

**PEMANFAATAN KATALIS NaOH/CaO DARI CANGKANG
TELUR AYAM UNTUK KONVERSI BIODIESEL PADA
MINYAK JELANTAH**

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Strata 1 dalam Ilmu Kimia**



Oleh: Cikal Nurlita

NIM: 1908036012

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS ISLAM
NEGERI WALISONGO SEMARANG
2023**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Cikal Nurlita

NIM : 1908036012

Program Studi : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini yang berjudul:

**PEMANFAATAN KATALIS NaOH/CaO TURUNAN
CANGKANG TELUR AYAM UNTUK PEMBUATAN BIODIESEL
PADA MINYAK JELANTAH**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian atau karya sendiri,
kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 27 Desember 2023

Pembuat Pernyataan,



Cikal Nurlita

NIM: 1908036012



**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Prof. Dr. Hamka Ngaliyan, Semarang Telp. 024-7601295

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : Pemanfaatan Katalis NaOH/CaO dari
Cangkang Telur Ayam untuk Konversi
Biodiesel pada Minyak Jelantah

Penulis : Cikal Nurlita

NIM : 1908036012

Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang munaqosah oleh Dewan Penguji
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat
diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana
dalam Ilmu Kimia.

Semarang, 4 Januari 2024

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang

Mulyatun, M.Si

NIP: 198305042011012008

Sekretaris Sidang

Kholidah, M.Si

NIP: 198508112019032008

Penguji I

Dr. Hj. Malikhatul Hidayah, S.Pd., M.T.

NIP: 198304152009122000

Penguji II

Dyah Fitasari, M.Si

NIP: 198501022019032017

Pembimbing I

Mulyatun, M.Si

NIP: 198305042011012008

Pembimbing II

Drs. Achmad Hasmi Hashona,
M.A.

NIP: 196403081993031002

Semarang, 27 Desember 2023

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UINWalisongo Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan
bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pemanfaatan Katalis NaOH/CaO dari Cangkang Telur
Ayam untuk Konversi Biodiesel pada Minyak Jelantah

Penulis : Cikal Nurlita

NIM : 1908036012

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat
diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo
Semarang untuk diajukan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum wr. wb

Pembimbing I



Mulyatun, M. Si

NIP. 198305042011012008

NOTA DINAS

Semarang, 27 Desember 2023

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pemanfaatan Katalis NaOH/CaO dari Cangkang Telur
Ayam untuk Konversi Biodiesel pada Minyak Jelantah

Penulis : Cikal Nurlita

NIM : 1908036012

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum wr.wb

Pembimbing II



Drs. Achmad Hasmi Hashona, M.A

NIP. 196403081993031002

ABSTRAK

Cadangan minyak bumi di Indonesia terus turun tiap tahunnya karena minyak bumi merupakan salah satu sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, sehingga mengakibatkan kelangkaan pasokan energi. Biodiesel dapat menjadi solusi alternatif pengganti minyak bumi. Minyak jelantah dapat dikonversi menjadi biodiesel sebagai energi alternatif melalui proses transesterifikasi. Cangkang telur ayam disintesis menjadi katalis CaO untuk digunakan sebagai katalisator dari proses konversi biodiesel. Katalis CaO dimodifikasi dengan padatan NaOH menjadi katalis NaOH/CaO untuk meningkatkan kinerja katalis. Hasil karakterisasi XRD katalis CaO dan NaOH/CaO menunjukkan puncak khas CaO pada $2\theta=31,716^\circ$; $33,103^\circ$; $54,287^\circ$; $64,203^\circ$. Adapun karakterisasi XRF katalis menunjukkan kandungan CaO menjadi yang terbesar sebesar 89,1%. Analisis FT-IR menunjukkan spektrum IR vibrasi pada puncak bilangan gelombang $873,31$; $873,51$; $874,51$; $873,71\text{ cm}^{-1}$ menyebabkan vibrasi Ca-O. Perlakuan NaOH terhadap katalis CaO tidak merubah struktur katalis CaO karena NaOH dapat melarutkan pengotor pada permukaan CaO, sehingga jumlah pori-pori yang terbuka akan bertambah membentuk interaksi lapis tunggal. Hal ini mengakibatkan tidak terlihatnya fase NaOH dalam pola difraksi dan spektrum infra merah. Sintesis biodiesel melalui proses transesterifikasi dilakukan selama 3 jam dengan temperatur 60°C . Hasil % FAME (*Faty Acid Methyl Ester*) terbaik dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan bantuan katalis 1% NaOH/CaO dimana % FAME yang dihasilkan sebesar 38,28%.

Kata Kunci : Biodiesel, Minyak jelantah, Katalis NaOH/CaO, Cangkang telur ayam

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karuniaNya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini sebagaimana mestinya. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW.

Skripsi dengan judul **“PEMANFAATAN KATALIS NaOH/CaO DARI CANGKANG TELUR AYAM UNTUK KONVERSI BIODIESEL PADA MINYAK JELANTAH”** disusun untuk memenuhi syarat guna memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.

Penulis menyadari bahwa dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi tentunya tidak lepas dari dukungan, arahan, bimbingan, serta motivasi dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. H. Ismail, M.Ag, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
2. Ibu Hj. Malikhatul Hidayah, S.T., M.Pd, selaku Ketua Program Studi Kimia UIN Walisongo Semarang sekaligus Dosen Wali yang senantiasa memberikan bimbingan, dukungan,serta motivasi kepada penulis

selama belajar di UIN Walisongo.

3. Ibu Mulyatun, M.Si, selaku dosen pembimbing pertama yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis.
4. Bapak Drs. Achmad Hasmi Hasnoha, M.A, selaku dosen pembimbing kedua yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis.
5. Segenap Bapak dan Ibu Dosen Kimia yang sudah memberikan ilmu, pengetahuan, pengalaman, motivasi, dan pelajaran berharga bagi penulis.
6. Ibu Anita Karunia Z, S.Si, Ahmad Mughis, S.Pd, dan segenap asisten laboratorium kimia, yang telah berbagi pengalaman berharga bagi penulis selama penulis beraktivitas dan belajar sebagai asisten di Laboratorium Kimia UIN Walisongo.
7. Bapak Anton dan Ibu Yosi Nurjanah, selaku orang tua kandung penulis yang selalu memberi dukungan dan motivasi terutama kasih sayang serta do'a disetiap harinya.
8. Vira Aurelia, Muhammad Aditya Rabani, dan Andira Raya Ramadhani, selaku kakak-adik kandung penulis yang selalu memberikan semangat kepada penulis
9. Ayu Faizah, Metha Nur Kristanti, Intan Ni'matul Ula,

dan Salza Dilla Permata yang menjadi orang-orang yang selalu menemani sekaligus menjadi partner ngedumel penulis sejak pertama kali berada di Kampus.

10. Teman-teman mahasiswa Kimia khususnya angkatan 2019 yang telah memberikan pengalaman selama penulis berproses di UIN Walisongo.
11. Semua pihak yang telah memberikan kontribusi dan dukungan yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa pengetahuan yang penulis miliki masih kurang sehingga laporan skripsi ini masih jauh dari kata kesempurnaan. Oleh, karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak guna untuk memperbaiki dan menyempurnakan pada penulisan berikutnya. Penulis berharap semoga laporan praktikum mandiri ini bermanfaat, *Amin Ya Rabbal 'Alamin. Wassalamu'alaikum Wr.Wb.*

Semarang, 27 Desember 2023



Cikal Nurlita

NIM: 1908036012

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
NOTA DINAS	iii
NOTA DINAS	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan Masalah	9
C. Tujuan Penelitian	9
D. Manfaat Penelitian	9
BAB II LANDASAN TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA	11
A. Landasan Teori.....	11
1. Biodiesel	11
2. Minyak Jelantah.....	18
3. Katalis CaO	20
4. Kajian Karakterisasi	23
B. Kajian Pustaka	33
C. Hipotesis	35
METODE PENELITIAN	37

A. Alat dan Bahan	37
1. Alat-alat	37
2. Bahan.....	37
B. Cara Kerja	38
1. Konversi Cangkang Telur Menjadi CaO	
2. Pembuatan Katalis NaOH/CaO	38
3. Karakterisasi Katalis.....	39
4. <i>Pratreatment</i> Minyak Goreng Bekas	40
5. Penetapan Kadar Asam Lemak Bebas	40
6. Konversi Minyak Jelantah menjadi Biodiesel.....	41
7. Analisis Produk.....	42
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	43
A. Sintesis Katalis CaO dari Cangkang Telur Ayam.....	43
B. Karakterisasi Katalis CaO, 1% NaOH/CaO, 5%NaOH/CaO dan 10% NaOH/CaO	45
C. Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Reaksi Transesterifikasi.....	56
D. Analisis Hasil Biodiesel	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	65
A. Kesimpulan.....	65
B. Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN.....	85

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sasaran Wajib Biodiesel Indonesia.....	15
Tabel 2. 2 Kandungan asam lemak pada minyak jelantah	19
Tabel 2. 3 Perbedaan minyak jelantah dah solar	20
Tabel 2. 4 Standar Mutu Minyak Goreng	21
Tabel 4. 1 Rentang panjang gelombang inframerah katalis (a) CaO, (b) 1% NaOH/CaO, (c) 5% NaOH/CaO, (d) 10% NaOH/CaO	48
Tabel 4. 2 Komponen Senyawa Penyusun Katalis CaO	54
Tabel 4. 3 Komponen Unsur Penyusun Katalis CaO.....	54
Tabel 4. 4 Nilai Kebasaan Katalis.....	58
Tabel 4. 5 Hasil Uji GC-MS Biodiesel.....	63
Tabel 4. 6 Nilai Konversi, kadar FFA dan Kadar Bilangan Asam Biodiesel.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Alat Uji FTIR	25
Gambar 2. 2 Prinsip XRF	28
Gambar 2. 3 Difraksi sinar-X pada XRD	31
Gambar 2. 4 Ilustrasi difraksi sinar-X	31
Gambar 2. 5 Diagram skema GC-MS	35
Gambar 4. 1 Pola spektrum inframerah katalis (a) CaO, (b) 1% NaOH/CaO, (c) 5% NaOH/CaO, (d) 10% NaOH/CaO	48
Gambar 4. 2 Pola difraktogram sinar-X katalis (a)CaO, (b) 1% NaOH/CaO (c) 5% NaOH/CaO, (d) 10% NaOH/CaO	52
Gambar 4. 3 Spektrum XRF Katalis CaO.....	57
Gambar 4. 4 Reaksi Transesterifikasi	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Diagram alir prosedur kerja	79
Lampiran II Dokumentasi Penelitian.....	86
Lampiran III Hasil Uji GC-MS.....	88
Lampiran IV Analisis Perhitungan.....	90

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Setiap tahun, minyak bumi di Indonesia penggunaannya terus meningkat. Di Indonesia pada tahun 2015, minyak yang dikonsumsi mencapai angka 1,6 juta barel setiap harinya. Setiap tahunnya nilai tersebut terus meningkat, kemudian pada tahun 2018 minyak yang dikonsumsi telah mencapai angka 1,8 juta barel per hari. Meskipun begitu, produksi minyak mengalami penurunan di Indonesia. Pada tahun 2015, produksi minyak di Indonesia hanya mencapai 837.646,56 barel per hari. Angka tersebut terus turun mencapai 808.483,39 barel per hari pada tahun 2018 (Sa'adah *et al.*, 2017). Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mencatat bahwa di Indonesia mengalami penurunan cadangan minyak bumi secara terus menerus tiap tahunnya. Akibatnya, jumlahnya hanya tersisa sekitar 3.156 juta barel pada tahun 2018 (Sutanto *et al.*, 2021). Diperkirakan bahwa pasokan bahan bakar minyak di Indonesia akan habis dalam 10-15 tahun ke depan. Hal ini mengakibatkan kelangkaan energi seperti pasokan BBM, gas, batu bara, dan energi listrik (Maryam *et al.*, 2007), sehingga saat ini diperlukan sumber energi alternatif yang dapat diperbarui sebagai upaya mengurangi ketergantungan dengan bahan bakar fosil.

Tindakan eksploitasi bahan bakar ini tidak boleh

dilakukan secara besar-besaran. Allah SWT telah menempatkan manusia sebagai *khalifah* di muka bumi untuk mengatur, mengelola, dan memanfaatkan hasil bumi. Namun, pengelolaan ini harus dilakukan dengan hati-hati, dilakukan dengan baik, dan tidak dilakukan secara eksploitatif dan besar-besaran. Manusia memiliki tanggung jawab untuk mengolah bumi memanfaatkan sumber energi dengan baik, dan berinovasi untuk mengembangkan sumber energi yang terbarukan (Amin, 2016). Tindakan berlebih-lebihan ini disebut dalam Al-Quran dalam QS. Al-An'am : 141, Allah SWT berfirman:

وَهُوَ الَّذِي أَنْشَأَ جَنَّاتٍ مَّعْرُوشَاتٍ وَغَيْرَ مَعْرُوشَاتٍ وَالنَّخْلَ وَالزَّرْعَ مُخْتَلِفًا أَكْلُهُ
وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَانَ مُتَشَابِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ كُلُوا مِنْ ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَآتُوا حَقَّهُ يَوْمَ حَصَادِهِ
وَلَا تُسْرِفُوا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ

Artinya : *“Dialah yang menumbuhkan tanaman-tanaman yang merambat dan yang tidak merambat, pohon kurma, tanaman yang beraneka ragam rasanya, serta zaitun dan delima yang serupa (bentuk dan warnanya) dan tidak serupa (rasanya). Makanlah buahnya apabila ia berbuah dan berikanlah haknya (zakatnya) pada waktu memetik hasilnya. Akan tetapi, janganlah berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan”.*

Tindakan manusia yang berlebihan dalam memanfaatkan alam ini kerap menimbulkan berbagai kerusakan. Allah SWT menegaskan bahwa kerusakan ini terjadi disebabkan oleh kesalahan manusia sendiri (Amin, 2016). Firman Allah dalam QS. Al-Rum : 41

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا
لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya : *“Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia. (Melalui hal itu) Allah membuat mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”*.

Energi alternatif yang sedang gencar dikembangkan di Indonesia yaitu biodiesel. Hal ini Berdasarkan Peraturan Menteri No. 12 Tahun 2015 tentang Perubahan Ketiga Atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 32 Tahun 2008 tentang Penyediaan, Pemanfaatan, dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Sebagai Bahan Bakar Lain (Aprobi, 9 Januari 2024). Biodiesel adalah hasil esterifikasi dan transesterifikasi asam lemak rantai panjang bersumber dari minyak nabati dan lemak hewani. Sebagai alternatif untuk diesel konvensional, bahan bakar nabati ini mampu dimanfaatkan secara langsung ataupun dicampur dengan bahan bakar fosil. Biodiesel menampilkan emisi karbon monoksida dan hidrokarbon yang lebih rendah serta menghasilkan asap dalam jumlah lebih sedikit daripada diesel yang dihasilkan dari minyak bumi (Khan *et al.*, 2018; Mancini *et al.*, 2019; Syamsuddin & Husin, 2010). Walaupun pemerintah telah memberikan kebijakan dana minyak sawit (CPO fund) guna meningkatkan pembuatan biodiesel, perkembangan biodiesel di Indonesia masih dihadapkan pada beberapa

hambatan. Di Indonesia, pembuatan biodiesel hanya mencapai sekitar 1,11 juta kilo liter, atau sekitar 25% dari kapasitas pembuatan yang ada. Meski ada upaya untuk mendorong produksi biodiesel, kenyataannya produksi biodiesel di Indonesia belum mencapai target yang ditetapkan. Perusahaan kelapa sawit di Indonesia cenderung lebih memilih untuk mengekspor minyak kelapa sawit daripada mengubahnya menjadi biodiesel. Hal tersebut dikarenakan harga yang lebih rendah dan proses yang lebih sederhana dalam melakukan ekspor daripada dengan proses sintesis biodiesel. Saat ini, pembuatan biodiesel di Indonesia masih melibatkan dua proses yaitu esterifikasi dan transesterifikasi, yang dianggap kurang efisien (Murtiningrum & Firdaus, 2015).

Minyak jelantah dapat dipilih sebagai bahan baku karena mudah diperoleh dan merupakan limbah yang merupakan sisa hasil penggorengan bahan makanan baik yang dihasilkan pabrik makanan tertentu maupun penjual makanan gorengan yang banyak terdapat di Indonesia. Jelantah banyak dipakai lagi terutama oleh pedagang makanan gorengan sehingga dapat merugikan kesehatan manusia yang mengkonsumsinya (Wahyuni *et al.*, 2011). Minyak jelantah memiliki kandungan asam lemak dan gugus peroksida dengan jumlah besar, apabila terdapat di dalam tubuh manusia akan mengakibatkan kanker (Prasetyo, 2018). Oleh karena itu limbah minyak jelantah dapat dimanfaatkan atau diolah

menjadi bentuk lain yang bernilai ekonomis dan tidak mencemari lingkungan. Limbah minyak jelantah tersebut dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar biodiesel (Harahap & Yullia, 2018). Pengolahan minyak jelantah menjadi biodiesel umumnya diproduksi melalui proses transesterifikasi dengan alkohol rantai pendek dengan bantuan katalis (Sisca & Rahayuningsih, 2022)

Katalis merupakan senyawa yang dapat mempercepat reaksi. Dalam pembuatan suatu senyawa umumnya menggunakan katalis homogen dan katalis heterogen (Oko & Feri, 2019). Katalis homogen memiliki fase sama dengan reaktan, sedangkan katalis heterogen fasenya berbeda dengan fase reaktan. Produksi biodiesel terkatalisis heterogen berarti reaktan dalam bentuk cair dan katalis dalam bentuk padat (Mardhiah *et al.*, 2017). Persamaan fase pada reaksi terkatalisis homogen menyebabkan kesulitan pada proses pemisahan akhir dan kurang ramah lingkungan. Permasalahan yang muncul dapat diatasi dengan penggunaan katalis heterogen. Katalis jenis ini menjadi pilihan terbaik untuk teknologi biodiesel saat ini. Tan *et al.* (2016) berhasil membuktikan bahwa katalis basa heterogen dapat dijadikan sebagai pengganti katalis basa homogen. Kondisi optimal reaksi telah didesain dan menghasilkan biodiesel sebanyak 98 % untuk katalis basa heterogen dan 98% katalis basa homogen. Keduanya memiliki aktivitas yang sebanding. Katalis

heterogen lebih diunggulkan karena menunjukkan aktivitas katalitik tinggi dan mempersingkat waktu reaksi, ramah lingkungan, ketersediaan yang melimpah, dan pemisahan dengan produk lebih mudah.

Pengembangan katalis heterogen baru-baru ini menjadi perhatian peneliti di dunia karena pemisahan yang mudah dan kurangnya masalah korosi atau toksisitas. Katalis basa heterogen meliputi oksida logam alkali tanah seperti kalsium oksida (CaO), magnesium oksida (MgO) dan hydrotalcites. Di antara katalis heterogen, kalsium oksida (CaO) menarik sebagai katalis heterogen karena kebiasaan yang tinggi dan kekuatan basa yang kuat, tidak beracun, dan kelarutan rendah dalam biodiesel. Selanjutnya, katalis CaO dapat disintesis dari bahan limbah alami, misalnya kulit telur ayam (Sisca & Rahayuningsih, 2022).

Salah satu alternatif sumber katalis CaO yang potensial adalah cangkang telur. Cangkang telur belum dimanfaatkan secara optimal dan cangkangnya menjadi limbah yang dapat merusak lingkungan. Cangkang telur memiliki porositas sedikit lebih besar dan CaCO_3 sebagai unsur penting. Komposisi kimia dari cangkang telur telah dilaporkan sebagai berikut: kalsium karbonat (94%), magnesium karbonat (1%), kalsium fosfat (1%) dan bahan organik (4%) (Katsiroh, 2017). Karena struktur dasar kulit telur yang keras, tingginya kandungan CaCO_3 dan jumlah yang melimpah, memungkinkan

untuk mempersiapkan katalis heterogen dari cangkang telur. Biaya pembuatan katalis merupakan faktor penting dalam aplikasi industri. Produksi biodiesel memerlukan katalis yang efisien, murah dan ramah lingkungan, sehingga mengurangi harga dan membuatnya bersaing dengan bahan bakar lainnya (Solikhah *et al.*, 2015). Untuk membuat katalis ini dilakukan proses kalsinasi dari CaCO_3 menjadi CaO dengan suhu tinggi untuk menghasilkan katalis yang benar-benar murni (Oko & Feri, 2019). Katalis CaO yang berasal dari bahan alami menghasilkan rendemen produk yang baik dan efektif dalam mengkatalisasi reaksi transesterifikasi minyak nabati dengan mutu tinggi murni.

