masih mampu mengaktivasi metanol secara efektif.

Commented [sh11]: Berdasarkan tabel apakah luas permukaan sudah layak digunakan pada reaksi transesterifikasi apabila dibandingkan dengan katalis heterogen lainnya

Commented [sh12]: Bagaimana performa dari katalis itu sendiri terhadap yield dan metil ester yang dihasilkan

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka perlu dilakukan treatment pada produk untuk memaksimalkan hasil penelitian terutama untuk *yield* yang diperoleh. Perlakuan tersebut meliputi seperti penghentian reaksi pada waktu optimum, pemisahan katalis dengan produk secara cepat, serta proses pencucian dan pengeringan yang lebih terkendali. Treatment ini bertujuan menekan terjadinya reaksi samping, sehingga metil ester yang telah terbentuk dapat dipertahankan secara optimal.

4.7.Uji GC-MS Biodiesel.



Gambar 6. Kromatogram GC-MS Biodiesel

Tabel 21. Hasil Analisis GC-MS

No	Waktu Retensi (menit)	Luas Area	Area (%)	Keterangan
1	6,474	249,309	1,07	Senyawa volatil minor
2	9,277	271,972	1,17	Senyawa volatil minor
3	11,984	1,512,060	6,51	Metil ester
4	14,458	849,319	3,66	Metil ester
5	16,514	48,235	0,21	Impuritas
6	16,712	7,545,250	32,50	Metil ester (dominan)
7	17,389	69,407	0,30	Impuritas
8	18,541	10,492,399	45,20	Metil ester (dominan)
9	18,729	912,555	3,93	Metil ester

10	19,148	124,598	0,54	Senyawa minor
11	20,581	62,144	0,27	Senyawa minor
12	25,253	99,347	0,43	Senyawa minor
13	28,390	259,706	1,12	Metil ester
14	31,503	718,305	3,09	Metil ester
Total	–	23.214.606		

Tabel diatas menunjukkan hasil uji GC-MS yang dilakukan pada sampel terbaik yaitu A1B1. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada sampel A1B1 kromatogram total ion *Chromatogram* (TIC) menunjukkan 14 puncak senyawa dengan waktu retensi berkisar antara 6,47 hingga 31,50 menit. Total luas area puncak yang terdeteksi sebesar 23.214.606 yang mempresentasikan keseluruhan komponen volatil dalam sampel.

Senyawa dominan dalam sampel ditunjukkan oleh puncak 8 dengan waktu retensi 18,541 menit, yang memiliki persentase area 45,20%, diikuti oleh puncak 6 dengan waktu retensi 16,712 menit dan area relatif 32,50%. Dominasi kedua puncak ini menunjukkan bahwa sampel didominasi oleh senyawa utama, yang kemungkinan besar merupakan metil ester rantai panjang. Senyawa ini umumnya terbentuk selama proses transesterifikasi minyak menjadi biodiesel.

Selain komponen utama teridentifikasi pula 11 beberapa puncak dengan area menengah seperti peak 3 (11,984 menit; 6,51%), peak 9 (18,729 menit; 3,93%) dan peak 4 (32,503 menit; 3,09%). Keberadaan puncak-puncak ini menunjukkan adanya komponen minor, yang mana senyawa ini dapat berupa metil ester dengan panjang rantai atau tingkat kejenuhan berbeda, maupun sisa senyawa reaksi.

Sementara itu, beberapa puncak dengan persentase area relatif kecil (<1%) seperti peak 1,2,5,7,10,11,dan 12 mengindikasikan adanya impuritas atau residu senyawa volatil dalam jumlah yang sangat kecil. Senyawa-senyawa ini dapat berasal dari sisa metanol, produk samping, atau komponen minor dari bahan baku minyak jelantah.

Secara keseluruhan, profil kromatogram yang didominasi oleh beberapa puncak utama dengan area yang besar menunjukkan bahwa proses transesterifikasi telah berlangsung dengan baik dan menghasilkan fraksi metil ester yang cukup

Commented [sh13]: Jelaskan hasil uji analisis GCMS dari biodiesel).

tinggi. Namun puncak minor masih ditemukan, menunjukkan bahwa proses pemurnian atau reaksi belum selesai sepenuhnya, sehingga senyawa lain selain metil ester masih terdapat dalam sampel.

