

**PENGOLAHAN BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA SAWIT
MELALUI PROSES TRANSESTERIFIKASI DENGAN KATALIS
HETEROGEN KARBON AKTIF SEKAM PADI DAN BAMBUN MENJADI
BIODIESEL**

SKRIPSI

Diajukan untuk Persyaratan Penulisan Skripsi Akhir Studi S-1

Program Studi Pendidikan Teknik Mesin



Oleh :

Fauzi Solehudin

1502617032

**PROGRAM STUDI
PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
JAKARTA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : Pengolahan Minyak Kelapa Sawit Melalui Proses
Transesterifikasi Dengan Katalis Heterogen Karbon
Aktif Sekam Padi dan Bambu Menjadi Biodiesel
Penyusun : Fauzi Solehudin
NIM : 1502617032
Tanggal Ujian : 17 Januari 2024

Disetujui oleh :

Pembimbing I

Dr. Wardoyo, M.T.
NIP. 197908182008011008

Pembimbing II

Dr. Dyah Arum Wulandari, M.T.
NIP. 197708012008012006

Pengesahan Panitia Ujian Skripsi :

Ketua Sidang

Drs. Sopiyan, M.Pd.
NIP. 196412231999031002

Sekretaris Sidang

Ahmad Faldi, M.Pd., M.T.
NIP. 198501312023211014

Dosen Ahli

Dr. Eko Arif Syaefudin, S.T., M.T.
NIP. 198310132008121002

Mengetahui,
Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

Drs. Sopiyan, M.Pd.
NIP. 196412231999031002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini merupakan Karya asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan
2. Gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di Perguruan Tinggi lain.
3. Skripsi ini belum dipublikasikan, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 25 Januari 2024

Yang Membuat Pernyataan

Fauzi Solehudin
NIM. 1502617032



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
Gedung B Kampus Rawamangun Jl. Rawamangun Muka Jakarta 13220
Telp./Fax.: 021-4700918 Website: www.unj.ac.id/teknik-mesin

**SURAT PERNYATAAN
MEMPUBLIKASIKAN ARTIKEL ILMIAH HASIL PENELITIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fauzi Solchudin
NIM : 1501617032
Judul Skripsi : Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Goreng Kelapa Sawit dengan katalis Heterogen Karbon Aktif Bambu dan Jatiampadi
Jurnal atau prosiding :
Target : Jurnal nasional sirta 1-2

Dengan ini menyatakan bahwa saya mempunyai kewajiban mempublikasikan hasil penelitian pada skripsi pada jurnal ilmiah atau prosiding

Apabila di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditentukan pihak Prodi Pendidikan Teknik Mesin.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Mengetahui,
Pembimbing 1,

10/1/2024

Pembimbing 2,

10/1/2024

Jakarta, 8 Januari 2024
Yang membuat pernyataan



Dr. Wardoyo, M.T
NIP. 19730812008012000

Dr. Dyah Arum Wulandari, ST
NIP. 197108012008012006

Fauzi Solchudin
NIM. 1501617032

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wata'ala, yang mana telah sedang dan akan memberikan beribu-ribu kasih dan sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini yang berjudul "PENGOLAHAN MINYAK KELAPA SAWIT MELALUI PROSES TRANSESTERIFIKASI DENGAN KATALIS HETEROGEN KARBON AKTIF SEKAM PADI DAN BAMBU MENJADI BIODIESEL". Sholawat beserta salam penulis ucapkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'alaihi Wa Salam dan mengharap syafaat nya baik di dunia maupun di akhirat.

Berkat arahan, motivasi dan pelajaran dari semua pihak, akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis ingin mengambil kesempatan ini untuk dengan rendah hati mengungkapkan rasa terimakasih yang tulus kepada:

1. Bapak Dr. Wardoyo, M.T dan Ibu Dr. Dyah Arum Wulandari, M.T selaku dosen pembimbing skripsi
2. Ibu Dr. Uswatun Hasanah, M.Si selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta
3. Bapak Drs.Sopiyan, M.Pd selaku Koordinator Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta
4. Orang Tua saya Bapak Solehudin Yusuf dan Mamah Eti Sumiati yang telah memberikan dukungan moril dan materil selama perkuliahan
5. Guru-guru saya, (alm) bapak Abdul Hakim, (alm) bapak Ujang Soleh, (alm) bapak Suherman, Ustadz Dedy Sopiyadi, K.H. Munawar, bapak Iskandar yang selalu membimbing dan selalu memberikan dukungan moril untuk saya
6. Istri saya Nurul Jamilah, S.Pd dan anak saya Ahmad Syafi Zakariyya yang selalu mensupport saya selama ini
7. Keluarga besar Abah Karyani di Cirebon, keluarga besar (alm) Abah Utjup di Sukabumi, dan keluarga besar Bapak Sumitra di Sukabumi
8. Seluruh teman saya yang selalu mendukung saya sampai saat ini
9. Dan orang-orang yang telah merendahkan saya

Penulis mengetahui bahwa syarat penulisan ini tidak terlepas dari berbagai hambatan dan kesulitan. oleh sebab itu, penulis dengan segala kerendahan hati mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya.

Jakarta, Desember 2023



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR PUSTAKA	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
ABSTRAK	x
BAB I	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Pembatasan Masalah.....	3
BAB II	4
2.1 Biodiesel	4
2.1.1 Katalis Heterogen	6
2.1.2 Minyak Sawit.....	9
2.1.3 Metanol	11
2.2 Reaksi Transesterifikasi.....	12
2.3 Parameter yang digunakan untuk Penentuan Karakteristik Biodiesel	14
2.3.1 Viskositas.....	14
2.3.2 Densitas.....	14
2.4 Penelitian Terdahulu	18
BAB III	26
3.1 <i>Road Map</i> Penelitian.....	26
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.3 Bahan dan Peralatan.....	27
3.3.1 Bahan	27
3.3.2 Peralatan.....	27
3.3.3 Perhitungan	28

3.4	Prosedur Penelitian	29
3.4.1	Tahap Penelitian	29
3.4.2	Tahap Analisis Hasil	34
3.5	Variabel Penelitian.....	35
3.6	Kondisi Operasi	35
3.7	Teknik Analisis Data	35
BAB IV	37
4.1	Hasil Pengaruh Konsentrasi Katalis dan Variasi Temperatur terhadap Viskositas dan Densitas Biodiesel	37
4.1.1	Viskositas karbon Bambu	37
4.1.2	Densitas karbon Bambu	39
4.1.3	Viskositas Karbon Sekam Padi	41
4.1.4	Densitas Karbon Sekam Padi	44
4.2	Pembahasan Viskositas dan Densitas Biodiesel karbon Aktif Bambu dan Sekam Padi	46
4.2.1	Viskositas Bambu dan sekam padi	46
4.2.2	Densitas Bambu dan Sekam Padi	48
BAB V	50
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Syarat Mutu Biodiesel SNI 7182:2015	5
Tabel 2. 2 Penelitian terdahulu.....	18
Tabel 4. 1 Hasil perhitungan viskositas karbon bambu	38
Tabel 4. 2 Hasil perhitungan densitas karbon Bambu.....	40
Tabel 4. 3 Hasil perhitungan karbon sekam padi.....	43
Tabel 4. 4 Hasil perhitungan densitas karbon sekam padi.....	45



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Hambatan dalam mempromosikan pertanian berkelanjutan	5
Gambar 2. Morfologi FE-SEM karbon aktif, spektrum EDS karbon aktif	7
Gambar 2. 3 Schematic illustration for the synthesis of SiO ₂ and RAC.	9
Gambar 2. 4 menunjukkan feedstoks untuk produksi biodiesel	10
Gambar 2. 5 Metanol.....	11
Gambar 2. 6 Mekanisme singkat untuk esterifikasi trigliserida melalui katalis ...	13
Gambar 2. 7 Variasi kepadatan campuran bahan bakar yang berbeda suhu	17
Gambar 3. 1 Road Map Penelitian	26
Gambar 3. 2 pemilihan dan penebangan bambu tua	29
Gambar 3. 3 pencucian sekam padi dan bambu dengan air bersih	29
Gambar 3. 4 Pengeringan sekam padi dan bambu	30
Gambar 3. 5 Persiapan Proses Impregnasi.....	30
Gambar 3. 6 Penyetelan Suhu di Furnace	30
Gambar 3. 7 karbon bambu.....	31
Gambar 3. 8 Karbon Sekam Padi.....	31
Gambar 3. 9 Proses Aktivasi Karbon dengan Furnace	31
Gambar 3. 10 Hasil Aktivasi Karbon Bambu kiri, dan sekam padi kanan	32
Gambar 3. 11 Proses Transesterifikasi.....	32
Gambar 3. 12 Proses Pemisahan Biodiesel dengan Corong Pemisah.....	33
Gambar 3. 13 Proses Vakum Biodiesel.....	33
Gambar 3. 14 Pengukuran Densitas	34
Gambar 3. 15 Pengukuran Viskositas	34
Gambar 4. 1 Grafik hasil Pengukuran Viskositas Karbon Bambu.....	38
Gambar 4. 2 Grafik hasil Pengukuran Densitas Karbon Bambu	40
Gambar 4. 3 Grafik hasil Pengukuran Viskositas Karbon Sekam Padi	42
Gambar 4. 4 Grafik hasil Pengukuran Densitas Karbon Sekam Padi	45