Beberapa penelitian berusaha meningkatkan aktivitas katalitik CaO dalam reaksi transesterifikasi seperti dekomposisi hidrasi CaO menghasilkan biodiesel yang tinggi dicapai dalam waktu cepat karena peningkatan aktivitas katalitik katalis CaO terhidrasi. Katalis CaO terhidrasi memiliki ukuran partikel yang lebih kecil sehingga meningkatkan luas permukaan katalis yang pada gilirannya meningkatkan aktivitas katalitik katalis dalam produksi biodiesel. Proses hidrasi-dehidrasi memiliki efek yang kuat pada kristalinitas dan ukuran kristal katalis (Erchamo *et al.*, 2021). Hal ini kemungkinan besar terkait dengan evolusi molekul air yang dikeluarkan dari kisi selama kalsinasi sampel terhidrasi diperkirakan akan memecah kristalit. Ini sangat mengurangi

kristalinitas dan ukuran kristal sehingga luas permukaan meningkat (Yoosuk *et al.*, 2010). Selama hidrasi, CaO diubah menjadi Ca(OH)_2 kemudian, setelah dehidrasi diperoleh CaO yang memiliki nilai kebasaan tinggi. Hal ini terkait dengan fakta bahwa kekuatan basa dan reaktivitas CaO bergantung pada prekursornya. Jadi, CaO yang diperoleh dari Ca(OH)_2 memiliki karakteristik basa yang lebih kuat daripada yang diperoleh dari CaCO_3 (Erchamo *et al.*, 2021)

Selain proses hidrasi CaO, pendekatan yang efektif untuk meningkatkan aktivitas katalitik katalis CaO yaitu dengan menambahkan NaOH pada permukaan katalis melalui metode impregnasi. Proses impregnasi akan meningkatkan nilai kebasaan katalis dikarenakan infiltrasi NaOH di pori-pori katalis yang mengakibatkan peningkatan kebasaan katalis. Semakin tinggi konsentrasi yang ditambahkan saat proses impregnasi, semakin tinggi kebasaan katalis saat proses impregnasi, maka semakin tinggi kebasaan dari katalis (Oko & Feri, 2019).

Berdasarkan hasil dari penelitian-penelitian sebelumnya, biodiesel ini akan diproduksi dari minyak jelantah dengan menggunakan katalis CaO dari cangkang telur melalui proses kalsinasi dan diimpregnasi NaOH dengan cara memvariasikan katalis NaOH/CaO, agar sifat kebasaan katalis lebih besar. Selain itu, adanya katalis NaOH/CaO ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas, efisiensi, dan

aspek ramah lingkungan dalam proses produksi biodiesel.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik dari katalis heterogen NaOH/CaO dari cangkang telur ayam hasil sintesis?
2. Bagaimana kinerja katalitik dari katalis NaOH/CaO dari cangkang telur ayam terhadap biodiesel?

C. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui karakteristik dari katalis heterogen NaOH/CaO dari cangkang telur ayam hasil sintesis
2. Mengetahui kinerja katalitik katalis NaOH/CaO dari cangkang telur ayam terhadap biodiesel

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada beberapa pihak, antara lain:

1. Manfaat bagi Peneliti maupun Perguruan Tinggi
 - a. Meningkatkan pengetahuan peneliti serta memberikan tambahan informasi dan referensi bagi perguruan tinggi tentang bagaimana memanfaatkan limbah cangkang telur dan minyak jelantah untuk menjadi katalis dan biodiesel sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil, bertujuan untuk meningkatkan nilai ekonomi.
 - b. Dapat menjadi subjek penelitian yang relevan untuk penelitian berikutnya.
2. Manfaat bagi Masyarakat

Dengan pengetahuan yang lebih luas, diharapkan masyarakat dapat memahami bahwa limbah bukan sekadar sampah yang merusak lingkungan. Dengan kreativitas dan ilmu pengetahuan yang tepat, limbah seperti cangkang telur dan minyak jelantah dapat diolah menjadi sesuatu yang bermanfaat, dan menjadi alternatif bagi bahan bakar fosil, serta meningkatkan nilai ekonomis kedua bahan tersebut.

BAB II

LANDASAN TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Biodiesel

Bahan bakar dari sumber daya terbarukan (*renewable*) dan terdiri atas asam lemak yang terdapat pada minyak nabati atau hewani disebut biodiesel (Arifin *et al.*, 2016). Bahan bakar ini merujuk pada bahan bakar yang terbentuk dari mono-alkil ester yang berasal dari asam lemak dan sumber daya terbarukan yang terbatas. Bahan bakar ini mempunyai emisi gas buang yang lebih bersih daripada bahan bakar tradisional serta peduli terhadap lingkungan. Keunggulan dari biodiesel diantaranya penggunaannya mudah, tidak ada belerang, tanpa bau yang mencolok (Akbar, 2011), tingginya *cetane number* sehingga mengakibatkan pembakaran yang lebih bersih atau sempurna, sifat pelumas terhadap piston mesin, dan rendahnya bilangan asap. Selain itu, biodiesel dapat terurai secara alami (*biodegradable*) dan tidak menyebabkan racun. Menurut penelitian BBPT, tanpa adanya modifikasi pada mesin, biodiesel secara langsung dapat digunakan, baik dalam bentuk murni (100%) ataupun dicampur dengan solar dalam berbagai konsentrasi mulai dari 5% (Anugrah, 2006).

Proses pembuatan biodiesel melibatkan dua jenis

reaksi, yaitu esterifikasi asam lemak bebas atau transesterifikasi trigliserida dan alkohol dengan bantuan katalis. Kedua reaksi tersebut memunculkan metil ester atau etil ester asam lemak serta gliserol. Melalui reaksi transesterifikasi, kualitas biodiesel meningkat karena terjadi pertukaran asam lemak dan pembentukan ester baru, mirip dengan reaksi alkoholisisi (Syamsidar, 2013).

Penggunaan biodiesel sebagai alternatif energi memiliki sejumlah keunggulan jika dibandingkan dengan opsi lainnya, seperti:

1. adanya sumber daya
2. adanya teknologi
3. kualitas produk yang unggul
4. berdampak positif pada ekonomi dalam skala besar (melalui pemasukan devisa negara) dan pada skala lebih kecil seperti menciptakan peluang kerja baru dan
5. Meningkatnya penghasilan bagi masyarakat yang tinggal di daerah sumber bahan baku.

Senyawa nitrogen atau senyawa aromatik tidak terkandung dalam biodiesel. Selain itu, kandungan sulfur yang dipunyai kurang dari 155 ppm (*part per million*). Emisi gas buang seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), partikulat, dan jelaga dapat dikurangi dengan adanya kehadiran dari 11% oksigen dalam beratnya. Meskipun kandungan energi biodiesel 10% lebih

rendah daripada solar, tetapi efisiensi bahan bakar biodiesel relatif setara dengan solar, artinya daya dan torsi yang diperoleh sebanding dengan nilai kalor pembakarannya. Salah satu bahan dasar biodiesel yaitu asam lemak yang terdapat pada minyak nabati membuat stabilitas bahan bakar sedikit berkurang daripada solar. Rendahnya stabilitas ini mampu menaikkan kandungan asam lemak bebas, meningkatkan viskositas, pembentukan gums, dan sedimentasi yang berpotensi menyumbat saringan bahan bakar.

Biodiesel mempunyai kemampuan dalam proses melarutkan (solvency) yang mampu membersihkan kotoran di sistem suplai bahan bakar kendaraan. Hal ini bisa memunculkan masalah ketika dimanfaatkan pada mesin diesel yang sebelumnya menggunakan diesel di dalam tangkinya dalam waktu yang lama dan telah terbentuk kerak serta sedimen, maka biodiesel akan melarutkan kerak dan sedimen tersebut, sehingga mampu membuat kerak dan sedimen tersebut larut dan berpotensi menyumbat saluran dan saringan bahan bakar. Sebaiknya, jika kandungan sedimen dan kerak di tangki bahan bakar cukup tinggi, dibersihkan terlebih dahulu sebelum menggunakan biodiesel. Oksidasi pada biodiesel dan pembentukan sedimen terjadi disebabkan oleh beberapa material diantaranya tembaga, timah, seng, dan kuning.

Dengan demikian, disarankan menggunakan tangki bahan bakar yang terbuat dari stainless steel atau alumunium untuk mencegah hal ini (Akbar, 2011).

Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 12 Tahun 2015, kebijakan kewajiban penggunaan biodiesel dilakukan lebih cepat dari B-10 pada tahun 2014 menjadi B-15 pada tahun 2015, selanjutnya pada tahun 2016 meningkat menjadi B-20, dan mulai tahun 2020 telah mencapai B-30 (Wibowo *et al.*, 2019). Kualitas biodiesel di Indonesia telah diatur pada SNI-04-7182-2006 dan sudah disetujui serta diterbitkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN)

Tabel 2. 1 Sasaran Wajib Biodiesel Indonesia

No	Parameter	Satuan	Nilai	Metoda Uji
1.	Massa jenis pada 40° C	Kg/m ³	850-890	ASTM D 1298
2.	Viskositas kinematik pada 40°C	Mm ² /s (cSt)	2,3 6,0	ASTM D 445
3.	Angka setana		Min. 51	ASTM D 613
4.	Titik nyala	oC	Min. 100	ASTM D 93
5.	Titik kabut	oC	Maks. 18	ASTM D 2500
6.	Korosi lempeng tembaga (3 jam padasuhu 50°C)		Maksno.3	ASTDM 130
7.	Residu karbon - dalam contoh asli dalam 10% ampas distilas	%-massa 6	Maks.0,05 (Maks. 0,3)	ASTDM D 4530

8.	Air dan sedimen	%-vol	Maks.0,05	ASTM 2709 atau ASTDM 1796	D
9.	Temperatur distilasi 90%	oC	Maks. 360	ASTM 1160	D
10.	Abu tersulfatkan	%-massa	Maks.0,02	ASTM 874	D
11.	Belerang	Ppm-m (mg/Kg)	Maks. 100	ASTM 5453 atau ASTM D 664	D
12.	Fosfor	Ppm-m (mg/Kg)	Maks. 10	AOCS 12-55	Ca
13.	Angka asam	Mg-KOH/Kg	Maks. 0,8	AOCS 3d-63 atau ASTM D 664	Cd
15.	Gliserol total	%-massa	Maks.0,24	AOCS 14-56 atau ASTM D6584	Ca
16.	Kadar ester alkil	%-massa	Maks.96,5	Dihitung*	
17.	Angka iodium	%-massa	Maks.115	AOCS Cd 1-25	
18.	Uji Halphen		Negatif	AOCS Cd 1-25	

Jika bahan dasar yang dimanfaatkan adalah minyak mentah dengan kandungan asam lemak bebas (FFA) tinggi, yaitu melebihi 2%, dibutuhkan tahap praesterifikasi guna meminimalkan kandungan asam lemak bebas menjadi sekitar 2%. Namun, jika bahan dasar yang akan dimanfaatkan memiliki asam lemak bebas yang besar (> 2 %) tidak dapat diproses melalui

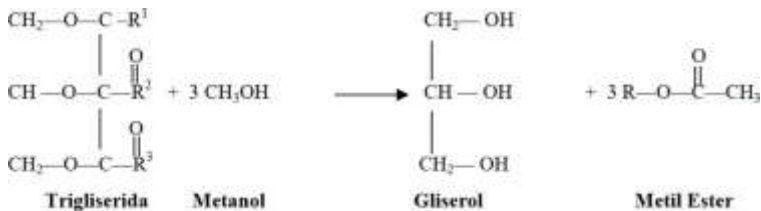
reaksi transesterifikasi, karena dapat mengakibatkan terjadinya pembentukan sabun. Penyelesaian untuk menanggulangi kondisi tersebut adalah melalui reaksi transesterifikasi dengan katalis untuk mengurangi efek asam lemak bebas dalam trigliserida. Dengan kata lain, apabila jumlah katalis yang digunakan semakin banyak, maka jumlah metil ester yang dihasilkan meningkat (Arita *et al.*, 2008).

Proses reaksi yang membentuk ester di mana salah satu senyawanya juga berbentuk ester disebut proses transesterifikasi. Pada tahap ini, pemecahan senyawa trigliserida terjadi dan perpindahan gugus alkil di antara senyawa ester. Ester yang diperoleh dari proses transesterifikasi dikenal sebagai biodiesel, dengan R' mengacu pada gugus alkil dan R1 - R3 mewakili gugus asam lemak rantai panjang, baik yang jenuh maupun tak jenuh (Aziz, 2007).

Secara umum, reaksi transesterifikasi melibatkan reaksi antara alkohol dengan trigliserida, dan memperoleh hasil yaitu metil ester dan gliserol menggunakan katalis basa. Biasanya, methanol atau etanol dimanfaatkan sebagai alkohol. Reaksi tersebut memiliki kecenderungan dalam membentuk metil ester dengan lebih cepat daripada reaksi esterifikasi dengan katalis asam (Arita *et al.*, 2008). Berikut adalah

skema dari reaksi transesterifikasi :

Gambar 2. 1 Gambaran skema reaksi transesterifikasi



Biodiesel memiliki sejumlah keunggulan jika dibandingkan dengan jenis bahan bakar lainnya, diantaranya :

1. Biodiesel tidak bersifat beracun dan tidak mengakibatkan efek rumah kaca dan menjadikannya ramah lingkungan serta berpotensi mengurangi risiko paparan terhadap kanker.
2. Biodiesel dapat mengalami degradasi secara alami (*biodegradable*) dan berasal dari sumber daya terbarukan (*renewable*).
3. Biodiesel juga dapat meningkatkan masa pakai mesin kendaraan.
4. Dengan menggunakan biodiesel lebih banyak daripada diesel standar, maka dampak terjadinya perubahan iklim berkurang karena biodiesel menghasilkan lebih sedikit emisi CO₂, yakni sekitar 75% lebih rendah dari diesel konvensional (Asthasari *et al.*, 2008).

2. Minyak Jelantah

Biodiesel dapat dihasilkan dari bahan dasar yang meliputi minyak nyamplung, kelapa sawit, kelapa, dan jenis minyak nabati lainnya. Kegunaan utama dari minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) adalah sebagai bahan dasar dalam pembuatan minyak goreng (Prasetyo, 2018).

Beragam bahan dasar dari minyak goreng diantaranya kelapa sawit, kedelai, jagung, dan lainnya. Meskipun berbeda-beda secara kimiawi, sebenarnya komposisi kandungannya tidak terlalu berbeda jauh, yaitu terdiri dari berbagai macam asam lemak jenuh (AL) dan asam lemak tak jenuh (ALT). Terdapat peluang adanya *lesitin, cephalin, fosfatida* lainnya, *sterol*, asam lemak bebas, lilin, pigmen yang larut dalam lemak, serta hidrokarbon, termasuk karbohidrat dan protein dalam jumlah kecil. Perbedaanannya mungkin terletak pada komposisinya. Daftar asam lemak yang terkandung dalam minyak jelantah terlihat pada tabel 2.3 (Syamsidar, 2013)

Tabel 2. 2 Kandungan asam lemak pada minyak jelantah

No.	Asam lemak jenuh	Asam lemak tak jenuh
1.	Asam Stearat	Palmitat
2.	-	linolenat

Semua jenis minyak memiliki tingkat kesehatan yang serupa bagi orang yang tidak sensitif terhadap asam

lemak dalam darah. Hal ini dikarenakan pada suhu penggorengan sekitar 200°C, rantai kimia dalam minyak mengalami dekomposisi.

Hal	Minyak jelantah	Solar
Emisi NO	1005,8 ppm	1070 ppm
Emisi CO	209 ppm	184 ppm
Emisi CH	13,7 ppm	18,4 ppm
Emisi partikulat/debu	0,5	0,93
Emisi SO ₂	Tidak ada	Ada

Tabel 2. 3 Perbedaan minyak jelantah dan solar

Berdasarkan data yang tertera pada tabel 2.3 dapat dilihat bahwa biodiesel yang berasal dari minyak jelantah adalah salah satu bahan bakar lain yang peduli terhadap lingkungan, begitupun biodiesel dari jenis minyak nabati lainnya (Syamsidar, 2013).

Minyak goreng yang sering digunakan dalam pembuatan makanan harus memiliki nilai mutu yang tinggi guna menjaga kesehatan dari konsumen yang mengonsumsinya. Kualitas minyak goreng dinilai berdasarkan karakteristik fisik dan kimianya. Kualitasminyak goreng sering kali dilihat dari titik asapnya, yakni suhu di mana minyak goreng dipanaskan hingga menghasilkan akrolein yang tidak diinginkan dan menyebabkan iritasi pada tenggorokan. Titik asap minyak goreng bergantung pada kadar gliserol bebas di dalamnya (Khoirul *et al.*, 2017).

Regulasi standar kualitas minyak goreng di Indonesia diatur dalam SNI 3741-1995 yang ditampilkan pada Tabel 2.4

Tabel 2. 4 Standar Mutu Minyak Goreng

No.	Kriteria Uji	Persyaratan Uji
1.	Kadar Air	Max 0,3%
2.	Asam lemak bebas	Max 0,3 %
3.	Bilangan peroksida	Max 2 meg/Kg
4.	Bilangan iodium	45-46
5.	Bilangan penyabunan	196-206

Sumber : Departemen Perindustrian (SNI 3741-1995)

Senyawa karsinogenik yang terkandung dalam minyak jelantah terbentuk saat proses penggorengan. Penggunaan secara berkelanjutan bisa merusak tubuh manusia. Pemanfaatan minyak jelantah dapat dilakukan dengan mengubahnya menjadi biodiesel karena pada dasarnya minyak jelantah juga termasuk jenis minyak nabati. Minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku biodiesel mempunyai keunggulan, seperti mudahnya mendapatkan sumber minyak nabati, proses pembuatan biodiesel yang sederhana dan cepat dari minyak nabati, serta tingkat konversi yang tinggi (sekitar 95%) dari minyak nabati menjadi biodiesel (Sinaga *et al.*, 2014).

3. Katalis CaO

Katalis adalah substansi yang dimasukkan ke dalam suatu sistem reaksi guna mempercepat laju reaksi. Katalis mampu menyediakan area aktif yang berperan dalam

mempertemukan reaktan dan memberikan energi dalam bentuk panas sehingga menyebabkan molekul reaktan dapat melampaui ambang energi aktivasi dengan lebih mudah (Lestari, 2012). Katalis dapat diklasifikasikan berdasarkan fase diantaranya katalis homogen dan katalis heterogen. Fase yang identik dengan bahan pereaksinya disebut katalis homogen, sementara fase yang berbeda dengan bahan pereaksinya disebut katalis heterogen (Setyaningsih *et al.*, 2017). Kekurangan katalis homogen meliputi kesulitan dalam pemisahan dari larutan hasil proses. Katalis ini sulit untuk digunakan kembali dan jika dibuang, maka dapat menjadi limbah berbahaya. Selain itu, dalam reaksi transesterifikasi, katalis tersebut bisa bereaksi dengan asam lemak bebas dan membentuk sabun, sehingga terjadinya pemisahan gliserol menjadi sulit dan menyebabkan hasil produksi biodiesel berkurang (Oko & Feri, 2019). Pada proses pemisahan dan daur ulang, katalis heterogen lebih sederhana dan ekonomis daripada katalis homogen. Dengan demikian, penggunaan katalis heterogen menjadi salah satu penyelesaian untuk menanggulangi masalah tersebut (Devitria *et al.*, 2013).

Katalis CaO adalah jenis katalis heterogen yang paling optimal dengan tingkat aktivitas katalitik dan kebiasaan yang tinggi. Katalis ini memiliki kelarutan yang minimal dalam metanol dan lebih mudah digunakan karena tidak

memerlukan banyak air untuk pencucian tambahan (Annisa *et al.*, 2017). Kalsium oksida umumnya diproduksi melalui proses dekomposisi panas dari material seperti kapur yang didalamnya terdapat kandungan kalsium karbonat (CaCO_3 ; mineral kalsit). Hal ini dapat dicapai dengan memanaskan bahan tersebut hingga melebihi suhu 825°C , proses tersebut dikenal sebagai *calcination* atau *lime-burning* yang berguna dalam pemisahan antara CO_2 dan senyawa tersebut. Hal tersebut dapat terjadi dengan memanaskan bahan diatas 825°C . Senyawa CaO telah dikaji sebelumnya sebagai katalis basa yang kuat dan penggunaannya dalam pembuatan biodiesel memiliki sejumlah manfaat, seperti aktivitas yang tinggi, rendahnya keadaan reaksi, panjangnya masa pakai dari katalis, dan rendahnya harga katalis (Sari *et al.*, 2011)

Natrium hidroksida (NaOH) telah menjadi pilihan yang umum digunakan karena harganya yang terjangkau, ketersediaannya yang mudah, serta reputasinya dalam memberikan katalisis yang efektif dalam proses transesterifikasi minyak nabati dan hewani (Sartini, 2013). Sementara lain, permintaan atas pembuatan dengan harga yang lebih murah dan penghematan waktu telah menampilkan keinginan yang baru dalam penggunaan katalis asam-basa. Katalis heterogen asam-basa adalah jenis katalis yang mempunyai situs asam dan basa dan

melalui reaksi esterifikasi mampu mengubah asam lemak bebas menjadi ester, serta melalui transesterifikasi mampu mengubah trigliserida menjadi biodiesel dengan efisiensi yang tinggi (Ramli *et al.*, 2017). Tidak hanya itu, katalis tersebut juga bisa dengan mudah disesuaikan guna menghadirkan karakteristik fisikokimia yang dimanfaatkan dalam menangani persoalan seperti tingginya kandungan asam lemak bebas dan kadar H_2O dalam bahan dasar (Mansir *et al.*, 2018)

Katalis dibuat melewati beberapa teknik sintesis, antara lain: impregnasi, sol-gel, pencampuran fisik, dan co-presipitasi. Teknik impregnasi basah adalah teknik awal yang paling umum dan sederhana dalam pembuatan katalis. Saat proses sintesis, bahan awal (umumnya berupa garam atau campuran garam dan oksida) dicampur dan diaduk dengan penambahan air murni. Setelah itu, bahan dikeringkan dan dipanaskan dengan suhu yang tepat. Pendekatan tersebut mudah dan efisien dalam proses pembuatan katalis karena mampu menciptakan beragam situs aktif di permukaan katalis yang bermanfaat dalam proses reaksi transesterifikasi dan esterifikasi (Mansir *et al.*, 2018).