Berdasarkan analisis GC-MS ini kadar metil ester yang pada biodiesel diperkirakan sebesar $\pm 94,9\%$. Nilai ini menunjukkan bahwa produk biodiesel yang dihasilkan didominasi oleh senyawa metil ester, menandakan bahwa proses transesterifikasi telah berlangsung dengan baik. Berdasarkan nilai hasil GC-MS yang didapatkan yaitu sebesar $\pm 94,9\%$, nilai ini belum memenuhi standard nasional Indonesia (SNI 7182:2015) yaitu minimum $\pm 96,5\%$. Hasil ini disebabkan oleh masih adanya kandungan senyawa non-ester serta pengaruh reaksi samping selama proses transesterifikasi.

Tingkat biodiesel metil ester yang tinggi yang hanya mencapai $\pm 94,9\%$ dalam penelitian ini, dipengaruhi beberapa faktor. Faktor pertama, proses reaksi konversi yang belum berjalan secara optimal menyebabkan hasil yang kurang optimal. Kedua, munculnya reaksi samping seperti saponifikasi yang juga menurunkan kualitas produk. Tidak hanya itu, pemilihan katalis basa heterogen dan kondisi reaksi yang tidak tepat juga menyebabkan hilangnya sejumlah metil ester selama proses pemisahan. Kondisi-kondisi ini pada akhirnya menyebabkan kandungan metil ester yang didapatkan tidak memenuhi standard kualitas SNI yang berlaku.

Berdasarkan hasil uji GC-MS yang didapatkan yaitu $\pm 94,9\%$, apabila dibandingkan dengan hasil uji GC-MS penelitian yang dilakukan Photon (2016) menggunakan katalis CaO dari cangkang kerang darah menunjukkan hasil tertinggi didapatkan metil ester tertinggi adalah metil oleat (39,43%), metil palmitat (28,82%), dan metil linoleat (6,62%).

Commented [sh14]: Apa penyebab metil ester belum memenuhi standard

Commented [sh15]: Berikan saya jurnal yang membahas tentang penggunaan katalis dan hasil GCMS nya)

BAB V.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan.

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan mengenai produksi biodiesel dari minyak jelantah dengan memanfaatkan katalis heterogen dari bonggol jagung yang dikalsinasi, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Konsentrasi katalis tidak berpengaruh terhadap *yield*, densitas, viskositas, kadar air namun memberikan pengaruh terhadap kadar asam lemak bebas. Peningkatan massa katalis cenderung menurunkan ALB hingga batas optimum, tetapi pada konsentrasi tinggi memicu reaksi samping yaitu saponifikasi yang menyebabkan turunnya *yield*.
2. Variasi waktu reaksi tidak berpengaruh terhadap karakteristik biodiesel, serta tidak menunjukkan interaksi dengan massa katalis. Waktu reaksi yang terlalu lama cenderung menurunkan *yield* akibat terjadinya reaksi samping, sementara pada ALB bersifat tidak signifikan dalam rentang waktu penelitian.
3. Berdasarkan hasil pengujian dan perbandingan dengan standard nasional Indonesia (SNI 7182:2015), biodiesel yang dihasilkan belum sepenuhnya memenuhi persyaratan mutu. Hal dibuktikan kadar air dan kandungan metil ester belum memenuhi standard minimum SNI, sedangkan densitas, kadar asam lemak bebas, dan viskositas sudah memenuhi standard SNI. sehingga biodiesel yang dihasilkan dinyatakan belum layak.

B. Saran.

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Pengaturan konsentrasi katalis dan waktu reaksi yang digunakan disarankan untuk dilakukan pengurangan konsentrasi katalis dan waktu reaksi untuk mendapatkan kondisi reaksi yang optimum.
2. Untuk mengurangi kandungan kadar air pada biodiesel dan meningkatkan kualitas biodiesel, disarankan untuk melakukan optimasi pada proses

pemurnian dan pencucian, serta melakukan pengeringan pada biodiesel menggunakan vakum ataupun pemanasan.