ABSTRAK

Energi menjadi satu kebutuhan mendasar dalam kehidupan manusia baik dalam ranah individu maupun komersil. Penggunaan energi secara terus menerus pada akhirnya menjadi masalah tersendiri bagi manusia, terutama dalam penggunaan bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang bersifat tidak dapat diperbarui (*non-renewable*) dan terbatas. Selain dari jumlahnya yang terbatas bahan bakar fosil juga menghasilkan polusi bagi bumi yang menyebabkan efek rumah kaca dan tentunya apabila hal ini berjalan secara terus menerus juga akan menyebabkan krisis iklim. Maka dari itu perlu dicari bahan bakar alternatif yang bersifat *renewable* dan tentunya ramah terhadap lingkungan. Salah satu produk bahan bakar ramah lingkungan adalah biodiesel. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui cara pembuatan biodiesel sehingga kedepannya peneliti lain dapat mengembangkan biodiesel merujuk pada hasil penelitian ini.

Proses pembuatan biodiesel dilakukan dengan menggunakan konduksi panas *magnetic stirrer* dengan proses reaksi secara kontinyu. *Magnetic stirrer* digunakan agar reaksi berlangsung dengan suhu yang sesuai dan merata. Proses selanjutnya yaitu pemisahan hasil transesterifikasi dari katalis karbon dan juga sisa metanol. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan suhu pada *magnetic stirrer* dan variasi persentase katalis.

Hasil sampel kemudian diuji dengan menggunakan dua indikator pengukuran, yaitu pengukuran nilai viskositas dan pengukuran nilai densitas. Hasil pengujian viskositas terbaik ada di 18,17 Cst dan hasil uji densitas pada 0,928 gr/cm³. Perbedaan yang terjadi pada hasil biodiesel dikarenakan beberapa faktor yang menyebabkan kegagalan pada kualitas biodiesel, salah satunya yaitu teroksidasinya biodiesel oleh udara di lingkungannya.

Kata Kunci : Biodiesel, Katalis Heterogen, Pengujian Biodiesel

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi adalah salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting dan menjadi salah satu faktor yang tak terpisahkan dari kehidupan manusia. Seiring dengan bertambahnya pertumbuhan penduduk dunia, kebutuhan energi ini pun semakin meningkat. Kebutuhan energi ini meliputi bidang yang cukup luas diantaranya bidang transportasi, industri secara umum, dan kebutuhan akan listrik (Perhimpunan et al., n.d.). Kebutuhan energi sampai saat ini dipenuhi terutama dari penggunaan bahan bakar fosil. Namun, penggunaan bahan bakar fosil selain cadangannya mulai menipis juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan terutama polusi udara akibat emisi CO₂ dari pembakaran bahan bakar fosil ini.

Menurut (Alagumalai et al., 2021) Sektor transportasi menghadapi tantangan yang signifikan sehubungan dengan bahan bakar yang digunakan. Bahan bakar fosil yang mudah diakses pada akhirnya akan menguras kebutuhan akan alternatif jangka panjang. Juga pengurangan substansial emisi CO₂ antropogenik lebih mendesak dari sebelumnya. Dalam perspektif ini, sektor transportasi sedang mempertimbangkan beberapa bahan bakar alternatif sebagai pengganti bahan bakar konvensional. Mereka terbuat dari bahan bakar gas dan cair. Biodiesel seperti alkohol atau minyak nabati lebih ditekankan di antara bahan bakar cair karena sifatnya yang terbarukan. Biodiesel ini lebih baik daripada bahan bakar padat karena dapat disimpan.

Krisis minyak dan keamanan energi telah menjadi perhatian bersama dunia. Sementara itu, pencemaran lingkungan dan efek rumah kaca yang disebabkan oleh pembakaran bahan bakar petrokimia skala besar menjadi semakin parah. Pengembangan bahan bakar alternatif yang berkelanjutan, hijau dan ramah lingkungan secara bertahap menjadi fokus pemerintah dan lembaga terkait. Di antara mereka, biodiesel dianggap sebagai salah satu cara paling penting untuk menyelesaikan masalah energi cair di masa depan. Biodiesel dibuat dari lemak hewani atau minyak nabati dengan mengganti gugus gliserol pada rantai alifatik

dengan alkohol rantai pendek, yang merupakan sumber energi yang benar-benar hijau (Du et al., 2019)

Sejak beberapa dekade yang lalu, perhatian global sebagian besar diarahkan pada penggunaan bahan bakar fosil yang lebih sedikit dan menghasilkan Biodiesel alternatif terbarukan seperti bioetanol dan biodiesel. Biodiesel dikenal sebagai *Fatty Acid Metyl Ester* (FAME) dan dapat diproduksi dari rantai panjang *Free Fatty Acid* (FFA) atau *Triasilgliserol* (TAG) menggunakan minyak yang dapat dimakan dan tidak dapat dimakan seperti lemak hewani atau *Waste Cooking Oil* (WCO). WCO atau minyak sawit yang biasa digunakan harus ditarik (pembuangan) karena keasaman tinggi, nilai peroksida tinggi, dan senyawa terpolimerisasi total tinggi. Di sisi lain, memanfaatkan WCO untuk produksi biodiesel memberikan manfaat potensial termasuk pembaruan, toksisitas rendah, dan dapat dianggap sebagai metode pembuangan hijau dari yang tidak dapat dimakan limbah minyak (Jume et al., 2020).

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana cara pembuatan katalis karbon aktif dan penggunaannya dalam reaksi transesterifikasi minyak sawit menjadi biodiesel?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka tujuan penelitian yang didapat adalah sebagai berikut :

1. Membuat katalis karbon aktif dengan proses impregnasi.
2. Mengaplikasikan katalis karbon aktif pada proses transesterifikasi biodiesel.
3. Menganalisis hasil akhir dari biodiesel dengan variabel densitas dan viskositas.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Bagi Peneliti
 - a. Peneliti dapat mengetahui viskositas dan densitas biodiesel dengan katalis heterogen karbon aktif.
 - b. Menambah wawasan, pengetahuan dan pengalaman bagi peneliti dalam pembelajaran penelitian ini.

2. Bagi Kampus
 - a. Sebagai referensi pengembangan biodiesel berikutnya.
 - b. Sebagai bahan dasar tolak ukur penelitian yang menggunakan bahan bakar minyak.
3. Bagi Pembaca
 - a. Hasil dari penelitian ini dapat menambah wawasan, dan pengetahuan tentang biodiesel dan katalis heterogen karbon aktif.

1.5 Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang ada, maka berikut merupakan pembatasan masalah yang akan dibahas :

1. Penelitian ini membahas cara pembuatan karbon aktif.
2. Penelitian ini membahas cara pembuatan biodiesel.
3. Penelitian ini membahas hasil pengujian terhadap produk biodiesel yang dihasilkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biodiesel

Bahan baku merupakan faktor penting dalam memproduksi biodiesel dimana dapat mempengaruhi pemilihan teknologi dan kualitas biodiesel yang dihasilkan. Bahan baku untuk produksi biodiesel berbeda untuk setiap negara, di mana biasanya dipilih oleh ketersediaan di suatu wilayah. Sedangkan ketersediaan bahan baku tergantung pada bahan baku lipid lokal, iklim wilayah, lokasi geografis dan kondisi tanah. Karena kualitas biodiesel berbeda sesuai dengan bahan baku yang digunakan, kualitas biodiesel yang ditetapkan telah dibuat berdasarkan sifat kimia dan fisik dapat dilihat pada gambar 2.1. Ada dua cara untuk menentukan apakah biodiesel yang dihasilkan memenuhi standar mutu atau tidak, yang pertama adalah dengan memeriksa parameter fisiknya seperti densitas, viskositas, *cetane number*, *flash point*, *pour point*, *neutralization number*, dan *carbon residue*, sedangkan metode kedua adalah dengan memeriksa komposisi kimia dan kemurnian ester alkil asam lemak seperti alkohol massal, kandungan ester, dan total gliserol (Zailan et al., 2021).