4. Kajian Karakterisasi

Proses karakterisasi katalis yang berhasil diproduksi diperlukan bantuan beberapa instrument,

diantaranya:

a. Analisis FTIR

Spektroskopi FTIR merupakan alat yang sangat kuat dalam mengetahui komponen kimia dengan mengidentifikasi berbagai kelompok fungsional menjelaskan atau menyoroti perannya dalam kinerja membran. Secara umum, spektroskopi IR merupakan suatu teknik ekperimental yang digunakan untuk berbagai bahan dan kondisi serta dimanfaatkan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif (Mohamed *et al.*, 2017).

Cara kerja FTIR dapat dijelaskan sebagai berikut: Pertama, zat yang ingin diukur diidentifikasi dalam bentuk atom atau molekulnya. Cahaya inframerah yang bertindak sebagai sumber cahaya terdiri dari dua aliran yaitu melewati sampel yang akan diuji dan melewati bahan pembanding. Kemudian, aliran cahaya tersebut berurutan melewati perangkat pemotong cahaya. Setelah melewati prisma atau *grating*, cahaya tersebut akan diterima oleh detektor dan diubah menjadi sinyal listrik, yang selanjutnya direkam oleh alat perekam, lalu apabila sinyal sangat lemah, maka dibutuhkan penguat sinyal.

FTIR menguji berbagai sampel seperti pelet polimer, bagian benda, sampel buram, serat, bubuk, pelapis kawat, dan cairan. Alat ini menghasilkan scan inframerah yang khas di wilayah tengah inframerah dari spektrum cahaya,

yang berkisar antara $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ pada bilangan gelombang atau 2,5 hingga 25 mikron (10^{-3} mm) pada panjang gelombang.

FT-IR Spektrometer adalah perangkat umum untuk analisis spektroskopi inframerah. Perangkat ini dapat memberikan data yang tepat dan berguna dalam menganalisis bahan-bahan dengan daya listrik yang bisa dioperasikan pada kisaran 100-240 V dengan frekuensi 50/60 Hz. Penggunaannya melibatkan pemecah cahaya standar seperti KBr/Ge mid-inframerah (Pambudi *et al.*, 2017).



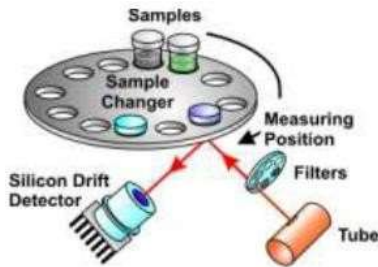
Gambar 2. 2 Alat Uji FTIR (Pambudi *et al.*, 2017)

Menurut riset yang dilakukan oleh Qoniah & Prasetyoko (2011), karakterisasi padatan yang didapatkan dilakukan menggunakan FTIR guna memeriksa ikatan pada rentang bilangan gelombang 4000 cm^{-1} hingga 400 cm^{-1} . Sampel disiapkan dengan metode pelet KBr di mana produk dicampurkan dengan KBr dalam proporsi sampel

sebesar 1% dari total campuran. Menurut penelitian Nurwijayanti & Kurnia (2018), analisis FTIR pada sampel Katalis kapur CaO terhidrasi mengungkapkan keberadaan satu ikatan Ca-O dengan puncak regangan pada 523 cm^{-1} dan regangan yang sangat lemah pada 3637 cm^{-1} . Temuan ini menunjukkan bahwa setelah dipanaskan pada suhu 800°C selama 3 jam, CaCO_3 dan Ca(OH)_2 berubah menjadi CaO.

b. *X-Ray Fluorescence (XRF)*

XRF dilakukan dengan mengidentifikasi dan menghitung sinar-X yang muncul dari efek fotolistrik. Efek ini timbul ketika partikel bermuatan negatif di dalam atom target (sampel) terpapar oleh sinar dengan energi tinggi seperti sinar-X atau radiasi gamma. Jika sinar tersebut memiliki energi yang melebihi ikatan elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, elektron dalam sampel terlepas dari orbitnya. Akibatnya, kekosongan elektron dialami oleh sampel, kemudian kekosongan tersebut diisi oleh partikel bermuatan negatif dari lapisan orbital terluar dan diikuti oleh energi dalam bentuk sinar-X yang terlepas (Zainuri *et al.*, 2012).



Gambar 2.3 Prinsip XRF (Zainuri *et al.*, 2012)

Penelitian yang dilakukan oleh Hariyanto *et al.*, (2021), menyatakan bahwa cangkang bekicot memiliki kandungan unsur tertinggi berupa kalsium (Ca) sekitar 98,54%, sementara unsur lainnya sebagai pengotor meliputi Fe (0,45%), Sr (0,55%), Mo (0,24%), dan Lu (0,21%). Kandungan Ca dapat berbeda-beda karena dipengaruhi oleh jenis cangkang dan tempat pengambilan cangkang. Akan tetapi juga dipengaruhi oleh suhu dan waktu kalsinasi. Persentase kandungan CaO yang tinggi ini dapat digunakan untuk mengkonversi trigliserida menjadi metil ester.

c. *X-Ray Diffraction (XRD)*

X-Ray Diffraction (XRD) adalah metode analisis yang dimanfaatkan guna mengenali material kristalit. Hal tersebut melibatkan identifikasi struktur kristal (kualitatif) dan juga fasa (kuantitatif) dengan menggunakan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Penggunaan analisis tersebut bertujuan mendeteksi informasi tambahan seperti

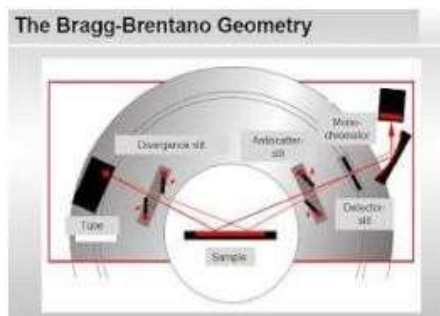
konfigurasi atom yang berbeda dalam kristal, kehadiran cacat, arah orientasi, dan ketidaksempurnaan kristal (Zainuri *et al.*, 2012).

XRD dimanfaatkan untuk menganalisis komposisi fasa atau senyawa dalam material dan karakterisasi kristal. Prinsip utama XRD melibatkan difraksi sinar yang melewati celah dalam struktur kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi kristal terjadi ketika panjang gelombang dari sinar yang dipancarkan sama dengan jarak antar atom, sekitar 1 Angstrom. Radiasi yang umumnya dipakai meliputi elektron, neutron, dan sinar-X. Foton yang mempunyai energi yang tinggi dengan panjang gelombang antara 0,5 hingga 2,5 angstrom dikenal sebagai sinar-x. Saat terjadi interaksi antara berkas sinar-X dan material, sebagian diserap, dan sebagian ditransmisikan, serta sebagian lainnya dihamburkan terdifraksi. Selanjutnya, XRD mendeteksi hamburan tersebut. Disebabkan adanya fasa yang berbeda membuat sejumlah berkas sinar-X saling menghilangkan, sementara yang lain saling memperkuat karena fasa yang sama dan peristiwa ini dianggap sebagai berkas difraksi. Hukum Bragg menggambarkan kondisi yang harus terpenuhi agar berkas sinar X yang terhamburkan tersebut dianggap sebagai berkas difraksi (Metungku *et al.*, 2017; Wulansari *et al.*, 2016)

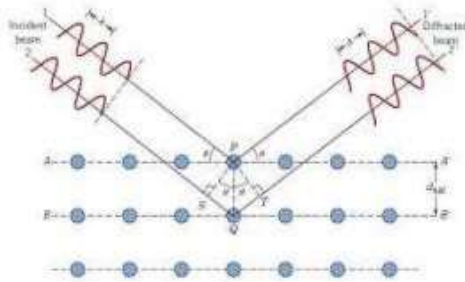
Hukum Bragg adalah rumusan matematis yang

menjelaskan bagaimana sinar-X berinteraksi dengan material dan menghasilkan difraksi. Terjadinya pantulan tersebut dilakukan tanpa menghilangkan energi, dan hasilnya adalah pantulan elastis. Bragg menyatakan bahwa pemantulan radiasi pada bidang atom dalam kristal dilakukan dengan cara serupa yaitu memantulkan cahaya pada permukaan cermin.

Apabila cahaya memasuki susunan paralel dari bidang dan terdapat jarak antara satu dengan yang lainnya, maka ada potensi bahwa cahaya-cahaya tersebut dipantulkan kembali oleh bidang-bidang tersebut dan saling mengalami interferensi secara konstruktif. Hal ini menyebabkan pantulan sinar menjadi kuat dan mengakibatkan terjadinya difraksi. Seperti pada gambar di bawah, gambar tersebut merupakan Hukum Bragg. Hukum tersebut menyatakan bahwa panjang gelombang lintasan sinar adalah $\alpha AB = 2d \sin \theta$.



Gambar 2. 4 Difraksi sinar-X pada XRD (Hakim *et al.*,2019)



Gambar 2. 5 Ilustrasi difraksi sinar-X (Hakim *et al.*, 2019)

Dalam penelitian Mukminin *et al.*, (2019), menganalisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dengan beragam suhu kalsinasi, yaitu suhu 600°C, 700°C, dan 900°C. Suhu tersebut menunjukkan pola difraksi berbeda pada sudut $2\theta = 10^\circ - 89^\circ$. Kalsinasi pada suhu 600°C belum mencapai perubahan bentuk CaCO_3 vetiret ke CaCO_3 kalsit yang lebih stabil secara keseluruhan. Selain itu, pada suhu kalsinasi 700°C terlihat beberapa puncak CaO muncul dengan intensitas yang relatif rendah. Namun, penggunaan suhu 900°C selama 4 jam telah berhasil menghasilkan puncak khas kalsium oksida (CaO) yang stabil pada sudut $2\theta = 32,16^\circ$; $37,15^\circ$; $64,16^\circ$ dan $67,5^\circ$, yang dikonfirmasi sesuai dengan standar CaO. Puncak-puncak inilah yang menyatakan bahwa pada suhu 900°C sebagian besar CaCO_3 kalsit dapat diubah menjadi CaO. Semua puncak karakteristik CaO memperlihatkan puncak yang sempit dan tajam mengilustrasikan fasa tunggal CaO menggunakan kristalinitas yang tinggi.

d. Analisis *Kebasaan* Katalis

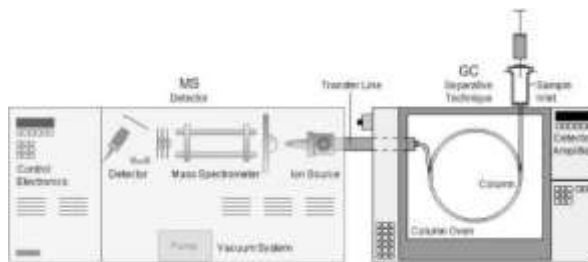
Analisis *kebasaan* permukaan dilakukan dengan tujuan mengetahui jumlah situs yang memiliki sifat basa dengan metode titrasi asam-basa. Jumlah situs yang memiliki sifat basa pada permukaan dihitung dari molekul CO_2 yang melekat pada situs tersebut, dan intensitas situs basa diukur dari suhu di mana CO_2 terlepas dari permukaan (Bartley *et al.*, 2012). Situs basa terdiri dari dua jenis, yaitu situs basa dengan kekuatan rendah dan situs basa dengan kekuatan tinggi. Situs basa dengan kekuatan rendah merujuk pada jumlah molekul CO_2 yang terlepas dari permukaan pada suhu antara 0- 400°C, sedangkan situs basa dengan kekuatan tinggi merujuk pada jumlah molekul CO_2 yang terlepas dari permukaan pada suhu antara 400-700°C. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Lintang (2020), MgO (Merck) menunjukkan jumlah total situs basa yang kecil, sekitar 0,39 mmol/g. Akan tetapi, pada sintesis MgO, jumlah total situs basa lebih besar, yakni MgO/H₂O 2,05 mmol/g, MgO/MeOH 1,58 mmol/g, MgO/EtOH 1,89 mmol/g dan MgO/ButOH 2,18 mmol/g. Hubungan antara situs basa permukaan dan luas permukaan saling terkait. Ketika ukuran partikel semakin besar, maka luas permukaannya cenderung mengecil, sehingga jumlah situs basa juga cenderung berkurang.

e. GC-MS

GC-MS adalah gabungan dari *Gas Chromatography* (GC) dan *Mass Spectrometry* (MS), yang dimanfaatkan untuk menganalisis campuran organik dan biokimia yang kompleks. GC mampu melakukan pemisahan antara senyawa volatil dan semi-volatil dengan tingkat pemisahan yang tinggi, namun tidak mampu mengidentifikasi senyawa tersebut secara langsung. Sementara *Mass Spectrometry* (MS) mampu menginformasikan secara jelas struktural pada sebagian besar senyawa sehingga mampu untuk diidentifikasi dan diukur dengan cepat. Akan tetapi, teknik ini tidak sepenuhnya mampu memisahkan senyawa-senyawa tersebut dengan mudah.

Gas Chromatography (GC) merupakan metode kromatografi dengan dua fase, yaitu *mobile phase* dan *stationary phase*. Pada *mobile phase* biasanya menggunakan gas inert, misalnya helium atau gas non-reaktif, misalnya nitrogen. *Stationary phase* merupakan lapisan yang sangat kecil dari cairan atau polimer pada kolom atau dukungan padat inert yang terdapat dalam tabung. Di dalam kolom kapiler terdapat *stationary phase*, pendukung padat halus yang dilapisi dengan cairan nonvolatil. Gas helium memberikan aliran pada kolom yang melewati sampel. Selanjutnya, komponen-komponen tersebut pada waktu yang berbeda (waktu retensi)

terpisah antara satu dengan yang lain. Pada saat sampel keluar dari kolom kromatografi, sampel tersebut mengalami fragmentasi oleh ionisasi pada spektroskopi massa. Setelah itu berdasarkan massa, fragmen tersebut diurutkan guna membentuk pola fragmentasi. Pola tersebut bersifat unik atau dikenal sebagai sidik jari molekuler, hal ini membuat pola tersebut dapat dimanfaatkan dalam mengenali tiap komponen (Hussain & Maqbool, 2014)



Gambar 2. 6 Diagram skema GC-MS

B. Kajian Pustaka

Penelitian tentang sintesis biodiesel dengan penambahan konsentrasi katalis heterogen CaO (0,5; 1; 1,5) % dengan NaOH 5% dilakukan oleh Oke *et al* (2021). Pada penelitian ini sintesis biodiesel dari minyak kedelai mendapatkan pencapaian optimal dengan *yield* sebesar 86,7860%, diperoleh dari perbandingan mol minyak terhadap metanol sebesar 1:12, dengan konsentrasi katalis 1% berdasarkan berat minyak. Ginting *et al* (2017) juga

melakukan proses impregnasi dengan NaOH pada tingkat konsentrasi 50% (b/b) pada karbon aktif dari cangkang jengkol dalam produksi biodiesel. Proses ini mampu mengubah minyak kelapa sawit menjadi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi. Dalam kondisi reaksi, jumlah katalis yang digunakan adalah 5%, rasio molar minyak terhadap metanol adalah 1:12, dan pada suhu 60°C dengan durasi reaksi selama 180 menit menghasilkan kadar metil ester yang tinggi yakni 97%.

Nainggolan *et al* (2014) pernah melakukan eksperimen menggunakan katalis CaO untuk mensintesis biodiesel dengan melakukan proses gliserolisis *refined bleached deodorize palm oil* (RPBO) dan gliserol dengan pemanfaatan limbah cangkang telur ayam sebagai katalis dengan jumlah 5% dan variasi rasio *tert*-butanol terhadap minyak (1, 2, dan 3 v/b). Dalam studi ini, hasil optimal dicapai dengan rasio *tert*-butanol terhadap RBDPO sebesar 3:1 (v/b) dan suhu reaksi 70°C, yang menghasilkan kadar mono dan diasilgliserol sebesar 68,6217%. Kadar asam lemak bebas yang berasal dari mono dan diasilgliserol yang dihasilkan adalah 0,55%.

Wiyata (2021) juga telah menggunakan cangkang telur bebek sebagai katalis CaO pada konsentrasi 2% dan 4% dengan bantuan katalis asam H₂SO₄. Keadaan transesterifikasi optimal ditemukan pada variabel ke-8, dengan penambahan katalis CaO sebesar 4% (v/b), durasi transesterifikasi selama 70

menit, dan suhu operasi 70°C menghasilkan rendemen yang paling tinggi sebesar 78,1%. Selain itu Putra *et al.*, (2021) melakukan penelitian sintesis biodiesel dari *crude fish oil* (CFO) dengan penambahan 15% katalis heterogen CaO dari cangkang kerang darah dan katalis H₂SO₄. Proses esterifikasi *crude fish oil* didapatkan hasil kadar asam lemak bebas turun dari 7,29% menjadi 0,045%. *Yields* biodiesel yang paling tinggi diperoleh pada berat katalis CaO 25% dengan suhu 60°C yaitu sebesar 52,54%.

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian dalam rangka memperbesar luas permukaan katalis CaO. Pembaharuan penelitian dilakukan dengan memanfaatkan cangkang telur ayam menjadi katalis CaO dan memodifikasi katalis CaO menggunakan padatan NaOH melalui metode impregnasi dengan variasi 1%, 5% dan 10%. Perbedaan dengan penelitian yang sudah dilakukan oleh Oke *et al* (2021) yaitu penambahan konsentarsi katalis dan perbandinagn rasio mol. Selain itu, penggunaan campuran alkohol berupa metanol dan etanol dimaksudkan untuk memperoleh produk biodiesel yang lebih baik daripada menggunakan metanol maupun etanol saja.

C. Hipotesis

Pada penelitian ini, hipotesis yang diajukan yaitu penambahan NaOH ke dalam katalis CaO dari cangkang telur ayam melalui proses impregnasi akan meningkatkan kebiasaan

katalis yang pada akhirnya meningkatkan aktivitas katalik katalis dan meningkatkan hasil konversi biodiesel dari minyak jelantah

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

1. Alat-alat

Pada penelitian ini, alat yang dipakai mencakup berbagai peralatan laboratorium seperti gelas kimia berukuran 250 ml, corong gelas, erlenmeyer, corong pisah, gelas ukur, piknometer, buret, termometer, batang pengaduk berbahan kaca, labu leher dua, kondensor untuk proses refluks, spatula, cawan porselen, karet sumbat, kertas saring, alat untuk menghaluskan bahan seperti mortar dan alu, ayakan berukuran 60 mesh, *waterbath*, statif dan klem, *heating mantle*, pemanas, *magnetic stirrer*, neraca analitik, furnace, serta desikator.

Instrumen yang digunakan adalah instrumen XRD (Bruker D2 Phaser), instrumen XRF (Rigaku Supermini200), instrumen FT-IR (Bruker Alpha II), dan instrumen GC-MS (Shimadzu GC-MS 2010 plus).

3. Bahan

Bahan yang dipakai pada penelitian ini diantaranya cangkang telur ayam, minyak goreng bekas, padatan NaOH 98% (Merck, pa), etanol 95% (Merck, pa), metanol 99,8% (Merck, pa), indikator Fenolftalen (PP), indikator Bromotimol biru (BTB), H₂SO₄ 98% (Merck, pa), akuades.