3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal dengan parameter lain seperti rasio mol methanol terhadap minyak, suhu reaksi guna meningkatkan *yield* biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayu, diah. 2019. "Pengaruh Waktu Reaksi dan Konsentrasi Katalis Terhadap Proses Transesterifikasi dalam Pembuatan Biodiesel dari Jelantah dengan Katalis Abu Layang Batubara."
- Azhari, imam, and universitas medan area. 2023. "Fakultas Teknik Universitas Medan Area Medan Skripsi Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana di Fakultas Teknik Universitas Medan Area oleh : imam azhari Fakultas Teknik Medan."
- Changmai et al. 2020. "Widely Used Catalysts in Biodiesel Production :". 41625–79. doi: 10.1039/d0ra07931f.
- Damayanti, Fitri, Titin Supriyatin, and Titin Supriyatin. 2020. "Pemanfaatan Limbah Minyak Jelantah Sebagai Upaya Peningkatan Kepedulian Masyarakat Terhadap Lingkungan." *Dinamisia : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 5(1):161–68. doi: 10.31849/dinamisia.v5i1.4434.
- Darmawan, Ferry I., and I. Wayan Susila. 2013. "Proses Produksi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Metode Dry-Wash System." *Jtm* 2(1):80–87.
- Devita, Liza, Sekolah Tinggi Penyuluhan, and Pertanian Medan. 2015. "Biodiesel Sebagai Bioenergi Alternatif Dan Prospektif." *Agrica Ekstensia* Vol. 9 No.:23–26.
- Ramadhani. 2024. "Minyak Jelantah." 7(2).
- Efri Mardawati, Mahdi Singgih Hidayat, Devi Maulida Rahmah, and SRosalinda. 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* – 01:46–60. doi: Jurnal Teknik Pertanian.
- Fadhillah, Ghina Nurul, and Dessy Agustina Sari. 2023. "Produksi Biodiesel Yang Berbahan Baku Kelapa Sawit Dengan Melibatkan Katalis Homogen Dan Heterogen." *Pena: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi* 37(2):87. doi: 10.31941/jurnalpena.v37i2.2484.
- fikri et al. 2023. "Asian Journal Of." 1(2):189–99.
- Gumahin, Arjun C., Jounnever M. Galamiton, Meljane J. Allerite, Rohoney S. Valmorida, Jay R. L. Laranang, Val Irvin F. Mabayo, Renato O. Arazo, and Alexander L. Ido. 2019. "Response Surface Optimization of Biodiesel Yield from Pre - Treated Waste Oil of Rendered Pork from a Food Processing Industry." *Bioresources and Bioprocessing*. doi: 10.1186/s40643-019-0284-2.
- Gupta, Vartika, and Kishan Pal Singh. 2022. "Materials Today : Proceedings The Impact of Heterogeneous Catalyst on Biodiesel Production ; a Review." (xxxx).
- Hadrah, Hadrah, Monik Kasman, and Fitria Mayang Sari. 2018. "Analisis Minyak Jelantah Sebagai Bahan Bakar Biodiesel Dengan Proses Transesterifikasi." *Jurnal Daur Lingkungan* 1(1):16. doi: 10.33087/daurling.v1i1.4.
- Hartono, Rudi. 2022. "Biodiesel B30 Terhadap Spesific Fuel Consumsion (SFC) Mesin Wartsila PLTGD 30 MW." *DINAMIKA Jurnal Teknik Mesin* 7(2):27–30. doi:

10.33387/dinamik.v7i2.6051.