Biaya biodiesel didasarkan pada bahan baku yang digunakan untuk produksinya. Saat ini, 95% produksi biodiesel menggunakan tanaman yang dapat dimakan sebagai bahan baku karena ketersediaannya yang mudah dari industri pertanian yang maju. Selain itu, penggunaan sejumlah besar bahan baku yang dapat dimakan untuk sintesis biodiesel dapat menyebabkan kekurangan pasokan makanan dan keseimbangan ekonomi secara negatif (Hamza et al., 2021).

Secara umum, biodisel dapat diklasifikasikan sebagai biodisel generasi pertama, generasi kedua dan ketiga. Biodisel generasi pertama biasanya berasal dari tanaman pangan dan lemak hewani. Beberapa contohnya adalah biodiesel, minyak nabati, dan biogas. Biodisel generasi kedua dihasilkan dari biomassa limbah. Biodiesel generasi kedua yang khas terdiri dari alkohol. Akhirnya, biodiesel generasi ketiga diproduksi dari karbon yang diaktivasi menggunakan teknologi oven. Karbohidrat yang dihasilkan dalam bioproses untuk menghasilkan berbagai bahan bakar (Alagumalai et al., 2021). Seperti disebutkan di atas, produksi biodiesel

memerlukan transesterifikasi dari asam lemak *bioderived* (ester) untuk mendapatkan *Fatty Acid Metyl Ester* (FAME) sebagai biodiesel klasik.



Gambar 2. 1 Hambatan dalam mempromosikan pertanian berkelanjutan sumber: (Alagumalai et al., 2021)

Menurut (Rahardja & Ramadhan, 2019) biodiesel dibentuk menggunakan trigliserida dari minyak ditambahkan metanol dibantu oleh katalis akan menghasilkan *Fatty Acid Metyl Ester* (FAME). Syarat mutu biodiesel menurut SNI 7182:2015 adalah sebagai berikut tabel 2.1 :

Tabel 2. 1 Syarat Mutu Biodiesel SNI 7182:2015 sumber: (Rahardja & Ramadhan, 2019)

No	Parameter Uji	Satuan, min/maks	Persyaratan	Metode Uji Alternatif
1	Massa jenis pada 40°C	kg/m ³	850 -890	ASTM D 1298 atau ASTM D 4052
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 atau ASTM D 6890
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C, min	100	ASTM D 93
5	Titik kabut	°C, maks	18	ASTM D 2500
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)		nomor 1	ASTM D 130
7	Residu karbon	%-massa, maks		ASTM D 4530 atau ASTM D 189

	- dalam per contoh asli, atau		0,05	
	- dalam 10% ampas distilasi		0,3	
8	Air dan sedimen	%-vol, maks	0,05	ASTM D 2709
9	Temperatur distilasi 90%	°C, maks	360	ASTM D 1160
10	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02	ASTM D 874
11	Belerang	mg/kg, maks	100	ASTM D 5453 atau ASTM D 1266 atau ASTM D 4294 atau ASTM D 2622
12	Fosfor	mg/kg, maks	10	AOCS Ca 12-55
13	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,5	AOCS Cd 3d-63 atau ASTM D 664
14	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584
15	Gliserol total	%-massa, maks	0,24	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584
16	Kadar ester metil	%-massa, min	96,5	
17	Angka iodium	%-massa(g ^{I2} /100g), maks	115	AOCS Cd 1-25
18	Kadar monogliserida	%-massa, maks	0,8	ASTM D 6584
19	Kestabilan oksidasi	Menit		
	- Periode induksi metode rancimat, atau		360	EN 15751
	- Periode induksi metode petro oksidasi		27	ASTM D 7545

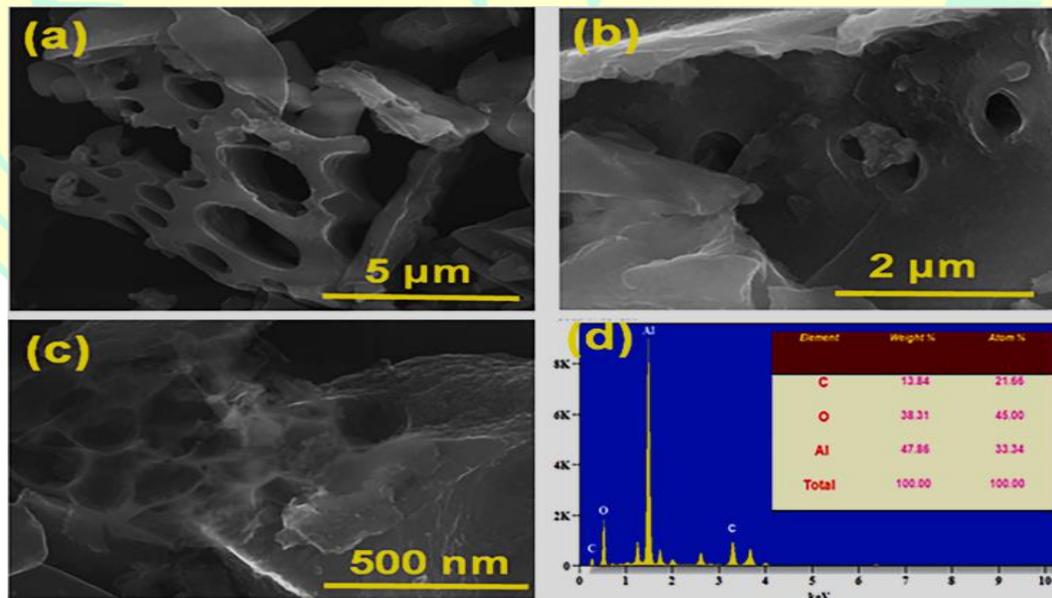
2.1.1 Katalis Heterogen

Menurut (Perhimpunan et al., n.d.), faktor utama yang memberikan dampak yang luar biasa terhadap biaya produksi biodiesel yaitu aktivitas katalis, umur katalis dan fleksibilitas terhadap bahan baku minyak. Teknologi proses transesterifikasi dengan katalis heterogen telah dikembangkan untuk menyesuaikan karakteristik alami bahan baku biodiesel dan teknologi transesterifikasi yang ada,

katalis heterogen dirancang untuk operasi kontinyu dan menghasilkan gliserin dengan kemurnian tinggi (lebih besar dari 98%). Produk ester asam lemak tidak memerlukan pencucian, yield yang diperoleh pada umumnya tinggi, dan katalis dapat digunakan kembali. Oleh karena itu, pemanfaatan katalis heterogen untuk produksi biodiesel telah menawarkan alternatif untuk memproses bahan baku dan proses produksi yang lebih murah dengan umur katalis yang lebih lama.

2.1.1.1 Karbon Aktif Bambu

Menurut (Jayachandran et al., 2021), bambu disintesis dengan metode reaksi kimia. Bambu dicuci dengan air dan dikeringkan dalam oven elektron pada suhu 80°C selama 24 jam dan menjadi karbon bambu. Sampel kering di karbonisasi dalam tungku yang dipanaskan pada suhu 300°C selama 3 jam. Karbon bambu di karbonisasi menggunakan rasio KOH campuran 1:3 dari bahan yang disiapkan. Sampel campuran KOH diaduk dengan air hingga 24 jam. Dan saring sampel dan kumpulkan untuk diaktifkan di bawah tungku yang dipanaskan pada suhu 800°C dengan gas selama 2 jam. Setelah itu, produk disentrifugasi beberapa kali dengan 1 M HCL dan air untuk menghilangkan kotoran. Akhirnya, yang disiapkan sampel diolah dalam oven elektron pada suhu 80°C selama 24 jam untuk mendapatkan bubuk karbon bambu aktif bisa dilihat pada gambar 2.2.