B. Cara Kerja

1. Konversi Cangkang Telur Menjadi CaO

Langkah awal yaitu membersihkan cangkang telur ayam dari lapisan kulitnya, selanjutnya dibilas. Setelah itu, cangkang telur dikeringkan menggunakan panas matahari pada suhu 110°C selama 24 jam. Cangkang telur kemudian dihaluskan dengan ayakan berukuran 60 mesh. Bubuk dari cangkang telur tersebut kemudian dikalsinasi pada suhu 900°C selama 3 jam. Hasil dari proses tersebut disimpan di dalam desikator agar keadaan katalis tetap kering (Oko & Feri, 2019)

2. Pembuatan Katalis NaOH/CaO

Serbuk dari cangkang telur ayam seberat 50 gram ditimbang ke dalam gelas kimia berukuran 250 ml. Kemudian, larutan NaOH dengan berbagai konsentrasi yaitu 1%, 5%, dan 10% ditambahkan dengan bantuan pelarut akuades. Campuran ini kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 85°C selama 3 jam. Setelah itu, campuran disaring dan hasil campuran dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 12 jam. Hasilnya dihaluskan kembali dengan menggunakan mortar. Selanjutnya, produk tersebut dikalsinasi kembali pada suhu 300°C selama 3 jam. Setelah proses selesai, hasil didinginkan di dalam desikator dan disimpan dalam wadah yang tertutup (Oko *et al.*, 2021).

3. Karakterisasi Katalis

a. Karakterisasi Katalis Menggunakan FTIR

Serbuk CaO, NaOH/CaO 1%, NaOH 5%, dan NaOH/CaO 10% yang dihasilkan dari proses sintesis, semuanya dianalisis dengan instrumen FTIR guna mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada katalis tersebut.

b. Karakterisasi Katalis CaO Menggunakan XRF

Serbuk CaO yang dihasilkan dari pengubahan cangkang telur diselidiki dengan instrumen XRF guna menentukan unsur dalam bahan secara kualitatif maupun kuantitatif.

c. Karakterisasi Katalis Menggunakan XRD

Serbuk CaO yang dihasilkan dari proses konversi serta CaO/NaOH dari proses sintesis, keduanya dianalisis dengan instrumen XRD guna memahami pola orientasi kristal yang khas pada katalis tersebut.

d. Analisis Total Kebasaan Katalis

Kebasaan katalis bisa diukur menggunakan teknik titrasi asam benzoat. Katalis sejumlah 0,1 gram dicampur dengan 2 ml indikator BTB (dengan konsentrasi 0,1 mg BTB dalam 1 ml metanol). Dalam pelarut metanol, campuran tersebut kemudian dititrasi menggunakan larutan

asam benzoat 0,1M. Proses titrasi dihentikan saat larutan tidak lagi menunjukkan warna. Kebasaan katalis dapat dihitung menggunakan persamaan 3.1 (Ortega *et al.*,2011)

$$\text{Kebasaan (mmol.g}^{-1}\text{)} = \frac{(VxC)_{\text{Asam benzoat}}}{W_{\text{katalis}}} \quad (3.1)$$

Keterangan:

V = volume asam benzoat yang diperlukan untuk proses titrasi (mL)

C = konsentrasi asam benzoat yang digunakan (mmol/mL)

W = massa katalis yang diuji (g)

4. *Pratreatment* Minyak Goreng Bekas

Minyak jelantah dapat dihasilkan dengan mengumpulkan minyak bekas dari proses penggorengan di rumah atau industri kecil. Sampel minyak jelantah kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring untuk memisahkannya dari pengotor. Langkah selanjutnya adalah memanaskan minyak pada suhu 105-120 °C (hingga kadar air yang ada hilang).

5. Penetapan Kadar Asam Lemak Bebas (FFA)

Sampel ditimbang sebanyak 5 gram dan ditempatkan dalam erlenmeyer berukuran 250 ml. Kemudian,

ditambahkan 10 mL etanol, dan campuran dipanaskan dalam *waterbath* selama 2 menit. Langkah selanjutnya ditambahkan 3 tetes indikator fenolftalein (PP), kemudian larutan tersebut dititrasi menggunakan NaOH 0,1 N sampai terjadi perubahan warna. Kandungan asam lemak bebas kemudian dapat dijadikan persen dan dihitung dengan persamaan (3.2) (Suroso, 2013)

$$\%FFA = \frac{V_{NaOH} \times N_{NaOH} \times BM_{Asam Lemak}}{berat sampel \times 10} \quad (3.2)$$

6. Konversi Minyak Jelantah menjadi Biodiesel

Pengubahan antara minyak jelantah menjadi biodiesel dilakukan dalam labu alas bulat dua leher berukuran 250 mL dan dilengkapi dengan kondensor untuk proses refluks, *magnetic stirrer*, serta pemanas dan penangas dengan tujuan untuk menstabilkan suhu reaksi. Langkah pertama yang dilakukan yaitu pembuatan larutan metoksi yang dihasilkan dari reaksi antara metanol dan katalis pada suhu 60°C selama 10 menit. Selanjutnya dilakukan pencampuran larutan metoksi ke dalam minyak jelantah yang dipanaskan dalam labu leher dua. Reaksi ini berlangsung pada suhu 65°C dengan total katalis sebesar 3% dari massa reaksi minyak jelantah, rasio mol metanol terhadap minyak adalah 9:1, dan durasi reaksi selama 3 jam (Oko *et al.*, 2021). Setelah terbentuk dua lapisan, campuran tersebut disaring dan dimasukkan ke dalam

corong pemisah. Produk sintesis kemudian dicuci dengan penambahan larutan HCl 2 M hingga terjadi pengendapan warna putih. Proses tersebut dilakukan sambil diaduk pada suhu 80°C selama 10 menit (Suprpto *et al.*, 2016). Filtrat disaring dengan kertas saring kemudian dimurnikan dengan larutan n-heksana 10 ml sambil diaduk pada temperatur 80°C selama 10 menit (Fitriyana *et al.*, 2012). Larutan campuran dimasukkan ke dalam corong pemisah dan didiamkan pada suhu ruangan dalam periode semalam. Setelah itu, campuran dipisahkan antara lapisan atas dan bawah. Lapisan atas disaring dengan kertas saring agar katalis yang masih ada di dalamnya hilang. Campuran kemudian diuapkan dengan *rotary evaporator* pada suhu 65-70°C hingga tidak ada lagi gelembung yang terlihat (Oko *et al.*, 2021). Setelah proses itu, produk dianalisis dengan GC-MS untuk mengevaluasi kandungan dan komposisi dari produk yang didapatkan.

7. Analisis Produk

- a. Persentase kandungan ester atau % *yield* dihitung dengan persamaan 3.4

$$\%Yield\ biodiesel = \frac{\%area\ FAME \times massa\ biodiesel}{massa\ minyak\ jelantah} \times 100\% \quad (3.4)$$

- b. Konversi FFA dihitung dengan persamaan 3.5

$$Konversi\ FFA = \frac{Kadar\ FFA\ awal - Kadar\ FFA\ akhir}{Kadar\ FFA\ awal} \times 100\% \quad (3.5)$$

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui karakteristik dan aktivitas katalitik dari katalis CaO dan cangkang telur ayam yang dimodifikasi dengan natrium hidroksida (NaOH) menjadi katalis NaOH/CaO yang digunakan pada sintesis biodiesel dari minyak jelantah. Hasil sintesis katalis dikarakterisasi menggunakan instrumen FTIR, XRD, XRF serta dianalisis total kebasaannya.

A. Sintesis Katalis CaO dari Cangkang Telur Ayam

Katalis heterogen yang dapat digunakan untuk menghasilkan biodiesel antara lain CaO. CaO dihasilkan oleh penguraian CaCO_3 atau Ca(OH)_2 . Limbah cangkang telur dapat dikonversi menjadi katalis CaO. Cangkang telur ayam adalah bahan dasar yang sangat potensial untuk menghasilkan katalis basa heterogen (Nur'afiatun *et al.*, 2023).

Pembuatan katalis dari cangkang telur ayam dimulai dengan mencuci bahan agar lapisan putih di dalamnya hilang. Langkah berikutnya melibatkan pengeringan dan pengurangan ukuran hingga mencapai sekitar 60 mesh, proses ini akan mengakibatkan permukaan katalis yang dibuat sama rata dan memaksimalkan proses pembakaran saat kalsinasi terjadi. Untuk mengubah serbuk CaCO_3 dalam cangkang ayam menjadi CaO dengan proses dekomposisi. Proses tersebut dilakukan melalui kalsinasi pada suhu 900°C selama 3 jam dan

menghasilkan warna CaO putih sedikit abu. Pada saat melakukan kalsinasi, reaksi yang terjadi adalah

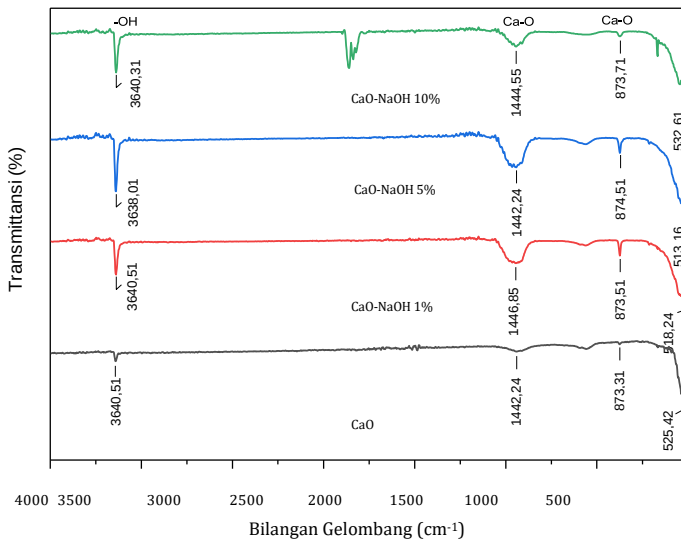


Katalis hasil sintesis dimodifikasi dengan larutan NaOH melalui proses impregnasi. Impregnasi NaOH dilakukan dengan variasi 1 %, 5 %, dan 10 % dengan tujuan meningkatkan aktivitas katalitik katalis karena impregnasi akan meningkatkan nilai kebasaaan. Kebasaan katalis penting agar reaksi yang terjadi berjalan secara optimum (Astuti *et al.*, 2019). Katalis 1% NaOH/CaO disintesis dengan padatan NaOH sebanyak 0,15 g dan 14,85 g katalis CaO dilarutkan dalam aquades dan diaduk dalam *magnetic stirrer* selama 3 jam dengan pemanasan 85°C. Sintesis katalis 5% NaOH/CaO menggunakan 0,75 g padatan NaOH dan 14,25 g katalis CaO. Sintesis katalis 10% NaOH/CaO menggunakan 1,5 g padatan NaOH dan 13,5g katalis CaO. Pengadukan akan mempercepat campuran larutan menjadi homogen akibat intens-nya interaksi kontak antara NaOH dan CaO. Selanjutnya dilakukan pengovenan selama 12 jam untuk menghilangkan kadar air. Langkah selanjutnya adalah menghaluskan hasil produk menggunakan alat mortar, selanjutnya dilakukan proses kalsinasi kembali pada suhu 300°C selama 3 jam, yang mengakibatkan perubahan bentuk hidroksida menjadi oksida (Niju *et al.*, 2014).

B. Karakterisasi Katalis CaO, 1% NaOH/CaO, 5% NaOH/CaO dan 10% NaOH/CaO

1. Karakterisasi Katalis Menggunakan FTIR

Spektroskopi inframerah digunakan guna mengenali berbagai gugus fungsi yang ada dalam sebuah senyawa. Pada rentang bilangan gelombang 4000 hingga 500 cm^{-1} , FTIR dari katalis kalsium oksida (CaO) dapat dianalisis seperti yang terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Pola spektrum inframerah katalis (a) CaO, (b) 1% NaOH/CaO, (c) 5% NaOH/CaO, (d) 10% NaOH/CaO

Tabel 4. 1 Rentang bilangan gelombang inframerah katalis
(a) CaO, (b) 1% NaOH/CaO, (c) 5% NaOH/CaO, (d) 10%
NaOH/CaO

No.	Gugus	Bilangan Gelombang (cm^{-1})				
		Rentang	Hasil sintesis			
			CaO- CaO	CaO- NaOH 1%	CaO- NaOH 5%	CaO- NaOH 10%
1.	Vibrasi O-H	3500– 3700 (a)	3641,52	3640,51	3638,01	3640,31
2.	Vibrasi C-O ulur	1400- 1450 (b)	1442,24	1446,85	1442,24	1444,55
3.	Vibrasi C-O tarik	850-875 (b)	873,31	873,51	874,51	873,71
4.	Vibrasi CaO	400-600 (c)	525,42	518,24	513,16	532,61
		(a) (Usman <i>et al.</i> , 2023)				
		(b) (Tao <i>et al.</i> , 2011)				
		(c) (Jadhav <i>et al.</i> , 2022)				

Menurut hasil data FTIR dari gambar 4.1 terlihat bahwa 4 katalis gugus fungsi hidroksil menunjukkan adanya vibrasi ulur O-H yang ditandai adanya puncak pada bilangan gelombang $3641,52 \text{ cm}^{-1}$, $3640,51 \text{ cm}^{-1}$, $3638,01 \text{ cm}^{-1}$, dan $3640,31 \text{ cm}^{-1}$. Gugus OH dengan puncak yang tajam merupakan karakteristik dari CaO (Oxide dan Mario, 2009). Adanya gugus OH dari Ca(OH)_2

dengan karakteristik puncak yang tajam di daerah $3641,52\text{ cm}^{-1}$, $3640,51\text{ cm}^{-1}$, $3638,01\text{ cm}^{-1}$, dan $3640,31\text{ cm}^{-1}$ dimungkinkan berasal dari molekul air yang teradsorb pada permukaan CaO, dikarenakan CaO dikenal bersifat higroskopis sehingga menyerap uap air dan udara (Granados et al., 2007)

Hasil tersebut serupa dengan temuan Liu *et al.*, (2008) yang menemukan bahwa spektrum inframerah Ca(OH)_2 berasal dari gugus OH yang terjadi pada daerah antara 4000 sampai 3600 cm^{-1} . Selanjutnya, hasil penelitian Granados *et al.*, (2007) menyatakan bahwa gugus OH dari Ca(OH)_2 terlihat pada 3647 cm^{-1} . Berdasarkan penelitian Albuquerque *et al.*, (2008) gugus OH yang terdapat pada spektra dari katalis ditunjukkan pada puncak 3640 cm^{-1} . Menurut Andalia & Pratiwi (2024), pada bilangan gelombang 3741 cm^{-1} , puncak serapan yang timbul merupakan gugus OH.

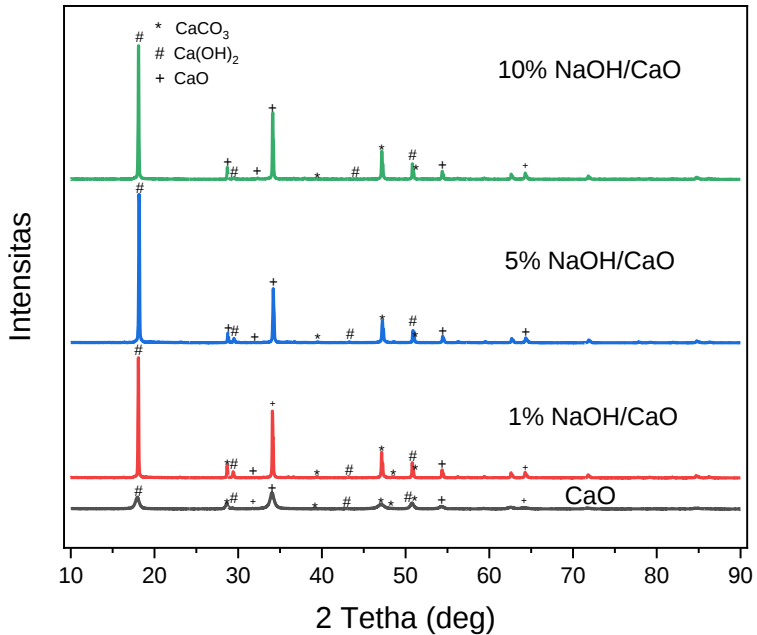
Selain itu, muncul puncak pada bilangan gelombang $1442,24\text{ cm}^{-1}$; $1446,85\text{ cm}^{-1}$; $1442,24\text{ cm}^{-1}$, $1444,55\text{ cm}^{-1}$ muncul pada keempat katalis yang menandakan getaran CO dari molekul CO_3^{2-} . Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Granados *et al.*, (2007) bahwa pada pita gelombang 1479 cm^{-1} dan 1419 cm^{-1} dapat dikatakan adanya ikatan CO dari karbonat pada

permukaan CaO. Adanya pita getaran CO_3^{2-} menunjukkan bahwa transformasi CO_3^{2-} belum sempurna. Sedangkan vibrasi tekuk CO dari gugus karbonat muncul pada bilangan gelombang sekitar $873,31\text{ cm}^{-1}$, $873,51\text{ cm}^{-1}$, $874,51\text{ cm}^{-1}$, $873,71\text{ cm}^{-1}$ merupakan karakteristik vibrasi tekuk (*bending*) dari CO yang biasanya muncul pada CaCO_3 dan Ca(OH)_2 .

Vibrasi puncak CaO terdeteksi pada bilangan gelombang $525,42\text{ cm}^{-1}$, 518 cm^{-1} , $513,16\text{ cm}^{-1}$, $523,61\text{ cm}^{-1}$ (Mirghiasi et al., 2014). Bilangan gelombang tersebut dapat dijadikan acuan untuk memastikan adanya CaO pada sampel, dikarenakan di antara spektrum CaO, CaCO_3 , dan Ca(OH)_2 hanya untuk CaO yang memiliki puncak yang melebar pada bilangan gelombang sekitar 500 cm^{-1} hingga 600 cm^{-1} karena berhubungan dengan ikatan CaO vibrasi ulur (Mawarani et al., 2021).

2. Karakterisasi Katalis CaO, 1% NaOH/CaO, 5% NaOH/CaO dan 10% NaOH/CaO Menggunakan XRD

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui apakah pada suhu 900°C cangkang telur yang telah dikalsinasi telah terbentuk CaO. Analisis dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) yang terlihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Pola difraktogram sinar-X katalis (a) CaO , (b) 1% NaOH/CaO (c) 5% NaOH/CaO , (d) 10% NaOH/CaO

Informasi pola difraktogram dalam Gambar 4.2 menunjukkan pola difraksi katalis CaO yang terlihat melalui munculnya puncak-puncak difraksi yang dapat diamati pada posisi $2\theta = 31,716^\circ$; $33,103^\circ$; $54,287^\circ$; $64,203^\circ$ yang sesuai dengan JCPDS no. 00-037-1497. Puncak Ca(OH)_2 yang teramati pada pola difraktogram sesuai dengan JCPDS no. 01-081-2040 dimana puncak Ca(OH)_2 terlihat di $2\theta = 17,977^\circ$; $29,324^\circ$; $46,159^\circ$ dan $50,753^\circ$.

Berdasarkan Asikin-Mijan *et al.*, (2015) adanya puncak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dalam sampel menandakan terjadinya hidrasi dari CaO yang tak terhindarkan setelah proses kalsinasi membentuk $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Puncak yang tajam menandakan adanya kalsium karbonat (CaCO_3) diamati pada $2\theta = 34,01^\circ; 34,04^\circ; 34,19^\circ, 34,15^\circ$. Kehadiran puncak CaCO_3 adalah karena penguraian CaCO_3 kurang sempurna menjadi CaO dan CO_2 , sehingga membentuk CaCO_3 di dalam kalsit (Helwani *et al.*, 2021). Difraktogram CaCO_3 pada semua katalis diamati pada $29,4^\circ; 39,4^\circ; 43,1^\circ; 47,1^\circ; 48,5^\circ$. Sementara itu, perlakuan impregnasi 1% NaOH/CaO , 5% NaOH/CaO dan 10% NaOH/CaO terhadap katalis CaO tidak merubah struktur katalis CaO karena NaOH memiliki kemampuan dalam melarutkan pengotor pada permukaan CaO , sehingga jumlah pori-pori yang terbuka menjadi naik dan membentuk interaksi lapis tunggal (Setiadji *et al.*, 2017). Hal ini mengakibatkan tidak terlihatnya fase NaOH dalam pola difraksi (Putra, 2017). Berdasarkan hasil analisis XRD pada sampel hasil kalsinasi cangkang telur ayam, terlihat bahwa sampel CaO belum mencapai kemurnian total. Masih terdeteksi adanya komponen lain seperti $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan CaCO_3 yang belum sepenuhnya berubah.