- Haryanto, Agus, and Sri Hidayati. 2014. "Pengaruh Rasio Molar dan Waktu Reaksi Terhadap Hasil dan Gelombang Ultrasonik [Effect Of Molar Ratio and Reaction Time On The Yield and Quality Of Biodiesel Produced by Ultrasonic-Aided Transesterification Of Waste Cooking Oil]." 3(1):49–58.
- Haryono, Yati B. Yuliyati, Atiek Rostika Noviyanti, Mochammad Rizal, and Sarifah Nurjanah. 2020. "Characterization of Biodiesel Made from Kemiri Sunan Oil Using Heterogeneous Silica Catalyst Impregnated by Calcium Oxide." *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 38(1):1–68.
- Hidayati, Nur, Tesa Suci Ariyanto, Program Studi, Teknik Kimia, and Universitas Muhammadiyah Surakarta. 2017. "Kalsium Oksida." 1(1):1–5.
- Htc, Cao. 2022. "V13 N2." (September 2021):417–25.
- Isalmi Aziz. 2021. "Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas." *Jurnal Kimia Valensi* 1(1):19–23.
- Issue, Volume, Nur Asma Deli, Antonius Jumadi Sihotang, and Hanifah Khairiah. 2024. "JUTIN : Jurnal Teknik Industri Terintegrasi Produksi Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas Menggunakan Katalis Abu Tandan Kosong Sawit." 7(1):1–7.
- Jaya, Danang, Tunjung Wahyu Widayati, Hanum Salsabiela, Muhammad Fathan, and Abdul Majid. 2022. "Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Heterogen Production of Biodiesel from Waste Cooking Oil Using Heterogeneous Catalyst." 19(1):29–34.
- Komalasari, Wieta B. 2022. "Analisis Kinerja Perdagangan Jagung (Semester I 2022)." *Pusat Data Dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian* 10(1B):69.
- Kusyanto, Kusyanto, and Purwa Aditya Hasmara. 2017. "Pemanfaatan Abu Sekam Padi Menjadi Katalis Heterogen Dalam Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Sawit." *Journal of Tropical Pharmacy and Chemistry* 4(1):14–21. doi: 10.25026/jtpc.v4i1.127.
- Lee, Adam F., James A. Bennett, Jinesh C. Manayil, Karen Wilson, and Adam F. Lee. 2014. "Chem Soc Rev Heterogeneous Catalysis for Sustainable Biodiesel Production via Esterification and Transesterification." 7887–7916. doi: 10.1039/c4cs00189c.
- Marwanto, Melisa Oktaviani Silitinga, Yudhi Harini Bertham, Merakati Handajaningsih, and Prasetyo. 2023. "Azolla Compost-Based Organomineral Fertilizer for Increasing N Uptake, Growth, and Yield of Green Onion." *AIP Conference Proceedings* 2583(3):189–96. doi: 10.1063/5.0116207.
- mauro et al. 2020. "E Ffi Ciency Evaluation on the Influence of Washing Methods for Biodiesel Produced from High Free."
- Meilianti. 2017. "Isolasi Kalsium Oksida (CaO) Pada Cangkang Sotong (Cuttlefish) Dengan Proses Kalsinasi Menggunakan Asam Nitrat Dalam Pembuatan Precipitated Calcium Carbonat (PCC)." *Jurnal Distilasi* 2(1):1–8.