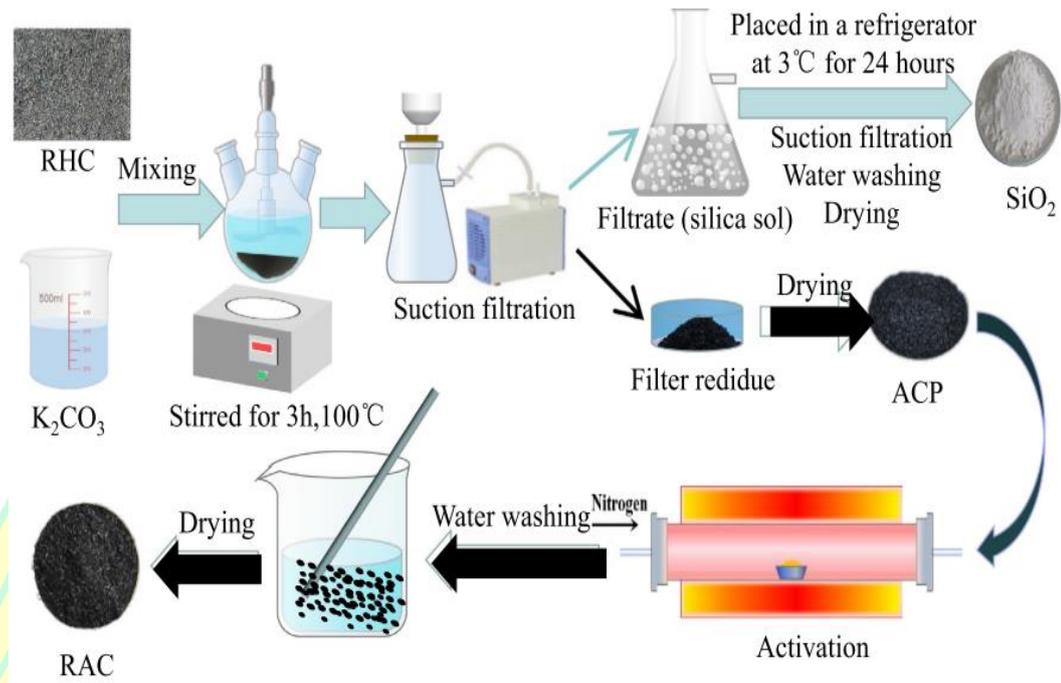


Gambar 2. 2 (a-c) morfologi FE-SEM karbon aktif, (d) spektrum EDS karbon aktif sumber: (Jayachandran et al., 2021)

2.1.1.2 Karbon Aktif Sekam Padi

Sekam padi adalah produk sampingan utama dari pengolahan beras, memiliki keunggulan hasil yang besar, sumber daya yang melimpah dan terbarukan, mudah dikumpulkan dan biaya rendah. Pada tahun 2012, hasil sekam padi di Cina diperkirakan 41 juta ton, terhitung sekitar 28,60% dari output global. Sekam padi terutama terdiri dari hemi selulosa, selulosa, dan lignin, serta SiO_2 , yang berbeda dari bahan biomassa lainnya seperti inti sawit dan kayu poplar. Sedangkan sekam padi memiliki kelemahan permukaan yang keras dan kasar, tidak mudah terurai oleh bakteri, dan mudah mencemari lingkungan.

Menurut (Wang et al., 2020) perlu dicatat bahwa SiO_2 adalah bahan fungsional yang penting, dapat diterapkan pada keramik, plastik, pelapis, dan rekayasa medical, yang telah membawa signifikan untuk peningkatan produk tradisional. Namun, dalam meninjau literatur, sebagian besar persiapan SiO_2 membutuhkan alkalin oksida silikon dan silikat yang mahal sebagai sumber silikon, dan biayanya sangat tinggi. Oleh karena itu, dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan sekam padi, abu sekam padi, dan abu gandum sebagai bahan baku untuk mengekstrak SiO_2 telah banyak dilaporkan. Menggunakan pencucian asam untuk mendapatkan silika sekam padi dan aplikasinya pada adsorpsi paraquat. Menggunakan alkali untuk mensintesis silika mesopori dari abu sekam padi untuk adsorpsi CO_2 lihat gambar 2.3. Menggunakan natrium hidroksida untuk mensintesis silika mesopori dari abu sekam padi dan aplikasinya pada adsorpsi CO_2 . Karya-karya sebelumnya ini mencapai kemajuan luar biasa dalam memahami bahwa silika sekam padi dapat digunakan dalam adsorpsi polutan. Namun, bahan-bahan ini mengandung sejumlah kecil SiO_2 dan efek pemisahan silikon pada residu belum diperiksa secara cermat.



Gambar 2. 3 Schematic illustration for the synthesis of SiO₂ and RAC. Sumber: (Wang et al., 2020)

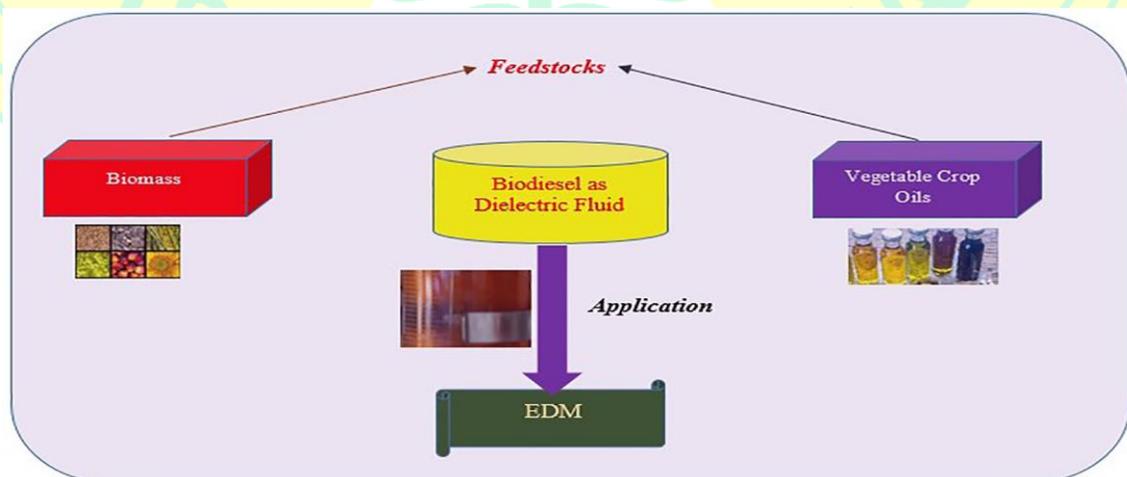
2.1.2 Minyak Sawit

Indonesia sebagai salah satu negara yang memproduksi kelapa sawit dalam jumlah yang besar, hal ini tentu sangat bernilai. Hasil olahan dari minyak nabati, bukan hanya olahan dalam bentuk makanan namun juga olahan lain seperti bahan bakar biodiesel ini. Menurut (Ahmad Reza Zulham (UNJ/PTM), 2022) Industri/perkebunan kelapa sawit merupakan salah satu sektor unggulan Indonesia dan kontribusinya terhadap ekspor non migas nasional cukup besar dan setiap tahun cenderung terus mengalami peningkatan. Dalam kurun waktu sekitar 15 tahun terakhir produksi minyak kelapa sawit meningkat hampir lima kali lipat, dari 4,8 juta ton minyak nabati mentah (CPO) pada 1996 menjadi 19,8 juta ton pada 2010.

Keberlanjutan melalui manufaktur hijau telah menjadi pendekatan yang ditargetkan untuk perusahaan manufaktur selama tiga dekade terakhir. Menjadi bagian dari pemangku kepentingan utama, industri manufaktur memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan yang membuat sektor-sektor ini memainkan peran penting dalam mencapai keberlanjutan. Sebagian besar perusahaan ini mengakui dari masalah lingkungan dan pendekatan dalam berbagai cara untuk memenuhi prioritas tersebut. Sementara dibandingkan dengan tahun 2017, ekstraksi material

dari berbagai sumber daya akan berlipat ganda pada tahun 2050 (Sankaranarayanan et al., 2021). Pola serupa diamati dalam kebutuhan energi, pemanfaatan air, dan emisi gas rumah kaca yang hampir dua kali lipat pada tahun 2050. Selain itu, eksploitasi sumber daya alam saat ini lebih cepat daripada kapasitas regenerasi alam. Manufaktur berkelanjutan sedang menuju masa depan di mana dampak yang berhubungan dengan lingkungan dapat dibawa ke keadaan nihil. Dengan demikian, praktik manufaktur hijau telah menjadi bagian yang tak terhindarkan dari manufaktur berkelanjutan dan aspek lingkungan harus dipastikan oleh sektor manufaktur tanpa mengganggu aspek ekonomi maupun sosial bisnis. Operasi permesinan adalah salah satu area manufaktur di mana paradigma keberlanjutan dapat didekati melalui cairan pemotongan logam (MCF).

Untuk mengatasi masalah lingkungan (green EDM) banyak peneliti yang mengambil berbagai langkah tersebut. Para peneliti menggunakan gas sebagai media dielektrik dan diamati bahwa partikel puing-puing tersuspensi dalam medium dan tingkat penghilangan material yang rendah juga diamati. Air juga digunakan sebagai dielektrik, pendekatan kriogenik juga telah dilakukan dan aditif juga ditambahkan dalam dielektrik. Baru-baru ini para peneliti beralih pada bahan bakar dielektrik berdasarkan minyak sawit dilihat pada gambar 2.4. Cairan dielektrik berbasis minyak sawit meningkatkan keberlanjutan operasi EDM juga mereka menawarkan operasi ramah lingkungan. Minyak nabati dapat terurai secara hayati, ramah lingkungan, tidak beracun, dan mudah tersedia (Yadav et al., 2021).