3. Karakterisasi Katalis CaO Menggunakan XRF

Komponen senyawa penyusun katalis CaO yang

diambil menggunakan XRF bisa dilihat pada tabel 4.2 dan 4.3

Tabel 4. 2 Komponen Senyawa Penyusun Katalis CaO

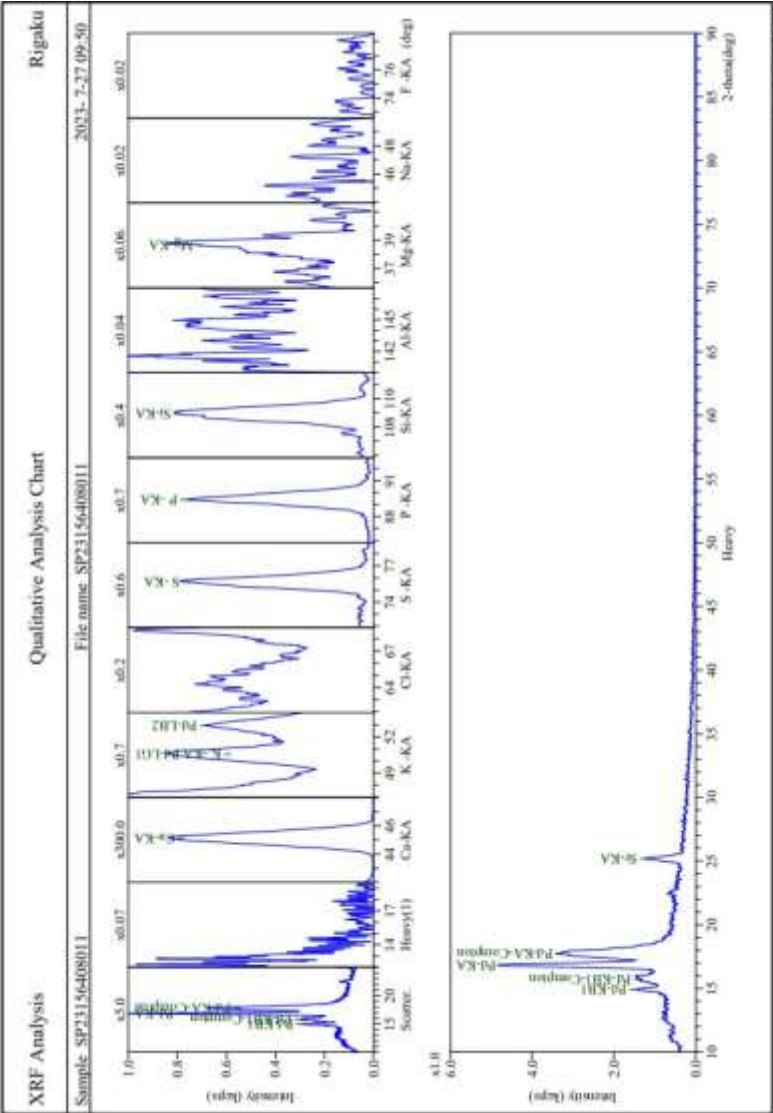
Komponen Oksida	Hasil (% Berat)
MgO	0,297
SiO ₂	0,369
P ₂ O ₅	0,526
SO ₃	0,243
K ₂ O	0,122
CaO	89,1
SrO	0,0479
<i>Balance</i>	9,29
Total	99,99

Tabel 4. 3 Komponen Unsur Penyusun Katalis CaO

Unsur	Hasil (% Berat)
Mg	0,234
Si	0,220
P	0,233
S	0,984
K	0,101
Ca	63,5
Sr	0,0401
Balance	35,6
Total	100,91

Data dari XRF dalam Tabel 4.2 mengindikasikan bahwa CaO hadir dalam jumlah yang besar. Kadar CaO dalam produk kalsinasi cangkang telur ayam mencapai 89,1%. Hasil penelitian tersebut relatif sama dengan hasil penelitian Hartanti *et al* (2022) yaitu proses kalsinasi cangkang telur bebek pada suhu 900°C dalam rentang waktu satu jam menghasilkan kadar CaO sebesar 89,06%. Studi ini sejalan dengan riset lainnya, namun dengan sampel yang berbeda seperti cangkang bekicot, limbah tulang ikan tenggiri, cangkang kepiting, cangkang kerang darah, dan cangkang keong mas. Temuan dari penelitian menyatakan bahwa kandungan CaO dalam setiap cangkang secara berurutan adalah sebesar 50,814% (Anggresani *et al*, 2019) 86,86% (Puspitasari *et al*, 2018), 98,629% (Kurniawan *et al*, 2019), 40-70% (Raya *et al*, 2015) dan 99,09% (b/b) (Nurhayati *et al*, 2016). Menurut penjelasan tersebut, cangkang telur memiliki kandungan CaO yang lebih tinggi daripada senyawa lainnya yang terdapat di dalamnya. Senyawa CaO merupakan senyawa oksida yang terbentuk dari pemanasan CaCO_3 pada suhu tinggi dengan cara membebaskan CO_2 (Sammulia, Suhaera, & Ardini 2018). Komponen pengotor yang terkandung dalam katalis ini berupa MgO , SiO_2 , P_2O_5 , SO_3 , K_2O , SrO . *Component balance* diartikan sebagai senyawa-

senyawa organik dan atom dengan jumlah atom kurang dari 11 (Hakim *et al.*, 2019). Konteks tersebut dihubungkan dengan kehadiran (OH) dan (CO_3^{2-}) karena karakteristik CaO yang menyerap CO_2 dan H_2O dari udara. Spektrum XRF katalis CaO bisa dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4. 3 Spektrum XRF Katalis Cao

4. Analisis Total Kebasaan Katalis

Analisis kebasaaan katalis CaO, 1%, 5%, dan 10% NaOH/CaO hasil sintesis dilakukan untuk mengetahui kekuatan kebasaaan katalis. Kebasaaan katalis dapat diuji dengan metode titrasi dimana 0,1 g katalis ditambahkan 2 mL indikator BTB (*bromothymol blue*) dalam pelarut metanol, kemudian dititrasi dengan asam benzoat 0,1 M. Data perhitungan kebasaaan katalis ditampilkan pada tabel 4.4

Tabel 4. 4 Nilai Kebasaaan Katalis

Sampel	Nilai Kebasaaan(mmol.g ⁻¹)
CaO	6,49
1% NaOH/CaO	7,1
5% NaOH/CaO	8,26
10% NaOH/CaO	9,65

Modifikasi katalis pada cangkang telur ayam dengan NaOH secara impregnasi mampu meningkatkan kebasaaan permukaannya (Tabel 4.4). Peningkatan nilai kebasaaan permukaan berdampak pada peningkatan nilai situs aktif basa. Sebelum dimodifikasi, cangkang telur ayam memiliki kebasaaan permukaan dan situs aktif basa sebesar 6,49 mmol g⁻¹. Sedangkan setelah mengalami modifikasi NaOH dengan persentase 1%, 5%, dan 10% mengalami peningkatan menjadi 7,1 mmol g⁻¹, 8,26 mmol g⁻¹, dan 9,65

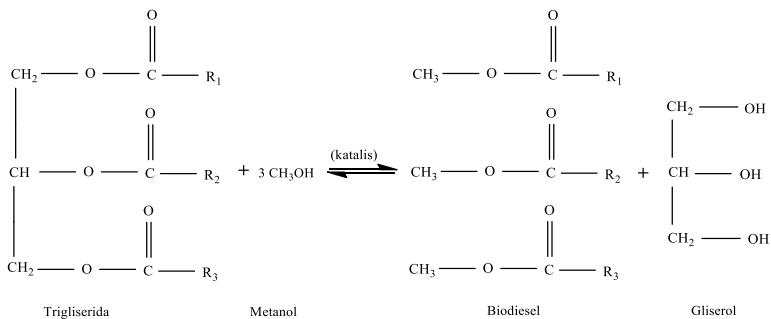
mmol g⁻¹.

Mulyani (2013) menyatakan bahwa penambahan NaOH ke dalam CaO dapat meningkatkan tingkat kebasaan. Sifat basa pada katalis sangat krusial dalam pembuatan biodiesel karena mampu mengoptimalkan reaksi transesterifikasi (Knote *et al.*, 2005)

C. Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Reaksi Transesterifikasi

Preparasi minyak jelantah merupakan langkah awal dalam mensintesis metil ester dari minyak jelantah. Langkah pertama, menyaring minyak jelantah agar pengotor atau endapan terpisah dari minyak. Selanjutnya, memanaskan minyak jelantah pada suhu 120°C dengan durasi 10 menit agar kadar air dalam minyak hilang. Tingginya kadar air dapat menginduksi reaksi saponifikasi yang berpotensi mengurangi pembentukan metil ester. Langkah berikutnya melibatkan pengujian kadar FFA (*Free Fatty Acid*) dalam minyak jelantah untuk mengetahui kandungan asam lemak bebas yang terkandung di dalam minyak jelantah. Analisis asam lemak bebas dilakukan dengan mereaksikan dengan memasukkan 5 g minyak jelantah dan direaksikan dengan 1 mL etanol 96%. Campuran larutan ditetesi indikator PP dan dititrasi dengan larutan NaOH 0,1N yang distandarisasi dengan asam oksalat 0,1 N hingga larutan berubah warna dari bening menjadi merah muda. Analisis ini menghasilkan *Free Fatty Acid* (FFA)

sebesar 1,16 %. Hasil perhitungan kadar FFA menjadikan minyak jelantah dapat langsung melalui reaksi transesterifikasi dan tidak perlu diesterifikasi terlebih dahulu karena memiliki %FFA dibawah 5% (Busyairi *et al.*, 2020). Apabila minyak jelantah memiliki persentase FFA asam lemak bebas yang tinggi, maka saat dilakukan sintesis melalui transesterifikasi akan menyebabkan reaksi saponifikasi sehingga menyulitkan saat proses konversi biodiesel (Santoso *et al.*, 2013).



Gambar 4.4 Reaksi Transesterifikasi

Langkah berikutnya melibatkan pembuatan larutan metoksi yang dihasilkan dari reaksi antara metanol dan katalis pada suhu 65°C dengan durasi 10 menit. Proses pembuatan larutan metoksi ini bertujuan untuk membentuk ion alkoksi yang bersifat nukleofilik guna menyerang ikatan karbonil pada trigliserida. Selanjutnya, trigliserida dari minyak jelantah akan bereaksi dengan larutan metoksi ini. Proses tersebut dilakukan dengan mencampur larutan metoksi ke dalam minyak jelantah

yang dipanaskan dalam labu leher dua pada suhu 60°C selama 3 jam. Perbandingan pencampuran antara minyak jelantah dengan alkohol menggunakan rasio molar 1:9 (Oko *et al.*, 2021)

Setelah selesainya proses sintesis, maka terbentuk dua lapisan, yakni lapisan atas (biodiesel) sedangkan lapisan bawah (katalis dan gliserol). Hasil sintesis biodiesel dicuci dengan larutan HCl 2 M sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* untuk memisahkan sisa CaO yang masih ada dalam biodiesel dengan mengikat Ca^{2+} dengan Cl^- sehingga membentuk CaCl_2 dan H_2O . Selanjutnya ditambahkan 10 mL n-heksan untuk melarutkan senyawa organik yang masih terkandung dan dibiarkan dengan durasi 24 jam hingga membentuk 2 lapisan dimana lapisan atas diambil karena lapisan tersebut adalah metil ester. Metil ester dipanaskan dalam suhu 110°C untuk menguapkan n-heksan dan air sehingga menghasilkan metil ester murni (Fitriyana *et al.*, 2012).

D. Analisis Hasil Biodiesel

1. Analisis GC-MS

Kandungan asam lemak bisa dianalisis dengan pemisahan secara kuantitatif menggunakan teknik *Gas Chromatography* (GC), teknik ini mampu menginformasikan mengenai turunan dari asam lemak dalam sampel. Pendekatan analisis *Mass Spectroscopy* (MS)

dimanfaatkan untuk mengidentifikasi fragmen dari asam lemak jenuh dan tak jenuh, serta posisi ikatan rangkap pada berbagai jenis asam lemak (Sartini, 2013). Analisis ini menegaskan bahwa hasil sintesis yang dihasilkan adalah senyawa biodiesel (Suirta, 2003). Hasil GC-MS dari empat produk terdeteksi terdapat puncak kromatogram metil ester pada masing-masing produk yang ditunjukkan pada tabel 4.5 dimana biodiesel mengandung senyawa metil palmitat, metil stearat, metil oleat, metil linoleat, metil-11,14- eikosadienoat. Tabel 4.5 menunjukkan bahwa metil oleat memiliki persentase paling besar pada masing-masing biodiesel diikuti oleh metil palmitat. Nilai dan area metil palmitat dan metil oleat pada biodiesel-CaO 14,92% dan 14,86%, biodiesel-1% NaOH/CaO 12,44% dan 14,56%, biodiesel-5% NaOH/CaO 11,11% dan 10,29% serta biodiesel-10% NaOH/CaO 12,32% dan 12,02%. Metil ester yang teridentifikasi dibandingkan dengan *standar base* yang dikonfirmasi

Tabel 4. 5 Hasil Uji GC-MS Biodiesel

No	Produk Biodiesel	Biodiesel -CaO Area (%)	Biodiesel-1% NaOH/CaO Area (%)	Biodiesel-5% NaOH/CaO Area (%)	Biodiesel- 10% NaOH/CaO Area (%)
1	Metil laurat	0,27	-	-	-
2	Metil miristat	0,43	14,56	11,11	-
3	Metil palmitat	14,92	-	-	12,32
4	Metil stearat	1,78	-	-	-
5	Metil oleat	14,86	12,44	-	-
6	Asam elaidat	0,50	-	4,78	5,66
7	Metil linoleat	3,87	-	10,29	12,02
8	Asam miristat	0,15	-	-	-
9	Asam palmitat	21,58	14,56	15,56	-
10	Asam stearat	1,96	-	-	1,03
11.	Asam elaidat	31,11	-	-	-
12.	Asam linoleat	8,56	7,47	8,02	7,00
13.	Etil palmitat	-	5,15	1,96	2,34
14.	Asam oleat	-	44,59	-	36,75
15.	Etil oleat	-	6,13	-	-
16.	3- <i>Gluthationylacet aminophen</i>	-	-	0,28	-
17.	Asam karbonat	-	-	47,98	-
18.	Asam linoleat	-	-	-	4,29

19.	<i>Glycerol monooleate</i>	-	-	-	16,44
20.	2-ACETYL,-1,5 DIMETHYL	-	-	-	2,17
	Jumlah	100,00	100,00	100,00	100,00

Berdasarkan hasil % area FAME pada tabel 4.5 memperlihatkan bahwa hasil biodiesel dengan bantuan katalis 1% NaOH/CaO memiliki % area FAME paling besar yakni 38,28%. Kenaikan dalam pembentukan FAME dari reaksi yang menggunakan katalis 1% NaOH/CaO menyatakan bahwa kinerja katalis ini lebih superior dibandingkan dengan katalis lainnya.

Sementara biodiesel dengan bantuan katalis CaO, 5% NaOH/CaO dan 10% NaOH/CaO menghasilkan % area masing-masing 36,13%, 23,36%, dan 26,68%. Penurunan FAME pada katalis 5% NaOH/CaO dan 10% NaOH/CaO menunjukkan hasil yang lebih rendah dari katalis CaO hal ini dapat disebabkan oleh banyak faktor, diantaranya proses transesterifikasi yang belum optimal, rasio molar antara minyak dan metanol, waktu dan suhu yang tidak stabil (Mansir *et al.*, 2018). Pada saat reaksi transesterifikasi, dapat terjadi *reversible* atau reaksi balik sehingga metil ester yang sudah terbentuk dapat bereaksi kembali menjadi trigliserida. Rasio molar antara minyak dan katalis merupakan salah satu parameter yang

mempengaruhi hasil dari FAME yang dihasilkan. Hal ini disebabkan baik dalam proses transesterifikasi biodiesel dihasilkan dari reaksi antara metanol dengan trigliserida. Secara teori dibutuhkan 3 mol metanol untuk bereaksi dengan trigliserida dalam proses transesterifikasi. Akan tetapi pada kenyataannya, dibutuhkan lebih dari 3 mol untuk menghasilkan biodiesel dalam jumlah banyak. Hal ini juga disebabkan karena sintesis biodiesel yang terjadi secara *reversibel* sehingga sesuai dengan hukum kesetimbangan reaksi untuk menggeser reaksi ke hasil, dibutuhkan metanol berlebih (Mansir *et al.*, 2018;Ezzah-Mahmudah *et al.*, 2016)

Selain rasio mol antara metanol dan minyak, waktu dan suhu juga menjadi parameter yang dapat meningkatkan FAME dengan adanya peningkatan suhu pada saat reaksi menyebabkan terjadinya reaksi hidrolisis ester menjadi asam dan alkohol yang dapat membuat konversi FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) menurun (Busyairi *et al.*, 2020). Parameter lainnya yang mempengaruhi jumlah FAME yang dihasilkan adalah jumlah katalis yang ditambahkan, jumlah katalis yang berlebih akan menimbulkan gangguan difusi pada proses pencampuran sehingga hasil FAME yang didapatkan berkurang (Ezzah-Mahmudah *et al.*, 2016). Berdasarkan literatur (Krishnaprabu, 2019) dijelaskan bahwa ada

kecenderungan peningkatan alkil ester asam lemak seiring dengan pertambahan jumlah katalis.

2. Analisis %FFA dan Konversinya

Analisis FFA (*Free Fatty Acid*) dilakukan untuk mengetahui keefektifan katalis dalam mengurangi %FFA minyak jelantah terhadap Konversi FFA hasil biodiesel. Hasil analisis ditampilkan pada tabel 4.6

Tabel 4. 6 Nilai Konversi, kadar FFA dan Kadar Bilangan Asam Biodiesel

Sampel	FFA(%)	KonversiFFA (%)
Minyak Jelantah	1,16	-
Biodiesel-CaO	0,84	27,59
Biodiesel-1% NaOH/CaO	0,76	34,48
Biodiesel-5% NaOH/CaO	0,62	46,55
Biodiesel-10% NaOH/CaO	0, 45	61,21

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa % FFA terbesar pada biodiesel menggunakan katalis CaO dengan % FFA sebesar 0,84 %. Sementara % FFA terkecil pada 0,45 pada biodiesel menggunakan katalis 10% NaOH/CaO. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Andalia & Pratiwi (2024) biodiesel yang memiliki kadar asam lemak bebas (FFA) rendah dianggap sebagai pilihan yang optimal sebagai bahan bakar karena cenderung tidak menyebabkan korosi atau pembentukan jelaga atau kerak di injektor mesin diesel.

Reaksi transesterifikasi terhadap minyak jelantah

menggunakan bantuan katalis 10% NaOH/CaO berhasil menurunkan kadar FFA sebesar 61,2% dibandingkan katalis CaO, 1% NaOH/CaO dan 5% NaOH/CaO yang hanya mampu mengonversi masing- masing sebesar 27,55%, 34,4% dan 46,55%. Hal ini disebabkan karena NaOH bertindak sebagai katalis yang dapat menurunkan energi aktivasi sehingga mampu meningkatkan laju reaksi tanpa terlibat didalam reaksi secara permanen dan dapat meningkatkan konversi FFA. Semakin banyak katalis yang digunakan jumlah molekul yang bertumbuk akan bertambah sehingga kecepatan reaksi akan meningkat dan konsekuensinya konversi FFA juga meningkat (Sari *et al.*, 2021).

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa produk biodiesel menggunakan katalis 10% NaOH/CaO lebih baik dibanding katalis CaO, 1% NaOH/CaO, dan 5% NaOH/CaO karena hasil konversi dari minyak jelantah menjadi metil ester paling besar sehingga kandungan asam lemak bebas dalam biodiesel lebih sedikit (Ishaq *et al.*, 2021). Katalis 10 % NaOH/CaO menjadi katalisator paling efektif pada penelitian ini karena nilai kebasaaan yang tinggi mengakibatkan keberadaan CaO sebagai situs aktif katalis meningkatkan aktivitas, selektivitas dan efek stabilitas (Widiarti & Kusumastuti, 2015)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil sintesis katalis CaO , 1% NaOH/CaO , 5% NaOH/CaO , dan 10% NaOH/CaO berbahan dasar cangkang telur ayam telah berhasil dilakukan. Namun masih terdapat pengotor berupa CaCO_3 dan Ca(OH)_2 karena kurang sempurnanya reaksi saat sintesis dan reaksi katalis terhadap udara. Hal ini ditunjukkan pada hasil karakterisasi XRD dan FT-IR yang menampilkan pola difraksi serta spektrum lain selain CaO yaitu berupa CaCO_3 dan Ca(OH)_2 .
2. Proses transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel dengan bantuan katalis CaO , 1% NaOH/CaO , 5% NaOH/CaO , dan 10% NaOH/CaO menghasilkan FAME biodiesel terbesar menggunakan bantuan katalis 1% NaOH/CaO sebesar 38,28%.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, dapat dikatakan berhasil dalam mensintesis minyak jelantah menjadi biodiesel. Namun masih terdapat hal-hal yang dapat dikembangkan dalam penelitian berikutnya sehingga didapat hasil yang lebih baik yaitu

1. Penambahan variasi waktu sintesis minyak

jelantah menjadi biodiesel.