- Oko, Syarifuddin, and Diva Oita Kurniawan. 2025. "Optimalisasi Waktu Reaksi Dan Konsentrasi Katalis Fly Ash Dalam Produksi Biodiesel Dari Minyak Jelantah." 21(1):1–8.
- Pasaribu, Ahmad Taufik, Retno Ambarwati Sigit Lestari, and Rudi Firyanto. 2023. "Pembuatan Biodiesel Dengan Cara Adsorpsi Kulit Pisang Kepok Dan Transesterifikasi Dari Minyak Goreng Bekas." *CHEMTAG Journal of Chemical Engineering* 3(2):40. doi: 10.56444/cjce.v3i2.3151.
- van Pelt, Marc, Dessy Agustina Sari, Muhammad Fahmi Hakim, Grace Trinita, Dessy Agustina Sari, and Muhammad Fahmi Hakim. 2025. "Effect of Time Variation and Mole Ratio on Biodiesel Production from Coconut Oil Using CaO Catalyst via Transesterification Method Pengaruh Variasi Waktu Dan Rasio Mol Pada Produksi Biodiesel Dari Minyak Kelapa Menggunakan Katalis CaO Melalui Metode Trans." 9(2):289–95. doi: 10.30595/jrst.v9i2.24387.
- Photon, Jurnal. 2016. "Dengan Katalis Heterogen CaO dari Cangkang Kerang Darah In $k = \ln a - \ln k = -$." 7(1):39–44.
- Poerwadi, Bambang, Bambang Ismuyanto, Ahmad Ridwan Rosyadi, and Ayu Indah Wibowo. 2019. "Kinetika Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Microwave Pada Produksi Biodiesel Dari Minyak Jarak." *Jurnal Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan* 3(1):6–11.
- Prandika, Luhur. 2013. "WO 3 Hasil Sintesa Sol Gel Dengan Variasi." 2(2):0–5.
- Ramadani, Ramadani, Azhari Azhari, Rizka Mulyawan, Nasrul ZA, and Lukman Hakim. 2023. "Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Biji Kepayang (Pangium Edule Reinw) Menggunakan Katalis Basa Heterogen Dari Limbah Cangkang Kerang Darah." *Journal of Biodiesel Research and Innovation (Journal of BRAIN)* 1(1):9. doi: 10.29103/jbrain.v1i1.13378.
- Reaksi, Reaksidan Temperatur. 2013. "Penurunan Kadar." 11(1):39–44.
- Romadhona, 2024. "Perkembangan Biodiesel Di Indonesia : Review Regulasi Dan Perspektif Pada Masa Mendatang." (5):1–6.
- Sahbana, M. A., and N. Fuhaid. 2012. "Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Awal Biodiesel Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dan Daya Pada Motor Diesel 4 Tak 4 Silinder." *Proton: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Mesin* 4(1):6–11.
- Sains, fakultas, d. A. N. Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, and Banda Aceh. 2021. "Literature Review : Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Sintesis Katalis Heterogen CaO"
- Shell, From Egg, and Rice Husk Extract. 2024. "Karakterisasi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis CaO / SiO₂ Dari Ekstrak Cangkang Telur Dan Sekam Padi Characterization of Biodiesel from Waste Cooking Oil Using CaO / SiO₂ Catalyst." 6(2):120–29.
- Sinaga, Shilvia Vera, Agus Haryanto, and Sugeng Triyono. 2014. "Pengaruh Suhu Dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah." *Jurnal Teknik Pertanian Lampung* 3(1):27–34.

- Suminar, Dian Ratna, Faradila Anindita, Ramadhana Suci Fajriati, and Rony Pasonang Sihombing. 2023. "Sintesis Asam Levulinat Melalui Metode Esterifikasi Dengan Etanol 96% Menggunakan Katalis Heterogen Berbasis Biomassa Untuk Pembuatan Zat Aditif Bahan Bakar." *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* 14(1):481–87. doi: 10.35313/irwns.v14i1.5433.
- Sunardi, Utami Irawati, and Totok Wianto. 2011. "Karakterisasi Kaolin Lokal Kalimantan Selatan Hasil Kalsinasi." *Jurnal Fisika FLUX* 8(1):59–65.
- Supriyanto, Ismanto, and Dan Nuryo Suwito. 2019. "Zeolit Alam Sebagai Katalis Pyrolysis Limbah Ban Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair: Natural Zeolite as Pyrolysis Catalyst of Used Tires into Liquid Fuels." *Automotive Experiences* 2(1):15–21. doi: 10.31603/ae.v2i1.2377.
- Susanto, Danar Agus. 2020. "Daya Saing Ekspor Produk Cpo Indonesia Dan Potensi Hilirisasi Diolah Menjadi Biodiesel." *Jurnal Perspektif Bea Dan Cukai* 4(2). doi: 10.31092/jpbc.v4i2.952.
- Wati, Ida, and Dyah Setyo Pertiwi. 2023. "Pengaruh Waktu , Suhu Dan Rasio Reaksi Transesterifikasi Pada Kualitas Biodiesel Dari Minyak Biji Kesambi (Schleichera Oleosa Lour) The Effect of Time , Temperature and Transesterification Reaction Ratio on Biodiesel Quality of Kesambi Seed Oil (Schleichera Oleosa Lour)." 07(02):31–44.
- Widiarti, n., and e kusumastuti. 2015. "modifikasi katalis cao dengan sro pada reaksi transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel menggunakan info artikel." *Jurnal mipa* 38(1):49–56.
- Yanti, Pepi Helza, and Yendro Gandhi. 2020. "Pengaruh Waktu Kalsinasi Terhadap Sifat Fisika-Kimia Hidroksiapatit Dari Cangkang Geloina Coaxans." *Chemistry Progress* 13(2):102–6. doi: 10.35799/cp.13.2.2020.31473.
- Zaki, Muhammad, Husni Husin, M.T., Pocut Nurul Alam, Darmadi Darmadi, Cut Meurah Rosnelly, and Nurhazanah Nurhazanah. 2019. "Transesterifikasi Minyak Biji Buta-Buta Menjadi Biodiesel Pada Katalis Heterogen Kalsium Oksida (CaO)." *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan* 14(1):36–43. doi: 10.23955/rkl.v14i1.13495.