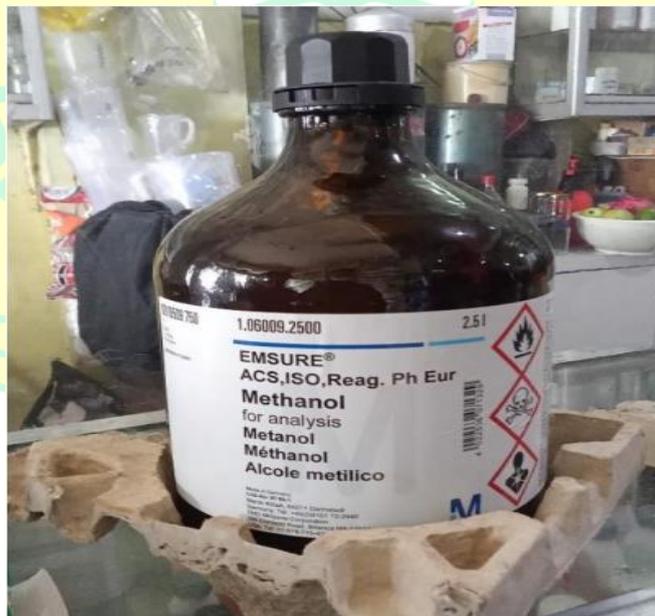


Gambar 2. 4 Menunjukkan feedstocks untuk produksi biodiesel sebagai cairan dielektrik. Sumber: (Yadav et al., 2021)

Menurut (Rahardja & Ramadhan, 2019) *Crude Palm Oil* (CPO) atau minyak mentah kelapa sawit merupakan hasil proses pengepressan buah sawit yang berwarna kuning jingga berbentuk cair. Sifat fisik CPO pada suhu 25°C memiliki densitas antara 0,909-0,917 g/ml dan untuk suhu 55°C densitas CPO sebesar 0,888-0,892 g/ml. CPO memiliki karakteristik sebagai berikut:

Rumus Kimia	:	$C_3H_5(COOR)_3$
Berat Molekul	:	847.28 g/mol.
Titik Didih	:	298°C
Titik Beku	:	5°C
<i>Specific Gravity</i>	:	0.9
Densitas	:	0.895 g/cm ³
Panas Jenis	:	0.497 kal/g°C
Kenampakan	:	Cairan Kuning Jingga
Kemurnian	:	98%

2.1.3 Metanol



Gambar 2. 5 Metanol (sumber: Dokumen pribadi)

Metanol (CH_3OH) merupakan senyawa organik yang paling sederhana dari alkohol. Metanol mempunyai bilangan oktan yang tinggi. Metanol pada umumnya dibuat dari gas alam, dapat juga dihasilkan dari biomas. Produk metanol yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.5 (Metanol sumber: Dokumen pribadi)

A. Sifat Fisika

Berat Molekul	:	32,04 Kg/Kgmol
Kekentalan	:	0,86 Cp
Titik Didih	:	65°C
Titik Nyala	:	15,6°C

B. Sifat Kimia

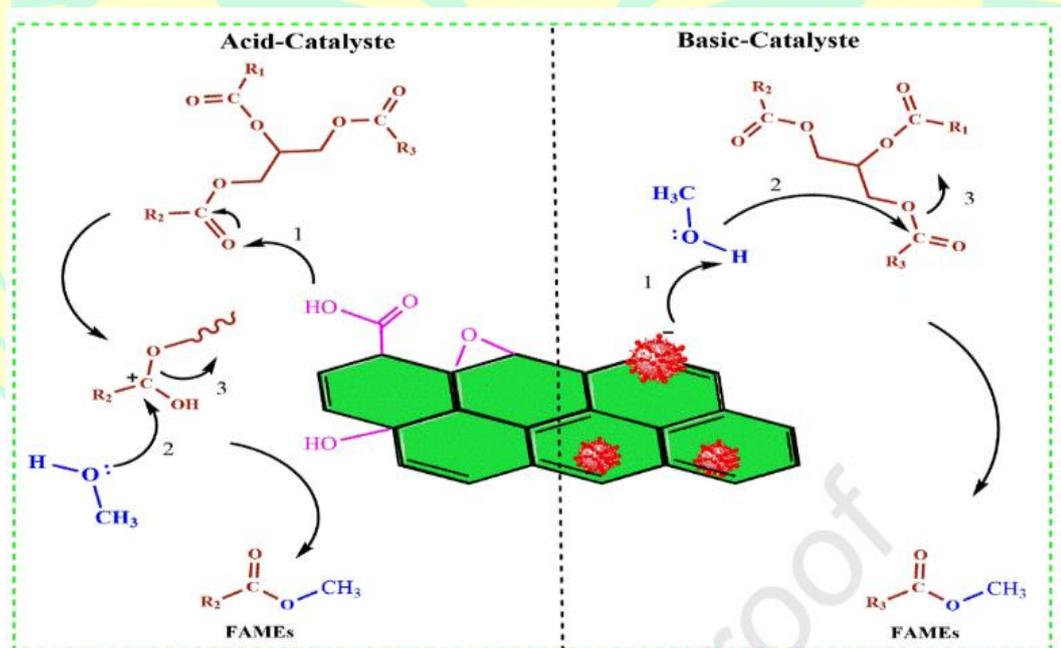
1. Kelarutan dalam air (1g/100g air) : tak terhingga bersifat polar.
2. Metanol adalah zat yang mudah terbakar dan bersifat eksplosif ketika teroksidasi oleh lingkungan.

2.2 Reaksi Transesterifikasi

Dalam pengujian tipikal, campuran minyak jarak 30gr dengan sejumlah katalis dibebankan ke dalam labu tiga leher 250ml dengan refluks, kemudian proporsi etanol tertentu ditambahkan melalui corong. Suhu dipertahankan sekitar 75°C, dan laju pengadukan magnetik diatur ke 600 r/mnt. Setelah reaksi selesai, katalis padat dipulihkan dengan filtrasi dan sentrifugasi. Kelebihan etanol dalam pembuluh reaksi dihilangkan oleh alat distilasi putar. Cairan dalam labu tiga leher kemudian ditempatkan di corong pemisah dan dibiarkan berdiri untuk jangka waktu tertentu. Lapisan bawah cairan kuning tua adalah gliserol produk sampingan, dan cairan kekuningan trans-induk atas adalah produk mentah biodiesel. Hasil biodiesel ditentukan oleh kromatografi gas seperti yang sebelumnya dijelaskan dalam literatur. Setiap sampel diuji tiga kali untuk mendapatkan nilai rata-rata. Kesalahan absolut antara tiga hasil tes yang bergantung pada tidak melebihi 3,0%. (Du et al., 2019).

Bahan berbasis karbon seperti karbon aktif, nanotube karbon, dan *graphene* dianggap sebagai katalis populer karena sifat permukaannya yang unik. Dalam studi

terbaru, *graphene oxide* telah sering digunakan karena kekuatan listrik dan mekanik yang sangat baik dan luas permukaan yang besar untuk mendukung nanopartikel. Selain itu, nanopartikel oksida logam dapat tersebar secara homogen pada substrat oksida graphene untuk mencegah aglomerasi partikel katalis. *Graphene oxide* adalah satu lapisan produk grafit dengan beberapa gugus fungsi hidrofilik seperti karboksil (C=O), epoksi (C-O-C), dan hidroksil (O-H). Oleh karena itu, dapat digunakan secara efektif sebagai katalis asam untuk transesterifikasi trigliserida dalam proses produksi biodiesel. Kelompok permukaan *graphene oxide* memainkan peran kimia dalam melumpuhkan kation logam dalam interaksi elektrostatik. Pengenalan nanopartikel oksida logam ke oksida graphene meningkatkan platform katalis yang berkontribusi pada transesterifikasi FAME dapat dilihat pada gambar 2.6. Selain itu, keberadaan *graphene* dalam komposit nanomaterial menyediakan situs asam Bronsted untuk produksi biodiesel. Sejak *graphene oxide* sebagai asam Bronsted dan oksida logam sebagai basa memberikan efek sinergis untuk memudahkan aksesibilitas alkohol ke minyak untuk mengubah trigliserida menjadi FAME (Jume et al., 2020).



Gambar 2. 6 Mekanisme singkat untuk esterifikasi trigliserida melalui katalis asam dan basa (efek sinergis); FAME: fatty acid methyl esters (sumber: (Jume et al., 2020))

2.3 Parameter yang digunakan untuk Penentuan Karakteristik Biodiesel

2.3.1 Viskositas

Viskositas biodiesel yang dinamis dan kinematik dapat diperkirakan menggunakan viskositas yang diprediksi dari metil ester yang rapi dan dengan menerapkan hukum pencampuran. Selain itu, viskositas biodiesel juga dapat ditentukan sebelumnya berdasarkan metode kontribusi kelompok dan prinsip negara yang sesuai. (Krishnasamy & Bukkarapu, 2021).