2. Penambahan variasi perbandingan pelarut campuran metanol-etanol yang digunakan saat sintesis minyak jelantah menjadi biodiesel.
3. Penambahan variasi waktu dan suhu kalsinasi saat sintesis katalis.
4. Penambahan variasi penambahan padatan KOH saat impregnasi katalis.
5. Penambahan variasi rasio molar antara minyak dan pelarut yang digunakan saat sintesis minyak jelantah menjadi biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, R. (2011). Karakteristik Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Menggunakan Metil Asetat Sebagai Pensuplai Gugus Metil. *Digital Library Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 1–13.
- Albuquerque, M. C. G., Jiménez-Urbistondo, I., Santamaría-González, J., Mérida-Robles, J. M., Moreno-Tost, R., Rodríguez-Castellón, E., Jiménez-López, A., Azevedo, D. C. S., Cavalcante, C. L., & Maireles-Torres, P. (2008). CaO supported on mesoporous silicas as basic catalysts for transesterification reactions. *Applied Catalysis A: General*, 334(1–2), 35–43.
<https://doi.org/10.1016/j.apcata.2007.09.028>
- Amin, M. (2016). Wawasan Al-Quran Tentang Manusia Dan Lingkungan Hidup Sebuah Kajian Tafsir Tematik. *Jurnal Nizham*, 05(02), 190.
- Andalia, W., & Pratiwi, I. (2024). Kinerja Katalis Naoh dan KOH ditinjau dari Kualitas Produk Biodiesel yang dihasilkan dari Minyak Goreng Bekas. 7(2), 66–73.
- Annisa, S., Rachim, G., Raya, I., & Zakir, M. (2017). MODIFICATION OF CAO CATALYST TO PRODUCE BIODIESEL FROM WASTE COOKING OIL Modifikasi KatalisCaO Untuk Produksi Biodiesel Dari Minyak Bekas. 5(1), 459–464.

Anugrah, A. (n.d.). *Prospek biodiesel*.

Arifin, Z., Rudiyanto, B., & Susmiati, Y. (2016). Produksi Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Heterogen Cangkang Bekicot (*Achatina fulica*) dengan Metode Pencucian Dry Washing. *Jurnal Rotor*, 9(2), 100–104.

Arita, S., Dara, M. B., & Irawan, J. (2008). Pembuatan Metil Ester Asam Lemak Dari Cpo Off Grade Dengan Metode Esterifikasi-Transesterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2), 34–43. <https://doi.org/52-150-1-PB>

Asikin-Mijan, N., Lee, H. V., & Taufiq-Yap, Y. H. (2015). Synthesis and catalytic activity of hydration-dehydration treated clamshell derived CaO for biodiesel production. *Chemical Engineering Research and Design*, 102, 368–377. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2015.07.002>

Asthasari, R., Teknologi, D., Pertanian, I., & Pertanian, F. T. (2008). Kajian Proses Pembuatan Biodiesel Dari Minyak. *Skripsi*.

Astuti, N. K. D., Simpen, I. N., & Suarsa, I. W. (2019). TRANSESTERIFIKASI MINYAK BIJI KARET (*Hevea brasiliensis*) MENGGUNAKAN KATALIS HETEROGEN CANGKANG KEPITING LIMBAH SEAFOOD TERMODIFIKASI K₂O. *Jurnal Kimia*, 13(1), 1. <https://doi.org/10.24843/jchem.2019.v13.i01.p01>

Aziz, I. (2007). Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak

- Goreng Bekas. *Jurnal Kimia VALENSI*, 1(1), 19–23.
<https://doi.org/10.15408/jkv.v1i1.209>
- Bartley, J. K., Xu, C., Lloyd, R., Enache, D. I., Knight, D. W., & Hutchings, G. J. (2012). Simple method to synthesize high surface area magnesium oxide and its use as a heterogeneous base catalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*, 128, 31–38.
<https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2012.03.036>
- Busyairi, M., Muttaqin, A. Z., Meicahyanti, I., & Saryadi, S. (2020). Potensi Minyak Jelantah Sebagai Biodiesel dan Pengaruh Katalis Serta Waktu Reaksi Terhadap Kualitas Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(2), 933–940.
<https://doi.org/10.32672/jse.v5i2.1920>
- Devitria, R., Nurhayati, & Anita, S. (2013). Sintesis Biodiesel dengan Katalis Heterogen Lempung Cengar yang Diaktivasi dengan NaOH : Pengaruh Waktu Reaksi dan Rasio Molar Minyak : Metanol. *J. Ind Che Acta*, 3, 39–44.
- Erchamo, Y. S., Mamo, T. T., Workneh, G. A., & Mekonnen, Y. S. (2021). Improved biodiesel production from waste cooking oil with mixed methanol–ethanol using enhanced eggshell-derived CaO nano-catalyst. *Scientific Reports*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86062-z>

- Ezzah-Mahmudah, S., Lokman, I. M., Saiman, M. I., & Taufiq-Yap, Y. H. (2016). Synthesis and characterization of Fe₂O₃/CaO derived from Anadara Granosa for methyl ester production. *Energy Conversion and Management*, 126, 124–131.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.072>
- Fanny, W. A., Subagjo, S., & Prakoso, T. (2018). Pengembangan katalis Kalsium Oksida untuk sintesis biodiesel. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 11(2), 66.
<https://doi.org/10.5614/jtki.2012.11.2.1>
- Fitriyana, L. A., Soeprodjo, & Kadarwati, S. (2012). Produksi Biodiesel dari Dedak Padi (Rice Bran) Melalui Dua Tahap Reaksi IN-SITU. *Indonesian Journal Of Chemical Science*, 1(2), 141–146.
- Ganesh P, U., Gaikwad, R. W., Saner, S. M., Sudhakar, W. A., Engineering, C., Rural, P., College, E., Rahata, T., & Ahmednagar, D.-. (2018). *Production of Biodiesel from Used Kitchen Oil Using Hydrodynamic Cavitation*. 951–958.
- Ginting, S. O. B., Tarigan, D., & Hindryawati, N. (2017). Impregnasi Natrium Hidroksida Pada Karbon Aktif Cangkang Jengkol Sebagai Katalis Dalam Pembuatan Biodiesel. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 143–147.
- Granados, M. L., Poves, M. D. Z., Alonso, D. M., Mariscal, R., Galisteo, F. C., Moreno-Tost, R., Santamaría, J., & Fierro, J.

- L. G. (2007). Biodiesel from sunflower oil by using activated calcium oxide. *Applied Catalysis B: Environmental*, 73(3), 317–326.
<https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2006.12.017>
- H, M, Khoirul, D, R, Ratna, P, M, Yuda, C, N. (2017). JTPHP VOLUME 12 NO. 2 (2017)
<http://journals.usm.ac.id/index.php/jtphp/index>.
Jtphp, 12(2), 59–63.
- Hakim, L., Dirgantara, M., & Nawir, M. (2019). Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Difrraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*, 1(1), 44–51. <https://doi.org/10.36873/jjms.v1i1.136>
- Harahap, J., & Yullia, Y. (2018). Potensi Pemanfaatan Limbah Minyak Jelantah Kota Banda Aceh Sebagai Sumber Energi Alternatif (Biodiesel). *Elkawanie*, 4(2).
<https://doi.org/10.22373/ekw.v4i2.3514>
- Hariyanto, Y. A., Mujiyanti, T., & Nasikhah, H. (2021). Ekstraksi dan Karakterisasi CaO Berbasis Cangkang Bekicot dari Ponggok Blitar sebagai Raw Material Biokeramik. *Transmisi*, 17(1), 126–131.
<https://doi.org/10.26905/jtmt.v17i1.5200>
- Hartanti, E. R., Setiani, V., & Nindyapuspa, A. (2022). *Persentase Kandungan Kalsium Oksida (CaO) Pada Katalis Limbah*

Kulit Udang. 5(2623), 10–13.

- Haryanto, A., Silviana, U., Triyono, S., & Prabawa, S. (2015). Produksi Biodiesel Dari Transesterifikasi Minyak Jelantah Dengan Bantuan Gelombang Mikro: Pengaruh Intensitas Daya Dan Waktu Reaksi Terhadap Rendemen Dan Karakteristik Biodiesel. *Jurnal Agritech*, 35(02), 234. <https://doi.org/10.22146/agritech.13792>
- Helwani, Z., Zahrina, I., Amraini, S. Z., Sianturi, R. I., Idroes, G.M., Muslem, & Idroes, R. (2021). CaO from chicken eggshell supported on activated carbon and KOH (CaO/C/KOH) as catalyst for biodiesel production from off grade palm oil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1087(1), 012053. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1087/1/012053>
- Hussain, S. Z., & Maqbool, K. (2014). GC-MS: Principle, Technique and its application in Food Science. *Int J Curr Sci*, 13, 116–126.
- Ishaq, M., Ridwan, & Gazali, A. (2021). Pengaruh Katalis KOH Terhadap Kualitas Sintesis Biodiesel Minyak Jelantah. *Saintis*, 2(2), 65–71.
- Katsiroh, F. (2017). PENGARUH RASIO MOLAR MINYAK METANOL TERHADAP KONVERSI BIODIESEL DARI MINYAK GORENG BEKAS DENGAN MODIFIKASI PREPARASI KATALIS CaO KULIT TELUR. *Skripsi*.

- Kesić, Ž., Lukić, I., Zdujić, M., Mojović, L., & Skala, D. (2016). Katalizatori na bazi oksida kalcijuma u procesima sintezebiodizela: Presek stanja. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 22(4), 391–408. <https://doi.org/10.2298/CICEQ160203010K>
- Krishnaprabu, S. (2019). A Review on Biodiesel Production as Alternative Fuel. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 7(2), 258–266. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.7441>
- Kualitas, U., Dan, K., Pada, O., Ayam, N., Substitusi, H., & Tahu, A. (2018). Jurnal Katalisator. *Jurnal Kesehatan*, 3(2), 135–144.
- Lestari, D. Y. (2012). Pemilihan Katalis Yang Ideal. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan PenerapanMIPA*, 1–6.
- Lintang, H. P. (2020). *Studi Pengaruh Pelarut pada Sintesis Magnesium Oksida dengan Metode Kopresipitasi sebagaiKatalis Basa Padat*.
- Liu, X., He, H., Wang, Y., Zhu, S., & Piao, X. (2008). Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst. *Fuel*, 87(2), 216–221. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.04.013>
- Malang, U. I., Malang, U. I., & Malang, U. I. (n.d.). *KEDELAI Fattyacid Methanol Methylester water*. 1, 144–148.
- Mansir, N., Teo, S. H., Rashid, U., Saiman, M. I., Tan, Y. P.,

- Alsultan, G. A., & Taufiq-Yap, Y. H. (2018). Modified waste egg shell derived bifunctional catalyst for biodiesel production from high FFA waste cooking oil. A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(October 2017), 3645–3655. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.098>
- Mardhiah, H. H., Ong, H. C., Masjuki, H. H., Lim, S., & Lee, H. V. (2017). A review on latest developments and future prospects of heterogeneous catalyst in biodiesel production from non-edible oils. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 1225–1236. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.036>
- Maryam, M., Rahmad, D., & Yunizurwan, Y. (2007). Sintesis Mikro Selulosa Bakteri Sebagai Penguat (Reinforcement) Pada Komposit Bioplastik Dengan Matriks PVA (Poli Vinil Alkohol). *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 41(2), 110. <https://doi.org/10.24817/jkk.v41i2.4055>
- Mawarani, L. J., Sihombing, T. A., Risanti, D. D., Massadeh, M. I., & Prananto, D. (2021). Utilization of chicken eggshells as catalyst in biodiesel synthesis from waste cooking oil. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: Part A*, 58(S), 85–92. [https://doi.org/10.53560/PPASA\(58-sp1\)737](https://doi.org/10.53560/PPASA(58-sp1)737)
- Metungku, N. A., Darwis, D., & Elisa Sesa. (2017). Pemurnian

dan Karakterisasi Senyawa SiO₂ Berbasis Pasir Kuarsa dar Desa Pendolo Kecamatan Pamona Selatan Kabupaten Poso. *Junal Kimia Dan Terapannya*, 16(1), 39–43.

Mirghiasi, Z., Bakhtiari, F., Darezereshki, E., & Esmaeilzadeh, E. (2014). Preparation and characterization of CaO nanoparticles from Ca(OH)₂ by direct thermal decomposition method. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(1), 113–117. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.04.018>

Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., & Rahman, M. A. (2017). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. In *Membrane Characterization*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00001-2>

Mukminin, A., Sarungu', S., & Andrianti, I. (2019). Pengaruh Suhu Kalsinasi Dalam Pembentukan Katalis Padat CaO Dari Cangkang Keong Mas (*Pomacea canaliculata* L). *Petrogas*, 1(1), 13–21.

Mulana, F. (2011). Penggunaan Katalis NaOH dalam Proses Transesterifikasi Minyak Kemiri menjadi Biodiesel. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 8(2), 73–78.

Murtiningrum, M., & Firdaus, A. (2015). Perkembangan Biodiesel di Indonesia Tinjauan atas Kondisi saat ini, Teknologi Produksi dan Analisis Prospektif. *Jurnal PASTI*,

<http://journal.mercubuana.ac.id/index.php/pasti/>

Nainggolan, M., Purba, R. D., & Ritonga, M. Y. (2014). Suhu Reaksi Gliserolisis pada Pembuatan Mono dan Diasilgliserol (Mdag) Menggunakan Katalis Abu Cangkang. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(4), 44–50.

Niju, S., Meera Sheriffa Begum, K. M., & Anantharaman, N. (2014). Enhancement of biodiesel synthesis over highly active CaO derived from natural white bivalve clam shell Enhancement of biodiesel synthesis over highly active CaO. *Arabian Journal of Chemistry*, 9(5), 633–639.

<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.06.006>

Nurwijayanti, Y., & Kurnia, D. (2018). *Aplikasi Variasi Katalis Heterogen Nanopartikel Dalam Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit. December*, 0–3.

Oko Mustafa; Kurniawan, Andri; Willain, Danu, S. M. (2021). SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK KEDELAI MELALUI REAKSI TRANSESTERIFIKASI DENGAN KATALIS CaO/NaOH. *Jurnal Teknologi*, 13(Vol 13, No 1 (2021): Jurnal Teknologi), 1–6.
<https://jurnal.umj.ac.id/index.php/jurtek/article/view/6581/4668>

Oko, S., & Feri, M. (2019). Pengembangan Katalis CaO dari Cangkang Telur Ayam dengan Impregnasi KOH dan

- Aplikasinya Terhadap Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jarak. *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 11(2), 103–110.
- Ortega, M. B., Hurtado, A. C., & Giraldo Duarte, S. A. (2011). Triglyceride transesterification in heterogeneous reaction system with calcium oxide as catalyst | Transesterificación de triglicéridos en el sistema de reacción heterogénea con óxido de calcio como catalizador. *Revista Facultad de Ingeniería*, 57, 7–13.
- Oxide, C., & Mario, E. (2009). " *This material may be downloaded for personal use only . Any other use requires prior permission of the American Society of Civil Engineers .* " " *Final draft* ". May, 1–19.
- Pambudi, A., Farid, M., & Nurdiansah, H. (2017). Analisa Morfologi dan Spektroskopi Infra Merah Serat Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*) Hasil Proses Alkalisasi Sebagai Penguat Komposit Absorpsi Suara. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 441–444. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24808>
- Prasetyo, J. (2018). Studi Pemanfaatan Minyak Jelantah Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 2(2), 45. <https://doi.org/10.32493/jitk.v2i2.1679>
- Putra, I. M. W. A. (2017). *Pembuatan dan Karakterisasi Katalis CaO/Zelolit Alam*. 1(1), 12–18

- Putra, W. A., Nabella, A., Amalita, P., & Wahyudi, B. (2021). *Biodiesel dari Crude Fish Oil (CFO) dengan Katalis Heterogen CaO dari Cangkang Kerang Darah*. 2(2), 18–23.
- Qoniah, I., & Prasetyoko, D. (2011). Penggunaan Cangkang Bekicot Sebagai Katalis Untuk Reaksi. *Prosiding Skripsi Semester Genap*, 1–9.
- Ramdja, A. F., Febrina, L., & Krisdianto, D. (2010). Pemurnian Minyak Jelantah Menggunakan Ampas Tebu Sebagai Adsorben. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(1), 7–14.
- Ramli, A., Farooq, M., Naeem, A., Khan, S., Hummayun, M., Iqbal, A., Ahmed, S., & Shah, L. A. (2017). Bifunctional Heterogeneous Catalysts for Biodiesel Production using Low Cost Feedstocks: A Future Perspective. *Frontiers in Bioenergy and Biofuels*. <https://doi.org/10.5772/65553>
- Sa'adah, A. F., Fauzi, A., & Juanda, B. (2017). Peramalan Penyediaan dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Indonesia dengan Model Sistem Dinamik. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, 17(2), 118–137. <https://doi.org/10.21002/jepi.v17i2.661>
- Santoso, H., Kristianto, I., & Setyadi, A. (2013). *Pembuatan Biodiesel Menggunakan Katalis Basa Heterogen Berbahan Dasar Kulit Telur*.
- Sari, R., Dewi, R., & Hakim, L. (2021). Pemanfaatan Tempurung

- Kelapa sebagai Katalis pada Sintesa Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Jurnal Teknos*, 1(1), 1–11.
- Sari, T. I., Said, M., Summa, A., & Sari, A. K. (2011). Katalis basa heterogen Campuran CaO dan SrO Pada Reaksi Tranesterifikasi Minyak Kelapa Sawit. *Prosiding Seminar Nasional AVoER Ke- 3*, 26–27.
- Sartini. (2013). Sang pencerah. *Jurnal Ilmiah*, 7(3), 71–84.
- Setiadji, S., B, N. T., Sudiartati, T., Prabowo, E., & N, B. W. (2017). Alternatif Pembuatan Biodiesel Melalui Transesterifikasi Minyak Castor (*Ricinus communis*) Menggunakan Katalis Campuran Cangkang Telur Ayam dan Kaolin. *Jurnal Kimia VALENSI*, 3(1), 1–10.
<https://doi.org/10.15408/jkv.v3i1.4778>
- Setyaningsih, L. W. N., Rizkiyaningrum, U. M., & Andi, R. (2017). Pengaruh Konsentrasi Katalis Dan Reusability Katalis Pada Sintesis Triasetin Dengan Katalisator Lewatit. *Teknoin*, 23(1), 56–62.
<https://doi.org/10.20885/teknoin.vol23.iss1.art7>
- Sinaga, S. V., Haryanto, A., & Triyono, S. (2014a). Pengaruh Suhu Dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 3(1), 27–34.
- Sinaga, S. V., Haryanto, A., & Triyono, S. (2014b). Pengaruh Suhu Dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah [Effects of Temperature and

Reaction Time on the Biodiesel Production Using Waste Cooking Oil]. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 3(1), 27–34. <http://www.youtube.com>

Sisca, V., & Rahayuningsih, J. (2022). Pembuatan Limbah Cangkang Telur Sebagai Katalis Heterogen untuk produksi Biodisel. *Journal of Research and Education Chemistry*, 4(2), 134. [https://doi.org/10.25299/jrec.2022.vol4\(2\).10862](https://doi.org/10.25299/jrec.2022.vol4(2).10862)

Solikhah, M. D., Pratiwi, F. T., & Diaztuti, M. D. (2015). Penentuan Metode Analisis Komposisi Asam Lemak Dan Metil Ester Pada Biodiesel Dengan Gc-Ms Tanpa Metilasi. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 0(0), 1–6. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/547/513>

Suirta, I. W. (2003). PREPARASI BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH KELAPA SAWIT I W. Suirta. *Jurnal Kimia*, 3(1), 1–6.

Suprpto, Fauziah, T. R., Sangi, M. S., Oetami, T. P., Qoniah, I., & Prasetyoko, D. (2016). Calcium oxide from limestone as solid base catalyst in transesterification of Reutealis trisperma oil. *Indonesian Journal of Chemistry*, 16(2), 208–213. <https://doi.org/10.22146/IJC.21165>

Suroso, A. S. (2013). Kualitas Minyak. *Jurnal Kefarmasian Indosenia*, 3(2), 77–88.

- Susilo, B., Damayanti, R., & Izza, N. (2017). *Teknik Bioenergi*. UB Press
- Sutanto, C. F., Wiryawan, F. P., & Kurniawansyah, F. (2021). Pra Rancangan Pabrik Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Metode Transesterifikasi dengan Kapasitas 50.000 Ton/Tahun. *Jurnal Teknik ITS*, 10(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.70673>
- Syamsidar, H. (2013). Pembuatan dan uji kualitas biodiesel dari minyak jelantah. *Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi*, 7(2), 209–218.
- Tao, Q., Liu, S. X., Liao, L. W., Chen, Y. X., & Ye, S. (2011). The kinetics of CO pathway in methanol oxidation at Pt electrodes, a quantitative study by ATR-FTIR spectroscopy. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 13(20), 9725–9735. <https://doi.org/10.1039/c0cp01728k>
- Tan, Y. H., Abdullah, M. O., & Nolasco Hipolito, C. (2016). Comparison of Biodiesel Production between Homogeneous and Heterogeneous Base Catalysts. *Applied Mechanics and Materials*, 833, 71–77. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.833.71>
- 1
- Trisunaryanti. (2018). *Material Katalis dan Karakternya*. Yogyakarta: UGM Press.