LAMPIRAN 1

Analisis Densitas.(Pasaribu *et. all*, 2023)

Berikut adalah penjelasan langkah-langkah menentukan massa jenis pada suhu 40°C (ASTM D1298) Persiapan Piknometer dibersihkan terlebih dahulu menggunakan aquades, kemudian dibilas dengan etanol dan dikeringkan dalam oven. Setelah kering, timbang massa piknometer kosong. Isi piknometer dengan aquadest (air deionisasi) pada suhu 40°C hingga mencapai tanda tera. Masukkan piknometer ke dalam penangas air yang telah diatur pada suhu 40°C selama 30 menit. Pastikan suhu penangas air tetap stabil pada 40°C. Setelah 30 menit, timbang massa piknometer berisi aquadest Pengisian Sampel (Biodiesel). Kosongkan piknometer, cuci dengan alkohol, dan keringkan. Isi kembali piknometer dengan biodiesel pada suhu 40°C hingga mencapai tanda tera. Masukkan piknometer ke dalam penangas air bersuhu 40°C selama 30 menit. Angkat piknometer, bersihkan permukaannya dengan kertas tisu, lalu timbang massa piknometer berisi biodiesel.

$$p = \frac{(mb - mk)}{vp}$$

$$p = \frac{(20,82223 - 12,1949)}{10} = 0,862 \text{ g/cm}^3$$

Di mana:

- mb = massa piknometer berisi biodiesel (gram),
- mk = massa piknometer kosong (gram),
- Vp = Volume piknometer (gram),

Lampiran 2

Analisis Kadar air. (Pasaribu *et. all*, 2023)

Pengujian kadar air dilakukan menggunakan **moisture analyzer** dengan prinsip pengukuran kehilangan massa akibat pemanasan. Sampel ditimbang terlebih dahulu sebagai berat awal, kemudian dipanaskan pada suhu tertentu hingga kandungan air di dalam sampel menguap dan beratnya menjadi konstan. Selisih antara berat sebelum dan sesudah pemanasan digunakan sebagai dasar penentuan kadar air.

Sebelum pengujian, alat dinyalakan dan dikalibrasi sesuai prosedur, kemudian cawan sampel dipasang dan ditara. Sampel yang telah homogen ditimbang secukupnya dan diratakan di atas cawan agar proses pemanasan berlangsung merata. Selanjutnya, suhu pengeringan diatur sesuai jenis sampel dan proses analisis dijalankan hingga alat menyelesaikan pengukuran secara otomatis.

Nilai kadar air ditampilkan langsung oleh *moisture analyzer* dalam bentuk persentase. Perhitungan kadar air didasarkan pada perbandingan penurunan berat sampel terhadap berat awal. Metode ini merupakan pengembangan dari metode oven konvensional yang banyak digunakan karena waktu analisis lebih singkat dan pengoperasiannya lebih praktis, meskipun hasil pengukuran dapat dipengaruhi oleh senyawa volatil selain air yang ikut menguap selama proses pemanasan.

Lampiran 3

Analisis FFA(Pasaribu *et. all*, 2023).