Menurut (Krishnasamy & Bukkarapu, 2021) model yang dikembangkan untuk memperkirakan viskositas kinematik biodiesel (ν) dibahas di sini. Korelasi untuk memperkirakan viskositas kinematik dari ester metil yang berbeda (ν_i) menggunakan jumlah atom karbon ($C_{i,a}$) dan suhu. Viskositas biodiesel diperkirakan dari prediksi yang dibuat untuk ester metil individu dalam hubungannya dengan persamaan hukum pencampuran. Model ini divalidasi dengan delapan biodiesel dengan komposisi berbeda dan kesalahan maksimum 9,2% diperoleh. Untuk memperkirakan viskositas kinematik ester jenuh rapi dari metil heksanoat ke *metil lignocerate*, ester metil tak jenuh tunggal dan ester metil tak jenuh ganda. Korelasi ini berlaku dalam kisaran suhu 263,15 hingga 373,15 K. Hubungannya dengan viskositas kinematik yang diprediksi dari ester metil tapi untuk memperkirakan viskositas kinematik biodiesel dan melaporkan MAPE sebesar 5,33%

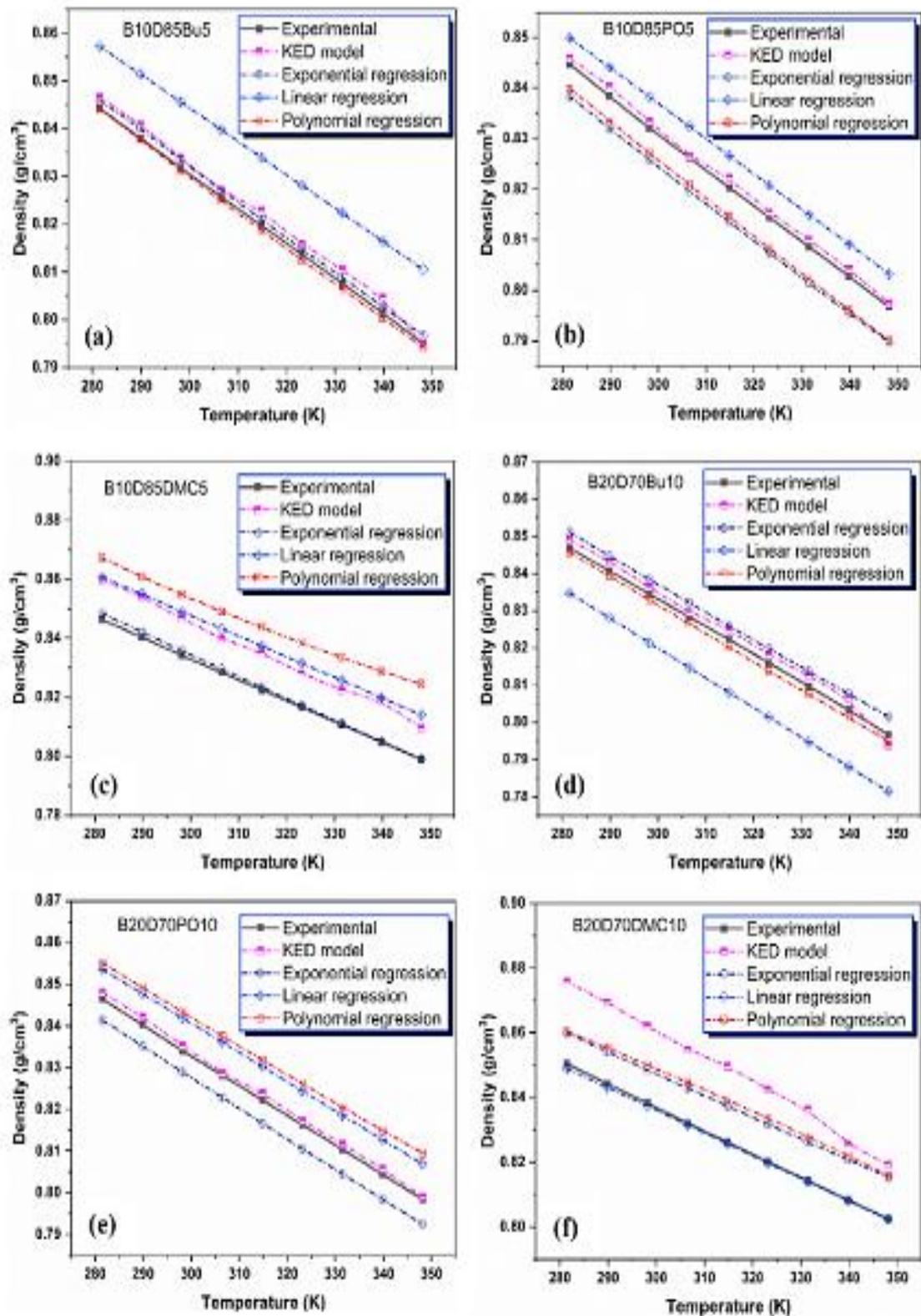
2.3.2 Densitas

Menurut (Mujtaba et al., 2021) model densitas (model KED, model regresi eksponensial, model regresi linier dan model regresi Polinomial) disajikan pada Gambar 2.7 untuk semua campuran bahan bakar. 5%, 10% dan 15% aditif bahan bakar yang berbeda (limbah minyak pirolisis, dimetil mobil- bonat dan butanol) dicampur dengan 10%, 20% dan 30% konsentrasi biodiesel kelapa sawit. Dari gambar 2.7 (a) untuk model regresi polinomial campuran bahan bakar B10D85Bu5 paling baik dilengkapi dengan hasil eksperimental di antara model kepadatan yang dikembangkan. Pada suhu yang lebih rendah (281,51 K) nilai model kerapatan regresi polinomial menunjukkan variasi yang lebih dekat dan lebih sedikit diikuti oleh model kerapatan regresi eksponensial, KED dan linier dibandingkan dengan

data eksperimen (0,012% Y), (0,20%), (0,27%) dan (1,54%) masing-masing. Pada suhu yang lebih tinggi (348,15 K) nilai densitas menunjukkan variasi yang lebih sedikit dibandingkan dengan data eksperimen untuk model regresi polinomial (0,088% Y) diikuti oleh model KED (0,021 % Y), eksponensial model regresi (0,23 %) dan model regresi linier (1,96 %). Gambar 2.7 (b) Model kerapatan KED menunjukkan hasil yang lebih baik lebih dekat dengan data eksperimen dibandingkan dengan model kerapatan lainnya untuk campuran bahan bakar terner B10D85PO5. Model kerapatan regresi polinomial dan regresi eksponensial menunjukkan nilai densitas yang lebih rendah sedangkan model kerapatan regresi linier menunjukkan nilai densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan data eksperimen. Pada 281,51 K, model KED menunjukkan variasi yang lebih sedikit (0,14 %) diikuti oleh model regresi linier (0,61 %), model regresi polinomial (0,56 % Y) dan model regresi eksponensial (0,75 % Y). Pada 348,15 K, model KED telah memprediksi hasil yang lebih baik dengan variasi (0,082 %) diikuti oleh model regresi linier (0,81 %), model regresi polinomial (0,84 % Y) dan model regresi eksponensial (0,87 % Y). Model kerapatan regresi eksponensial untuk B10D85DMC5 menunjukkan estimasi yang lebih baik dalam hasil seperti yang ditunjukkan pada gambar.2.7 (c). Pada 281,51 K dan 348,15 K, model eksponensial menunjukkan variasi yang lebih sedikit (0,24 %) & (0,012 %) diikuti oleh model KED (1,59 %) & (1,32 %), Model regresi linier (1,68 %) & (1,87 %) dan model regresi polinomial (2,45 %) & (3,19 %) masing-masing dibandingkan dengan data eksperimen. Menurut model kepadatan yang diprediksi, 5% penambahan bahan bakar aditif dengan campuran bahan bakar diesel-biodiesel bervariasi nilai kepadatan sehubungan dengan suhu. Di antara tiga aditif bahan bakar yang berbeda, 5% butanol menunjukkan kepadatan minimum (0,8441 g/cm³) & (0,7942 g/ cm³) masing-masing pada 281,51 K dan 348,15 K. Gambar 2.7 (d) mewakili model kepadatan untuk campuran bahan bakar terner B20D70BU10. Model KED memprediksi nilai kepadatan yang lebih dekat dengan data eksperimen dibandingkan dengan model kepadatan lainnya. Pada 281,51 K dan 348,15 K, model KED menunjukkan variasi yang lebih sedikit (masing-masing 0,27%) dan (0,37% Y) dari data eksperimen. Gambar 2.7 (e) menunjukkan model kepadatan yang diprediksi untuk campuran bahan bakar terner B20D70PO10. Model KED

menunjukkan nilai prediksi densitas yang lebih baik dibandingkan dengan model prediksi lainnya. Ini menunjukkan variasi yang lebih sedikit dari data eksperimen (0,18%) dan (0,07%) masing-masing pada 281,51 K & 348,15 K. Gambar 2.7 (f) menunjukkan model kepadatan yang diprediksi untuk campuran bahan bakar terner B20D70DMC10. Model kerapatan regresi linier menunjukkan nilai prediksi yang lebih dekat dengan data eksperimen dibandingkan dengan model prediksi lainnya. Perbedaan nilai sangat kurang (0,17 % Y) dan (0,012 % Y) masing-masing sebesar 281,51 K dan 348,15 K. Model KED menunjukkan perbedaan yang sangat besar dari data eksperimen seperti (2,97 %) dan (2,09 %) masing-masing sebesar 281,51 K dan 348,15 K. 10 % butanol menunjukkan kepadatan minimum (0,8468 g/cm³) & (0,7967 g/cm³) masing-masing sebesar 281,51 K dan 348,15 K.