- Usman, S., Widyastuti, S., & Sapitri, J. (2023). Identifikasi Senyawa Flavonoid Ekstrak Kulit Buah Petai (*Parkia Speciosa*) Asal Bulukumba Secara Spektrofotometer Infra Merah. *Jurnal Sains Dan Kesehatan (J. Sains Kes.)*, 5(5), 723–730.
- Wahyuni, S., Kadarwati, S., Wahyuni, S., & Kadarwati, S. (2011). Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah Sebagai Sumber Energi Alternatif Solar. *Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah Sebagai Sumber Energi Alternatif Solar*, 9(1), 51–62.
- Wendi, Valentinoh Cuaca, & Taslim. (2015). PENGARUH SUHU REAKSI DAN JUMLAH KATALIS PADA PEMBUATAN BIODIESEL DARI LIMBAH LEMAK SAPI DENGAN MENGGUNAKAN KATALIS HETEROGEN CaO DARI KULIT TELUR AYAM. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(1), 35–41. <https://doi.org/10.32734/jtk.v4i1.1458>
- Wibowo, A., Febriansyah, H., & Suminto, S. (2019). Pengembangan Standar Biodiesel B20 Mendukung Implementasi Diversifikasi Energi Nasional. *Jurnal Standardisasi*, 21(1), 55. <https://doi.org/10.31153/js.v21i1.736>
- Widiarti, N., & Kusumastuti, E. (2015). MODIFIKASI KATALIS CaO DENGAN SrO PADA REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK JELANTAH MENJADI BIODIESEL

MENGGUNAKAN Info Artikel. *Jurnal MIPA*, 38(1), 49–56.

<http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JM>

Wiyata, I. Y. (2021). Pembuatan Biodiesel Minyak Goreng Bekas dengan Memanfaatkan Limbah Cangkang Telur Bebek sebagai Katalis CaO | Wiyata | Jurnal Pengabdian Vokasi. *Jurnal Pengabdian Vokasi*, 2, 69–74. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jpv/article/view/11346>

Wulansari, D., Setijadji, L. D., & Warmada, I. W. (2016). Karakterisasi Kandungan Mineral Dalam Bauksit Dengan Metode Xrd Semi-Kuantitatif Di Kawasan Tambang Tayan, Kalimantan Barat. *Proceeding, Seminar Nasional Kebumihan Ke-9*, 612–623. <https://repository.ugm.ac.id/273594/>

Yoosuk, B., Udomsap, P., Puttasawat, B., & Krasae, P. (2010). Modification of calcite by hydration-dehydration method for heterogeneous biodiesel production process: The effects of water on properties and activity. *Chemical Engineering Journal*, 162(1), 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.05.013>

Zainuri, M., Fisika, J., & Negeri, U. (2012). (BATUAN DAN PASIR) SEBAGAI SUMBER MATERIAL CERDAS (CaCO_3 DAN SiO_2). *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)* ISSN: 2087-9946, 2(1), 20–29.

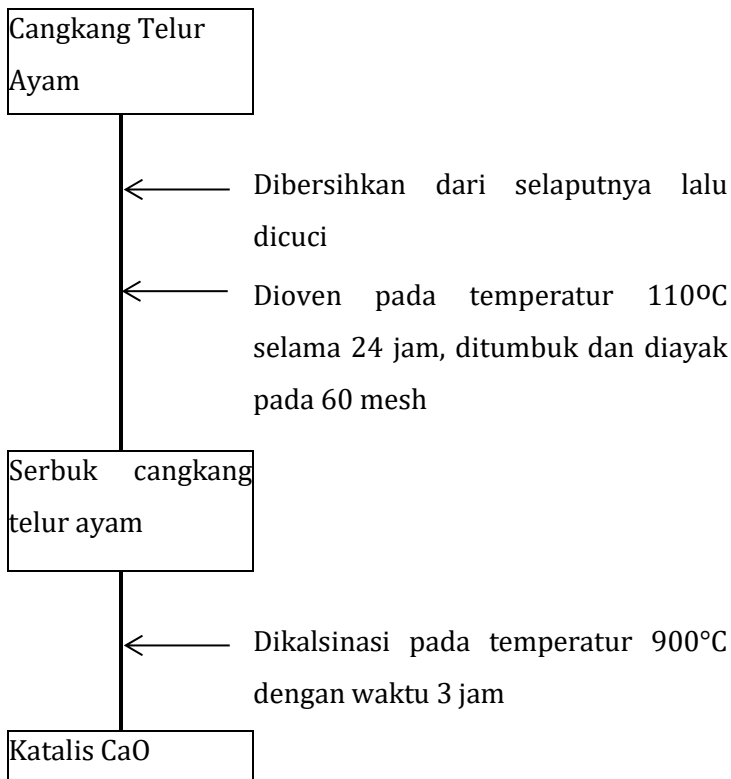
Zuhra, Z., Husin, H., Hasfita, F., & Rinaldi, W. (2015). PREPARASI

KATALIS ABU KULIT KERANG UNTUK
TRANSESTERIFIKASI MINYAK NYAMPLUNG MENJADI
BIODIESEL (Preparation of Cockle Shell Powder
Catalyst for Transesterification of Calophyllum
inophyllum L. Oil to Biodiesel). *Jurnal Agritech*, 35(01),
69. <https://doi.org/10.22146/agritech.9>

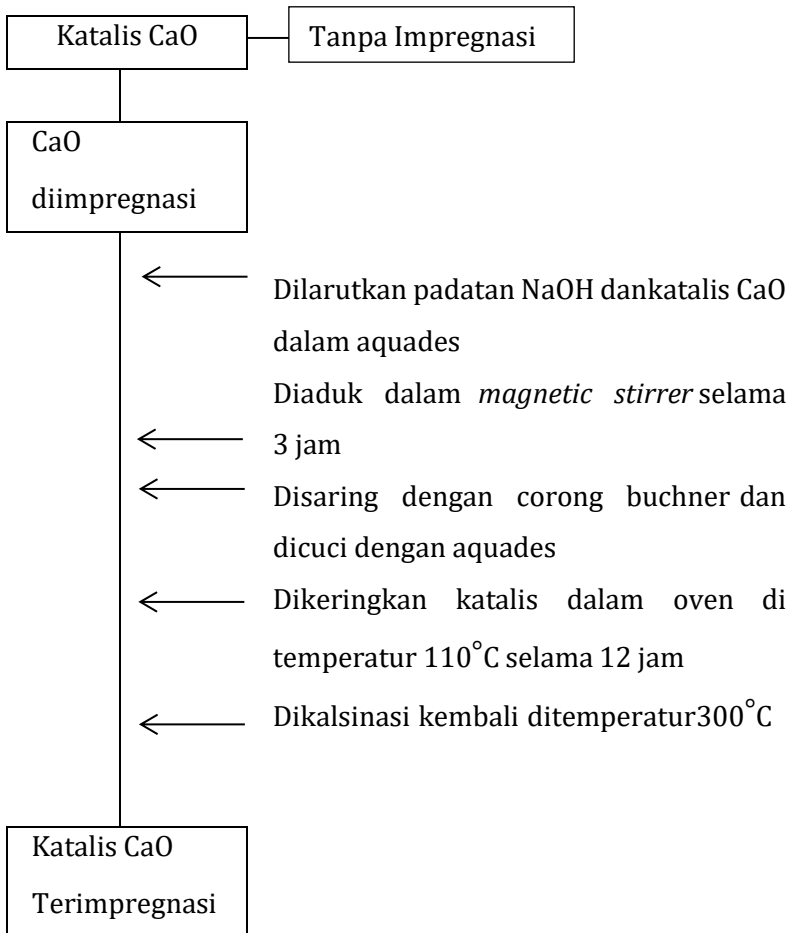
LAMPIRAN

Lampiran I. Diagram alir prosedur kerja

1. Sintesis Katalis

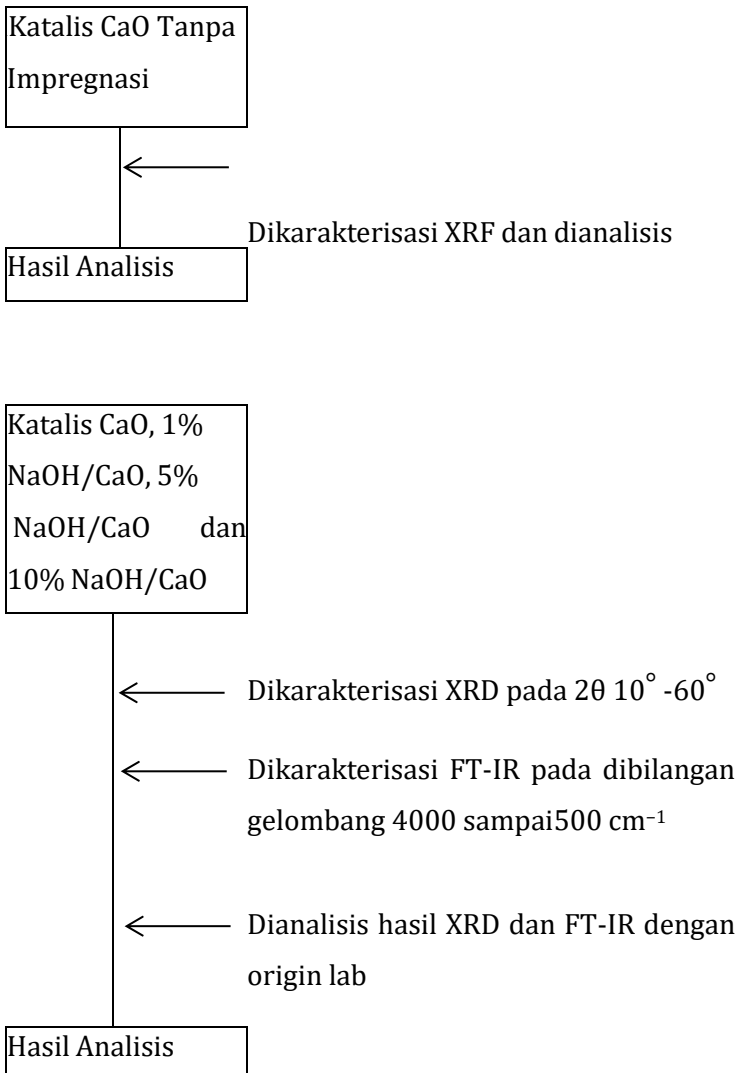


2. Sintesis Katalis NaOH/CaO 1 %, 5 %, dan 10% Secara Impregnasi

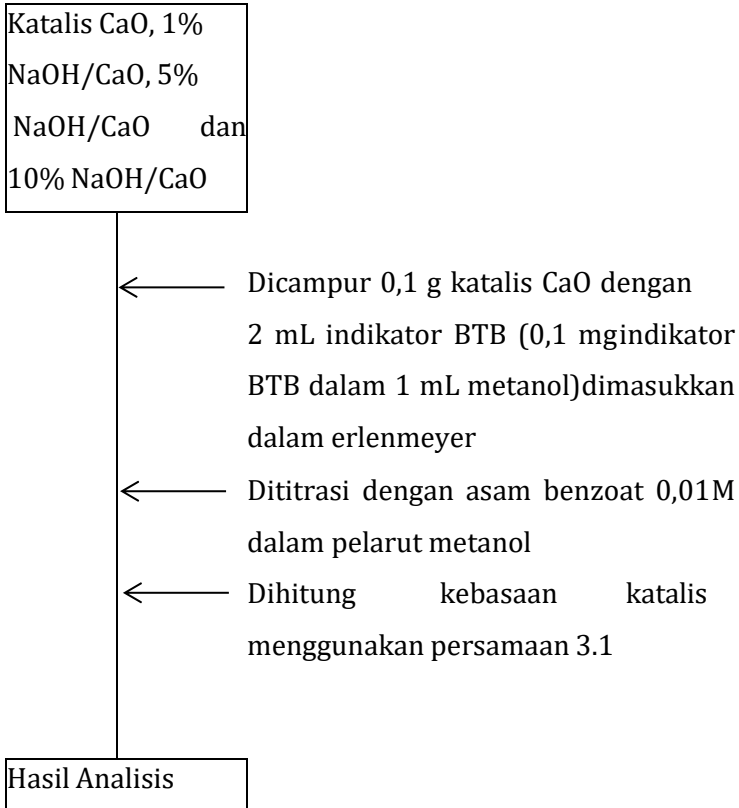


3. Karakterisasi Katalis

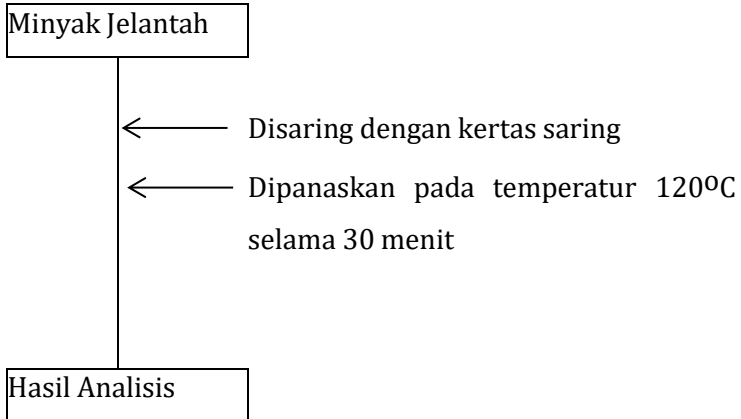
- Karakterisasi menggunakan uji XRD, XRF dan FT-IR



- Analisis Kebasaan Katalis

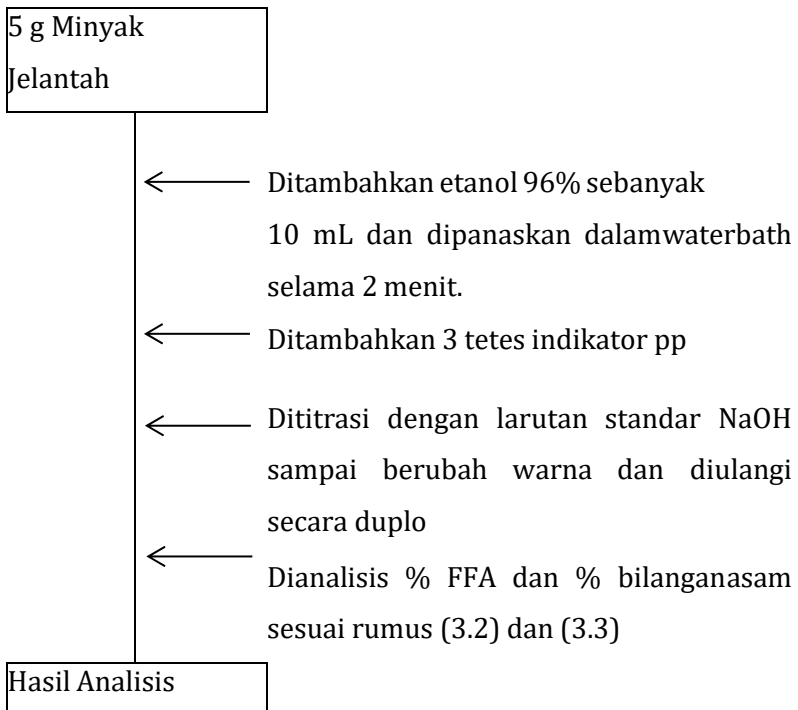


4. Pretreatment Sampel Minyak Jelantah



5. Sintesis Biodiesel

- Menentukan persentase asam lemak bebas



- Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah

20 g Minyak
Jelantah

← Ditimbang 0,6 g katalis berat minyak dan dilarutkan dalam 8,3 mL metanol dan dipanaskan pada temperatur 60°C selama 10 menit

← Distirrer larutan pada 600 rpm dengan temperatur 60°C dengan waktu reaksi 3 jam

← Ditambahkan 10 mL HCl 2 M dan 10 mL n-heksan kemudian diaduk dan dipanaskan masing-masing pada suhu 80°C selama 10 menit

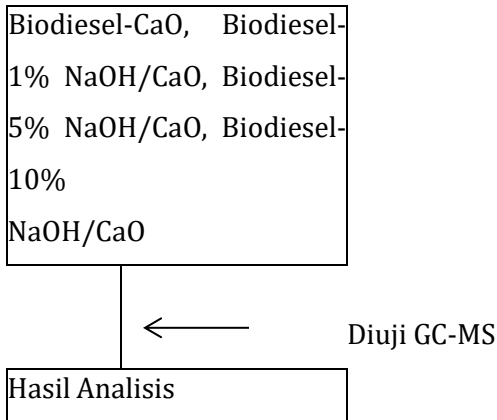
← Dimasukkan ke dalam corong pisah dan dibiarkan 24 jam hingga membentuk 2 lapisan. Kemudian diambil lapisan metil ester bagian atas