Berikut adalah penjelasan langkah-langkah menentukan bilangan asam sampel biodiesel dalam bentuk kalimat Sampel biodiesel sebanyak 3 gram dimasukkan ke dalam Erlenmeyer, tambahkan 5 mL alkohol 95% ke dalam Erlenmeyer yang berisi sampel biodiesel. Panaskan campuran dalam penangas air sambil diaduk hingga mendidih dan terbentuk larutan homogen. Setelah larutan homogen, dinginkan campuran hingga mencapai suhu ruang. Titrasi larutan yang telah dingin dengan larutan NAOH 0,1 N menggunakan indikator fenolftalein (PP) sampai terbentuk warna merah jambu yang stabil selama 30 detik.

$$\text{FFA} = \frac{V \times N \times 56,1}{m \times 1000} \times 100\%$$

$$\text{FFA} = \frac{0,79 \times 0,1 \times 295}{3 \times 1000} \times 100\% = 0,777\%$$

Di mana:

- V = volume NAOH yang digunakan untuk titrasi (mL),
- N = normalitas larutan NAOH (0,1 N),
- m = massa sampel biodiesel (gram).

Lampiran 4

Analisis GCMS. (Pasaribu *et. all*, 2023)

Berikut adalah penjelasan langkah-langkah analisis metil ester menggunakan GC-MS. Metil ester yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi dipersiapkan sebagai sampel untuk dianalisis. Sampel metil ester dianalisis menggunakan alat Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). GC-MS memisahkan komponen-komponen dalam sampel berdasarkan perbedaan sifat fisika-kimia dan mengidentifikasi struktur molekulnya. Analisis ini menghasilkan kromatogram yang menampilkan puncak-puncak. Setiap puncak pada kromatogram mewakili jenis metil ester spesifik yang terkandung dalam sampel. Setiap puncak dianalisis lebih lanjut menggunakan spektrum massa untuk menentukan jenis metil ester yang spesifik, seperti metil oleat, metil stearat, metil palmitat, atau metil linoleat, tergantung pada profil asam lemak yang ada. Data dari GC-MS digunakan untuk mengidentifikasi komposisi metil ester dalam sampel dan memastikan kualitas serta kemurnian produk hasil transesterifikasi. Dengan analisis GC-MS, komposisi metil ester dapat diketahui secara detail, sehingga memudahkan evaluasi kualitas biodiesel yang dihasilkan.




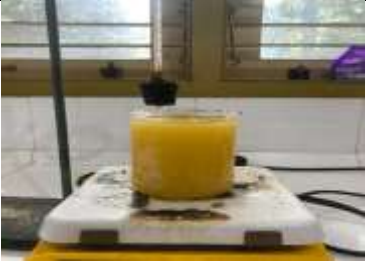


Lampiran 5

Analisis Viskositas.

Pengujian viskositas dilakukan menggunakan *viscometer* untuk menentukan tingkat kekentalan sampel. Pengukuran dilakukan berdasarkan waktu atau respon aliran sampel ketika diberikan gaya tertentu sesuai prinsip kerja alat. Nilai viskositas menunjukkan hambatan fluida terhadap aliran dan dinyatakan dalam satuan viskositas dinamis.

Sebelum pengujian, viscometer dipersiapkan dan dikalibrasi sesuai petunjuk penggunaan. Sampel dimasukkan ke dalam wadah pengujian hingga mencapai volume yang ditentukan, kemudian suhu pengujian diatur dan dijaga konstan agar tidak mempengaruhi hasil pengukuran. Setelah alat dijalankan, viskositas sampel dibaca secara langsung dari skala atau tampilan alat.

Lampiran 6

	
<p>Pengovenan bonggol jagung</p>	<p>Furnace Bonggol Jagung</p>
	
<p>Bahan Baku</p>	<p>Esterifikasi Minyak Jelanta</p>
	
<p>Pengayakan Katalis</p>	<p>Reaksi Transesterifikasi</p>



Pencucian Biodiesel



Uji ALB Minyak jelantah



Moistur analyzer untuk uji kadar air



Menimbang sampel untuk uji densitas



Menghitung Yield menggunakan gelas ukur



Uji ALB Biodiesel



Uji Visikosis menggunakan viscometer



Vakum Produk