Gambar 2. 7 Variasi kepadatan campuran bahan bakar yang berbeda suhu w.r.t untuk berbagai model kepadatan. Sumber: (Mujtaba et al., 2021)

2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian pembuatan biodiesel yang dilakukan merujuk pada penelitian-penelitian terdahulu. Berikut merupakan referensi penelitian yang berkaitan dengan biodiesel :

Tabel 2. 2 Penelitian terdahulu

Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
(Jume et al., 2020)	Katalis baru, yang terdiri dari nanopartikel oksida logam yang dicampur dengan graphene oksida, digunakan dalam produksi biodiesel dari minyak jelantah.	Dalam penelitian ini, para peneliti memanfaatkan ZrO_2 -SrO sebagai katalis heterogen berbasis karbon dalam produksi biodiesel dari minyak jelantah (WCO). Para peneliti menyelidiki dampak berbagai parameter, termasuk rasio molar minyak terhadap metanol, waktu reaksi, dan suhu reaksi. Temuan mengungkapkan bahwa nanokatalis baru menawarkan beberapa keuntungan, seperti pengurangan biaya, peningkatan efisiensi, peningkatan penggunaan kembali, dan perpindahan massa yang cepat (dalam waktu 90 menit). Hasil percobaan menunjukkan bahwa kondisi optimal produksi biodiesel dicapai dengan perbandingan 1:0,5 (b/b) graphene oksida terhadap ZrO_2 -SrO, rasio molar minyak terhadap metanol 1:4, dan waktu reaksi 90 menit, dan suhu reaksi 120 °C. Dengan kondisi tersebut, rendemen biodiesel mencapai 91% atau FAME (fatty acid methyl esters). Keberhasilan sintesis nanokatalis dengan gugus fungsi, struktur kristal, dan elemen kunci yang diinginkan dikonfirmasi melalui teknik karakterisasi FTIR, XRD, dan SEM/EDX. Dibandingkan dengan katalis heterogen berbasis lipase-MNP, ZrO_2 -SrO menunjukkan potensi yang signifikan sebagai bahan yang terjangkau dengan aktivitas katalitik tinggi untuk transesterifikasi WCO.

(Du et al., 2019)	<p>Produksi biodiesel dari minyak jarak memerlukan sintesis dan karakterisasi katalis MgO berbasis karbon. Katalis ini memainkan peran penting dalam proses konversi, memfasilitasi transformasi minyak jarak menjadi biodiesel. Sintesis katalis melibatkan penggabungan bahan berbasis karbon dengan MgO, menghasilkan bahan komposit yang menunjukkan sifat katalitik yang ditingkatkan. Karakterisasi katalis melibatkan analisis sifat fisik dan kimianya, seperti luas permukaan, distribusi ukuran pori, dan komposisi unsur. Dengan memahami sintesis dan karakterisasi katalis MgO berbasis karbon ini, para peneliti dapat lebih mengoptimalkan produksi biodiesel dari minyak jarak, sehingga berkontribusi terhadap pengembangan sumber energi berkelanjutan.</p>	<p>Sintesis katalis MgO berbasis karbon menggunakan metode sol-gel dan kalsinasi dilakukan untuk memudahkan produksi biodiesel. Dampak dari tiga aditif organik yang berbeda, yaitu PVA, urea, dan glikol, terhadap sifat fisikokimia dan katalitik MgO diselidiki secara menyeluruh. Hasil yang diperoleh dari analisis XRD dan BET menunjukkan bahwa MgO-UREA-800 menunjukkan kristalinitas yang unggul dan luas permukaan spesifik yang lebih tinggi. Lebih lanjut, uji aktivitas katalitik menunjukkan bahwa katalis MgO-UREA-800 menunjukkan peningkatan kinerja dalam transesterifikasi minyak jarak dengan etanol, menghasilkan rendemen FAEE sebesar 96,5%. Khususnya, bahkan setelah menjalani 5 siklus penggunaan, hasil FAEE hanya menurun hingga 80,2%, yang menunjukkan stabilitas luar biasa dari katalis yang disiapkan. Meskipun pengaruh pasti sisa karbon terhadap kinerja katalis masih belum jelas, penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk menjelaskan mekanisme di balik fenomena ini.</p>
(Sriwijaya, 2021)	<p>Proses pembuatan katalis pada reaksi transesterifikasi pada sintesis biodiesel melibatkan impregnasi karbon aktif yang berasal dari tempurung kelapa (<i>Cocos nucifera</i>) dengan kalium hidroksida (KOH).</p>	<p>Sebuah penelitian dilakukan untuk mengetahui penggunaan katalis KOH/karbon aktif sebagai katalis dasar heterogen dalam produksi biodiesel dari minyak jelantah. Karbon aktif diperoleh dari tempurung kelapa dan dilakukan karbonisasi dalam tungku pada suhu 500°C selama 4 jam. Selanjutnya karbon aktif diimpregnasi dalam larutan KOH dengan variasi konsentrasi 1 N, 2 N,</p>

		<p>3 N, 4 N, dan 5 N dengan durasi berbeda yaitu 18, 21, dan 24 jam. Katalis kemudian dianalisis menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (AAS) untuk mengetahui jumlah kalium yang terserap dalam karbon aktif. Selain itu, Scanning Electron Microscopy (SEM) digunakan untuk menguji karakteristik katalis yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis dengan kandungan kalium tertinggi setelah impregnasi diperoleh pada kondisi konsentrasi KOH 5 N dan waktu impregnasi 21 jam, menghasilkan kandungan kalium sebesar 97,00%. Selanjutnya dilakukan produksi biodiesel dengan variasi katalis 1,3% dan 5%, dengan rentang suhu reaksi 45°C hingga 75°C dan perbandingan minyak goreng terhadap metanol 1:6. Biodiesel terbaik diperoleh dengan menggunakan katalis 3% pada suhu 55°C sehingga menghasilkan rendemen sebesar 87,72%. Selanjutnya produk metil ester yang diperoleh dari proses ini dikarakterisasi dan memenuhi standar viskositas biodiesel, dengan viskositas sebesar 4,7622 gr/ml. Kepadatan produk metil ester ditentukan sebesar 0,8709 gr/ml, sedangkan kandungan asam diukur sebesar 1,4027 mgKOH/g. Kadar air biodiesel diketahui sebesar 0,0266% dan titik nyala ditetapkan sebesar 176oC. Temuan ini menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan menggunakan katalis KOH/karbon aktif telah memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan.</p>
(Nuraeni et al., 2019)	<p>Produksi biodiesel dari minyak jelantah dapat dilakukan dengan memanfaatkan karbon aktif sebagai adsorben, sedangkan sintesis triasetin dapat dilakukan dengan menggunakan asam nitrat sebagai katalis. Dengan memanfaatkan karbon aktif</p>	<p>Pemanfaatan karbon aktif pada proses pemurnian minyak jelantah menghasilkan produksi % FFA yang memenuhi standar yang telah ditetapkan. Konsentrasi karbon aktif secara langsung mempengaruhi pengurangan % FFA, dengan konsentrasi yang lebih tinggi menyebabkan pengurangan yang lebih besar. Transesterifikasi</p>