← Diuapkan pada temperatur 110°C selama 10 menit

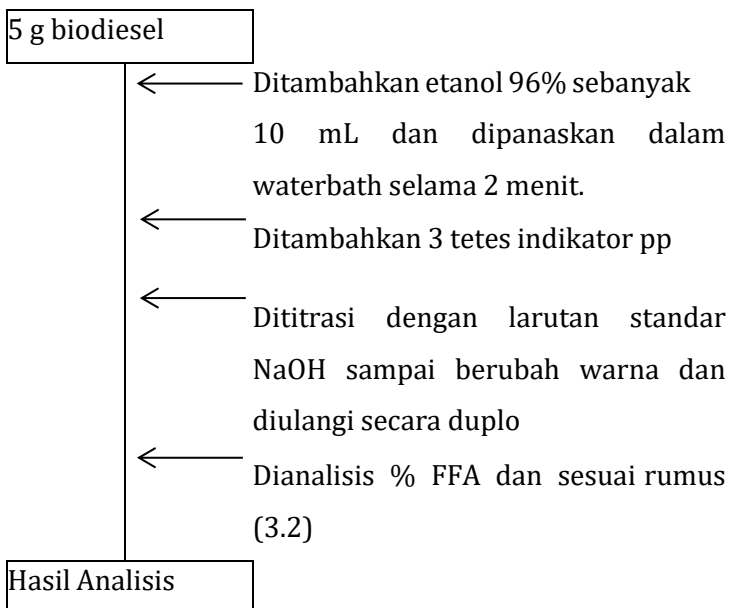
Biodiesel Murni

6. Analisis Produk Biodiesel

- Analisis GC-MS



- Analisis FFA



Lampiran II. Dokumentasi Penelitian



Penghalusan cangkang



Pengayakan Cangkang



Proses kalsinasi



Hasil kalsinasi



Uji kebasaaan katalis



Uji FFA minyak jelantah



Proses sintesis



Proses pencucian



2 lapisan setelah pencucian



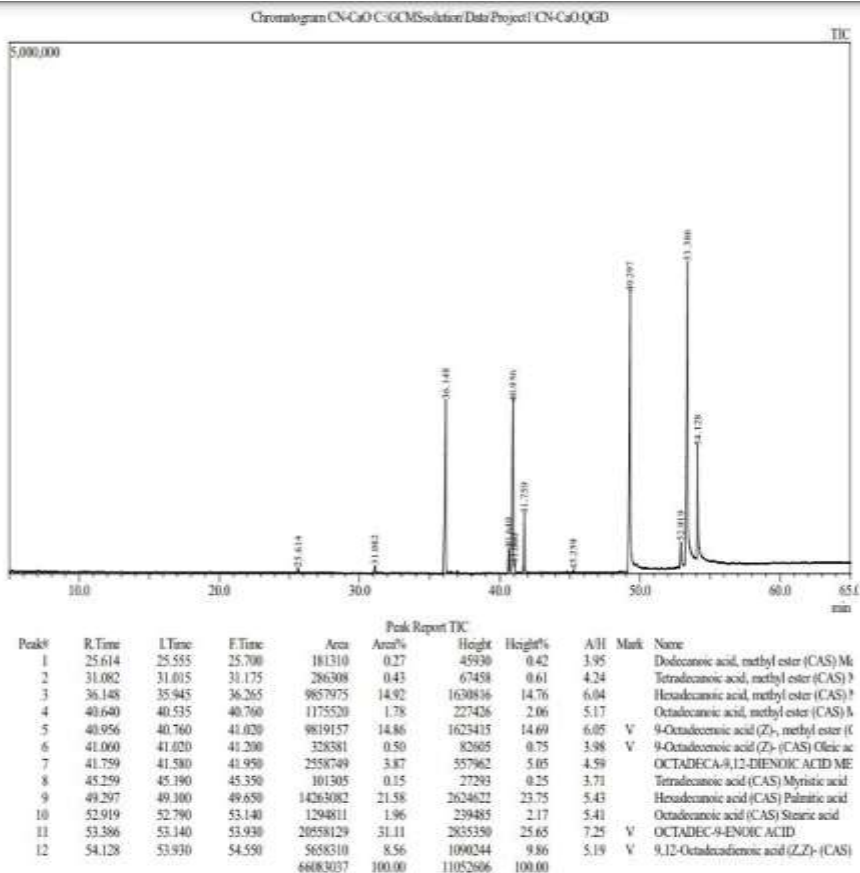
pemurnian biodiesel



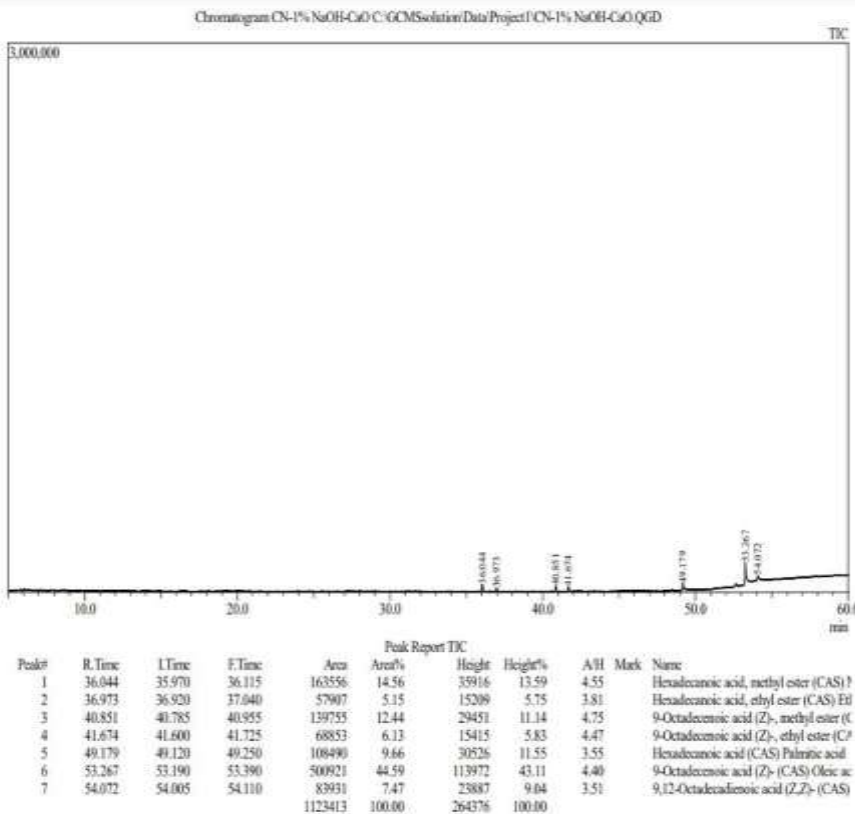
Hasil biodiesel

Lampiran III. Hasil Uji GC-MS

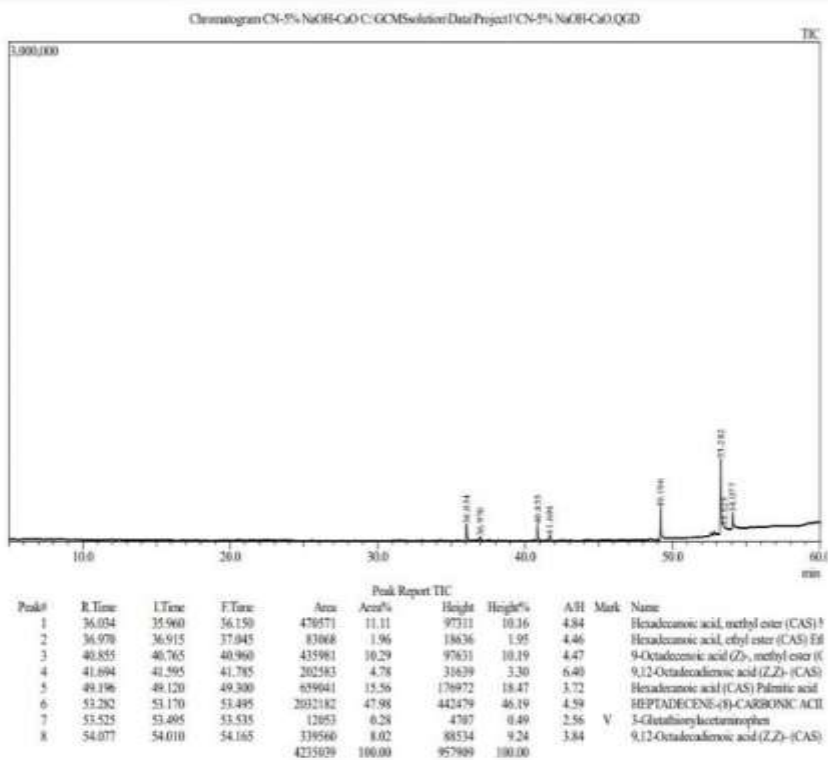
1. Kromatogram Katalis CaO



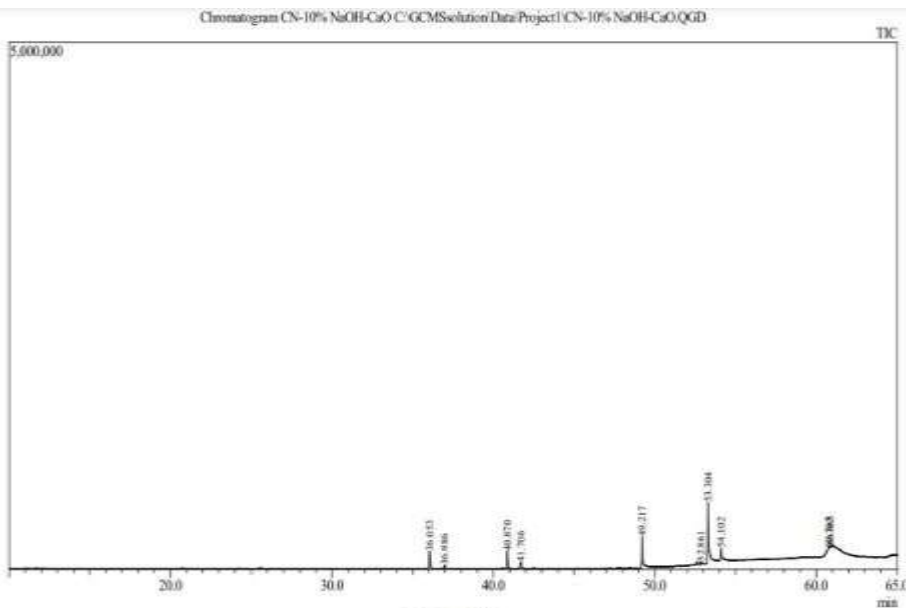
2. Kromatogram NaOH/CaO 1%



3. Kromatogram NaOH/CaO 5%



4. Kromatogram NaOH/CaO 10%



Peak Report TIC									
Peak#	R.Time	I.Time	E.Time	Area	Area%	Height	Height%	A/H	Musk
1	36.053	35.960	36.200	837104	12.32	168352	11.46	4.97	
2	36.986	36.915	37.070	158810	2.34	33860	2.30	4.69	
3	40.870	40.775	41.000	816805	12.02	163862	11.15	4.98	
4	41.706	41.600	41.820	384215	5.66	59298	4.03	6.48	
5	49.217	49.120	49.325	1116586	16.44	290852	19.79	3.84	
6	52.861	52.815	52.910	69879	1.03	21418	1.46	3.26	
7	53.304	53.195	53.505	2496455	36.75	562895	38.30	4.44	
8	54.102	54.030	54.220	475477	7.00	111437	7.58	4.27	
9	60.765	60.625	60.840	291232	4.29	29511	2.01	9.87	V
10	60.865	60.840	60.945	147240	2.17	28184	1.92	5.22	V
				6793803	100.00	1469669	100.00		
									Name
									Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) 9
									Hexadecanoic acid, ethyl ester (CAS) Ed
									9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (C
									9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)- (CAS)
									Hexadecanoic acid (CAS) Palmitic acid
									Octadecanoic acid (CAS) Stearic acid
									9-Octadecenoic acid (Z)- (CAS) Oleic ac
									9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)- (CAS)
									9-Octadecenoic acid (Z)-, 2-hydroxy-1-[1
									2-ACETYL- 1,5-DIMETHYL-8-OXA

Lampiran IV. Analisis Perhitungan

A. Perhitungan Pembuatan 1%, 5% dan 10% NaOH/CaO

1. 1% NaOH/CaO

Diketahui : Massa CaO yang dimiliki: 15 g

Ditanya : Massa NaOH dan massa CaO yang dibutuhkan?

Jawab :

$$\text{Massa NaOH} = \frac{1}{100} \times 15 \text{ g} = 0,15 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa CaO yang dibutuhkan} &= (15 - 0,15)\text{g} \\ &= 14,85 \text{ g} \end{aligned}$$

2. 5% NaOH/CaO

Diketahui : Massa CaO yang dimiliki: 15 g

Ditanya : Massa NaOH dan massa CaO yang dibutuhkan?

Jawab :

$$\text{Massa NaOH} = \frac{5}{100} \times 15 \text{ g} = 0,75 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa CaO yang dibutuhkan} &= (15 - 0,75)\text{g} \\ &= 14,25 \text{ g} \end{aligned}$$

3. 10% NaOH/CaO

Diketahui : Massa CaO yang dimiliki: 15 g

Ditanya : Massa NaOH dan massa CaO yang dibutuhkan?

Jawab :

$$\text{Massa NaOH} = \frac{10}{100} \times 15 \text{ g} = 1,5 \text{ g}$$

$$\text{Massa CaO yang dibutuhkan} = (15 - 1,5)\text{g}$$

$$= 13,5 \text{ g}$$

B. Analisis Kebasaan Katalis

Diketahui

Massa katalis : 0,1 g

Konsentrasi larutan asam benzoat : 0,01 mmol/ml

$$\text{Rumus Kebasaan (mmol} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{V \text{ asam benzoat} \times C}{W \text{ Katalis}}$$

Ditanya : Kebasaan katalis ?

Jawab :

1. CaO

Volume asam benzoat yang dibutuhkan :

$$V_1 = 61,6 \text{ mL}; V_2 = 66,4 \text{ mL}; V_3 = 66,7 \text{ mL}$$

$V_{\text{rata-rata}} = 64,9 \text{ mL}$ maka,

$$\begin{aligned} \text{Kebasaan (mmol} \cdot \text{g}^{-1}) &= \frac{64,9 \text{ mL} \times 0,01 \frac{\text{mmol}}{\text{ml}}}{0,1 \text{ g}} \\ &= 6,49 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1} \end{aligned}$$

Volume asam benzoat yang dibutuhkan :

$$V_1 = 96,9 \text{ mL}; V_2 = 95,4 \text{ mL}; V_3 = 97,2 \text{ mL}$$

$V_{\text{rata-rata}} = 96,5 \text{ mL}$ maka,

$$\begin{aligned} \text{Kebasaan (mmol} \cdot \text{g}^{-1}) &= \frac{96,5 \text{ mL} \times 0,01 \frac{\text{mmol}}{\text{ml}}}{0,1 \text{ g}} \\ &= 9,65 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1} \end{aligned}$$

2. NaOH/CaO 1%

Volume asam benzoat yang dibutuhkan :

$$V_1 = 63,2 \text{ mL}; V_2 = 75 \text{ mL}; V_3 = 75 \text{ mL}$$

$$V_{\text{rata-rata}} = 71 \text{ mL maka,}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebasaan (mmol} \cdot \text{g}^{-1}) &= \frac{71 \text{ mL} \times 0,01 \frac{\text{mmol}}{\text{ml}}}{0,1 \text{ g}} \\ &= 7,1 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1} \end{aligned}$$

3. NaOH/CaO 5%

Volume asam benzoat yang dibutuhkan :

$$V_1 = 81,9 \text{ mL}; V_2 = 83,4 \text{ mL}; V_3 = 82,7 \text{ mL}$$

$$V_{\text{rata-rata}} = 82,6 \text{ mL maka,}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebasaan (mmol} \cdot \text{g}^{-1}) &= \frac{82,6 \text{ mL} \times 0,01 \frac{\text{mmol}}{\text{ml}}}{0,1 \text{ g}} \\ &= 8,26 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1} \end{aligned}$$

4. NaOH/CaO 10%

Volume asam benzoat yang dibutuhkan :

$$V_1 = 96,9 \text{ mL}; V_2 = 95,4 \text{ mL}; V_3 = 97,2 \text{ mL}$$

$$V_{\text{rata-rata}} = 96,5 \text{ mL maka,}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebasaan (mmol} \cdot \text{g}^{-1}) &= \frac{96,5 \text{ mL} \times 0,01 \frac{\text{mmol}}{\text{ml}}}{0,1 \text{ g}} \\ &= 9,65 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1} \end{aligned}$$

C. Analisis % FFA Minyak Jelantah

1. % FFA

a. Pembuatan Larutan NaOH 0,1 N

$$BM = 40 \text{ g/mol}$$

$$\text{Valensi} = 1$$

$$\text{Volume} = 100 \text{ mL}$$

$$N = \frac{m}{BE \times val}$$

$$BE = \frac{BM}{val}$$

$$= \frac{40 \text{ g/mol}}{1}$$

$$= 40 \text{ g/mol}$$

$$m = N \times BE \times Va$$

$$= 0,1 \text{ N} \times 40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 0,1 \text{ L}$$

$$= 0,4 \text{ g}$$

b. Pembuatan Larutan Asam Oksalat 0,1 N

$$BM = 126,07 \text{ g/mol}$$

$$\text{Valensi} = 2$$

$$\text{Volume} = 100 \text{ mL}$$

$$N = \frac{m}{BE \times val}$$

$$BE = \frac{BM}{val}$$

$$= \frac{126,07 \text{ g/mol}}{2}$$

$$= 63,035 \text{ g/mol}$$

$$m = N \times BE \times V$$

$$= 0,1 \text{ N} \times 63,035 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 0,1 \text{ L}$$

$$= 0,630 \text{ g}$$

c. Standarisasi NaOH 0,1 N dengan Asam Oksalat 0,1 N

V asam oksalat = 10 ml

N asam oksalat = 0,1 N

	V NaOH (mL)
1	11,7
2	11,6
$\bar{v}$	11,65

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

$$10 \text{ mL} \times 0,1 \text{ N} = 11,65 \text{ mL} \times N_2$$

$$N_2 = 0,085 \text{ N}$$

Diketahui : Massa minyak jelantah = 5 g

Larutan NaOH 0,085 N yang dibutuhkan

$$(V_1 = 2,5 \text{ mL}; V_2 = 2,5 \text{ mL}; V_3 = 2,4 \text{ mL } V_{\text{rata-rata}} = 2,43 \text{ mL})$$

BM asam lemak bebas = 282,47 gr/mL

Ditanya : % FFA dan bilangan asam minyak jelantah ?

Jawab :

$$\% \text{FFA} = \frac{(V \times N) \text{ NaOH} \times \text{BM asam lemak bebas}}{\text{berat sampel} \times 10}$$

$$\% \text{FFA} = \frac{2,43 \text{ mL} \times 0,085 \text{ N} \times 282,47 \text{ g/ml}}{5 \text{ g} \times 10}$$

$$\% \text{FFA} = \frac{58,34}{50} = 1.16\%$$

D. Perhitungan Bahan Untuk Sintesis Biodiesel

Diketahui :

Massa minyak jelantah = 20 gram

Katalis 3% dari berat minyak. Maka,

$$\text{massa katalis} = \frac{3}{100} \times 20 \text{ g} = 0,6 \text{ gram g}$$

Rasio mol minyak jelantah dengan metanol = 1:9

BM minyak jelantah= 880,4 g/mol (Haryanto *et al.*, 2015)

Ditanya : Volume metanol yang dibutuhkan = ...?

Jawab :

$$\begin{aligned} \text{Mol minyak jelantah} &= \frac{\text{massa minyak jelantah}}{\text{BM minyak jelantah}} \\ &= \frac{20 \text{ g}}{880,4 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,0227 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol methanol} &= 9 \times \text{mol minyak jelantah} \\ &= 9 \times 0,0227 \text{ mol} \\ &= 0,2043 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa metanol} &= (\text{mol} \times \text{BM}) \text{ metanol} \\ &= 0,2043 \text{ mol} \times 32,04 \text{ g/mol} \\ &= 6,54 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume metanol} &= \frac{\text{massa}}{\rho} \\ &= \frac{6,54 \text{ g}}{(0,7915)} = 8,26 \text{ mL} = 8,3 \text{ mL} \end{aligned}$$

E. %FFA dan Bilangan Asam Biodiesel

Diketahui : Massa biodiesel = 5 g Larutan NaOH 0,085 N yang dibutuhkan

- Biodiesel-CaO ($V_1 = 1,8 \text{ mL}$; $V_2 = 1,7 \text{ mL}$; $V_{\text{rata-rata}} = 1,75 \text{ mL}$)
- Biodiesel 1% NaOH/CaO ($V_1 = 1,7 \text{ mL}$; $V_2 = 1,5 \text{ mL}$; $V_{\text{rata-rata}} = 1,6 \text{ mL}$)
- Biodiesel 5% NaOH/CaO ($V_1 = 1,3 \text{ mL}$; $V_2 = 1,3 \text{ mL}$; $V_{\text{rata-rata}} = 1,3 \text{ mL}$)
- Biodiesel 10% NaOH/CaO ($V_1 = 0,9 \text{ mL}$; $V_2 = 1 \text{ mL}$; $V_{\text{rata-rata}} = 0,95 \text{ mL}$)

BM asam lemak bebas = 282,47 gr/mL

Ditanya :

- % FFA biodiesel-CaO?
- % FFA biodiesel-1%NaOH/CaO?
- % FFA biodiesel-5%NaOH/CaO?
- % FFA biodiesel-10%NaOH/CaO?

Jawab :

- % FFA biodiesel-CaO?

$$\begin{aligned}\% \text{FFA} &= \frac{(V \times N) \text{ NaOH} \times \text{BM asam lemak bebas}}{\text{berat sampel} \times 10} \\ &= \frac{1,75 \text{ mL} \times 0,085 \text{ N} \times 282,47 \text{ g/ml}}{50} \\ &= 0,84\%\end{aligned}$$

- % FFA biodiesel-1% NaOH/CaO?

$$\begin{aligned}
 \%FFA &= \frac{(V \times N) \text{ NaOH} \times \text{BM asam lemak bebas}}{\text{berat sampel} \times 10} \\
 &= \frac{1,6 \text{ mL} \times 0,085 \text{ N} \times 282,47 \text{ g/ml}}{50} \\
 &= 0,76\%
 \end{aligned}$$

c. % FFA biodiesel-5% NaOH/CaO?

$$\begin{aligned}
 \%FFA &= \frac{(V \times N) \text{ NaOH} \times \text{BM asam lemak bebas}}{\text{berat sampel} \times 10} \\
 &= \frac{1,3 \text{ mL} \times 0,085 \text{ N} \times 282,47 \text{ g/ml}}{50} \\
 &= 0,62\%
 \end{aligned}$$

d. % FFA biodiesel-10% NaOH/CaO?

$$\begin{aligned}
 \%FFA &= \frac{(V \times N) \text{ NaOH} \times \text{BM asam lemak bebas}}{\text{berat sampel} \times 10} \\
 &= \frac{0,95 \text{ mL} \times 0,085 \text{ N} \times 282,47 \text{ g/ml}}{50} \\
 &= 0,45\%
 \end{aligned}$$

F. Konversi FFA Biodiesel

1. Biodiesel-CaO

$$\begin{aligned}
 &\text{Konversi FFA Biodiesel} \\
 &= \frac{\text{Kadar FFA awal} - \text{Kadar FFA akhir}}{\text{Kadar FFA awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{(1,16 - 0,84)}{1,16} \times 100\% \\
 &= 27,59\%
 \end{aligned}$$

2. Biodiesel-1% NaOH/CaO

$$\begin{aligned}
 & \text{Konversi FFA Biodiesel} \\
 &= \frac{\text{Kadar FFA awal} - \text{Kadar FFA akhir}}{\text{Kadar FFA awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{(1,16 - 0,76)}{1,16} \times 100\% \\
 &= 34,48\%
 \end{aligned}$$

3. Biodiesel-5% KOH/CaO

$$\begin{aligned}
 & \text{Konversi FFA Biodiesel} \\
 &= \frac{\text{Kadar FFA awal} - \text{Kadar FFA akhir}}{\text{Kadar FFA awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{(1,16 - 0,62)}{1,16} \times 100\% \\
 &= 46,55\%
 \end{aligned}$$

4. Biodiesel-10% KOH/CaO

$$\begin{aligned}
 & \text{Konversi FFA Biodiesel} \\
 &= \frac{\text{Kadar FFA awal} - \text{Kadar FFA akhir}}{\text{Kadar FFA awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{(1,16 - 0,45)}{1,16} \times 100\% \\
 &= 61,21\%
 \end{aligned}$$

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : Cikal Nurlita
Tempat, Tanggal Lahir : Jakarta, 11 Mei 2001
NIM : 1908036012
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Alamat : Jl. Kebon Jeruk IV NO.16 RT.004/RW.04
Kel.Maphar Kec. Taman Sari
E-mail : cikallnurlitaa2@gmail.com
No. Telp/HP : 081293888273

Riwayat Pendidikan

1. SD Negeri Taman Sari
2. SMP Negeri 22 Jakarta
3. SMA Negeri 17 Jakarta
4. UIN Walisongo Semarang