	<p>sebagai adsorben, proses konversi minyak jelantah menjadi biodiesel menjadi lebih efisien dan ramah lingkungan. Selain itu, pemanfaatan asam nitrat sebagai katalis dalam sintesis triasetin meningkatkan laju reaksi dan meningkatkan hasil keseluruhan produk yang diinginkan.</p>	<p>minyak goreng bekas dan metanol menghasilkan biodiesel dengan rendemen luar biasa sebesar 95,28% dan kandungan metil ester sebanding dengan minyak sawit. Sebaliknya, esterifikasi gliserol dengan asam asetat untuk memperoleh triasetin menunjukkan hasil yang jauh lebih rendah yaitu 24,05%. Hal ini menunjukkan bahwa asam nitrat bukanlah katalis yang cocok untuk proses esterifikasi triasetin.</p>
<p>(Rahardja & Ramadhan, 2019)</p>	<p>Analisis Kalori Biodiesel <i>Crude Palm Oil</i> (CPO) dengan Katalis Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (ATKKS)</p>	<p>Pemanfaatan minyak sawit mentah (CPO) sebagai bahan baku dan abu sawit sebagai katalis memungkinkan produksi biodiesel minyak sawit mentah, salah satu bahan bakar nabati. Adanya abu kosong mempercepat proses pembentukan biodiesel sehingga menghasilkan biodiesel dengan nilai kalor yang cukup tinggi sehingga memungkinkan terjadinya pembakaran yang efisien. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengubah minyak sawit mentah menjadi biodiesel, yang berfungsi sebagai alternatif terbarukan dan berkelanjutan dibandingkan bahan bakar konvensional. Metode penelitian eksperimental digunakan untuk mencapai tujuan ini. Selama proses konversi, perhatian khusus diberikan pada kandungan Asam Lemak Bebas (FFA) pada minyak sawit mentah. Minyak sawit mentah dengan kandungan FFA $\geq 2\%$ mengalami transesterifikasi untuk langsung menghasilkan biodiesel, sedangkan minyak sawit mentah dengan kandungan FFA $\leq 2\%$ mengalami esterifikasi. Temuan penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan abu minyak sawit sebagai katalis memfasilitasi konversi minyak sawit mentah menjadi biodiesel. Biodiesel yang dihasilkan, yang berasal dari minyak sawit mentah dan menggunakan abu tandan buah sawit kosong</p>

		sebagai katalis, memiliki nilai kalor sebesar -1,382 kJ per 36,25 gram biodiesel yang dihasilkan.
(Mishra et al., 2021)	Pendekatan metodologis yang berpusat pada komposisi untuk memperkirakan kepadatan, viskositas, dan tegangan permukaan bahan bakar biodiesel.	Sifat bahan bakar dan karakteristik mesin biodiesel dapat sangat bervariasi tergantung pada bahan baku yang digunakan dalam produksinya. Oleh karena itu, perlu dilakukan pendekatan berbasis komposisi untuk menganalisis sifat dan karakteristik tersebut. Dalam studi ini, model regresi multilinier baru diusulkan untuk memprediksi densitas, viskositas kinematik, dan tegangan permukaan biodiesel berdasarkan komposisinya. Dua parameter baru, yaitu faktor kejenuhan rantai lurus (SCSF) dan derajat ketidakjenuhan termodifikasi (DUm), diperkenalkan untuk menangkap pengaruh konstituen metil ester jenuh dan tak jenuh pada biodiesel. Parameter-parameter ini ditemukan lebih mewakili komposisi biodiesel dibandingkan dengan parameter-parameter yang ada dalam literatur. Model yang diusulkan juga memperhitungkan pengaruh suhu terhadap variasi sifat biodiesel. Untuk mengembangkan dan memvalidasi model, pengukuran densitas, viskositas kinematik, dan tegangan permukaan dilakukan pada tujuh biodiesel dengan komposisi berbeda nyata pada rentang suhu 293 hingga 373 K untuk densitas dan viskositas kinematik, serta 303 hingga 353 K untuk tegangan permukaan. Selain itu, tiga biodiesel tambahan digunakan untuk tujuan validasi, namun tidak disertakan dalam proses pelatihan model.
(Krishnasamy & Bukkarapu, 2021)	Pemeriksaan menyeluruh terhadap model prediksi sifat biodiesel untuk tujuan investigasi pemodelan pembakaran.	Biodiesel telah muncul sebagai bahan bakar yang paling menjanjikan di antara berbagai pilihan alternatif pengganti solar karena bahan bakar terbarukan, ketersediaannya, kemampuan terurai secara hayati, efisiensi pembakaran yang tinggi, dan emisi yang lebih rendah. Meskipun telah

		<p>banyak dilakukan investigasi eksperimental mengenai pembakaran biodiesel pada berbagai jenis mesin, namun investigasi numerik yang sesuai masih kurang. Pemodelan numerik pada proses pembakaran dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang mekanisme yang mendasari tren pembakaran dengan biodiesel. Pemodelan numerik sangat penting untuk menjadi bagian integral dari desain mesin dan pekerjaan pengembangan dengan bahan bakar alternatif seperti biodiesel, yang bergantung pada variabilitas komposisi. Pengukuran eksperimental untuk menentukan komposisi biodiesel yang optimal untuk aplikasi mesin memakan waktu dan tenaga, sehingga peran penyelidikan dinamika fluida komputasi (CFD) menjadi sangat penting. Untuk studi pemodelan semprotan dan pembakaran biodiesel, diperlukan sifat termofisika biodiesel yang akurat baik dalam fase cair maupun uap pada suhu yang berbeda, mulai dari kondisi sekitar hingga kondisi kritis. Namun, sifat-sifat ini tidak mungkin diukur secara eksperimental. Oleh karena itu, terdapat minat yang berkelanjutan dalam mengembangkan model numerik yang dapat memprediksi sifat termofisika biodiesel untuk tujuan pemodelan pembakaran. Berbagai pendekatan dan model telah dikembangkan untuk memperkirakan sifat termofisik biodiesel. Dalam tinjauan komprehensif ini, pendekatan dan model yang tersedia untuk memperkirakan sifat-sifat penting seperti densitas, viskositas, tegangan permukaan, panas laten penguapan, dan tekanan uap biodiesel dianalisis menggunakan berbagai parameter statistik. Selain itu, tinjauan ini juga mengkaji pendekatan untuk memprediksi sifat kritis yang diperlukan untuk memprediksi sifat termofisika biodiesel. Pendekatan yang paling sesuai dan</p>
--	--	--

		<p>model yang sesuai untuk memperkirakan properti ini ditentukan berdasarkan parameter seperti deviasi yang dilaporkan, metode validasi, kesederhanaan, dan rentang yang dapat diterapkan.</p>
(Jayachandran et al., 2021)	<p>Pemanfaatan karbon aktif yang diperoleh dari daun Bambu sebagai bahan elektroda untuk aplikasi superkapasitor telah diselidiki dengan adanya elektrolit berair yang berbeda.</p>	<p>Bahan karbon aktif (AC) diproduksi dengan melakukan karbonisasi daun bambu pada suhu tinggi 500 °C selama 2 jam. Selanjutnya bahan karbon tersebut mengalami proses reaksi kimia dengan menggunakan pelarut KOH sebagai bahan pengaktifnya. Struktur kristal dan interaksi molekul karbon aktif yang dihasilkan dikonfirmasi melalui analisis XRD dan FT-Raman. Morfologi material dikarakterisasi menggunakan FE-SEM (EDS). Kebaruan karbon aktif diselidiki menggunakan berbagai elektrolit berair, termasuk 1 M Na₂SO₄, 0,5 M KOH, dan kombinasi 1 M Na₂SO₄ + 0,5 M KOH. Karbon aktif menunjukkan kapasitansi spesifik yang tinggi sebesar 290F/g pada 1A/g ketika menggunakan elektrolit campuran (1 M Na₂SO₄ + 0,5 M KOH). Selain itu, ini menunjukkan retensi kapasitas sebesar 93% setelah 1000 siklus pada 10A/g. Temuan ini menunjukkan bahwa elektrolit campuran menjanjikan sebagai bahan elektroda untuk superkapasitor dengan kepadatan daya tinggi.</p>
(Wang et al., 2020)	<p>Mempelajari kembali sifat-sifat produk, mekanisme aktivasi, dan hukum evolusi struktur pori, penelitian ini berfokus pada produksi SiO₂ secara simultan dari gasifikasi karbon sekam padi dan karbon aktif sekam padi.</p>	<p>Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membangun landasan teoritis untuk pemanfaatan gasifikasi karbon sekam padi (RHC) secara efisien dan aman, serta untuk mendapatkan pemahaman lebih dalam tentang mekanisme aktivasi dan evolusi struktur pori-porinya. Untuk mencapai hal ini, K₂CO₃ digunakan untuk mengekstraksi SiO₂ dari RHC, dan selanjutnya, karbon aktif sekam padi (RAC) dibuat dengan mengaktifkan prekursor karbon aktif sekam padi (ACP) yang</p>

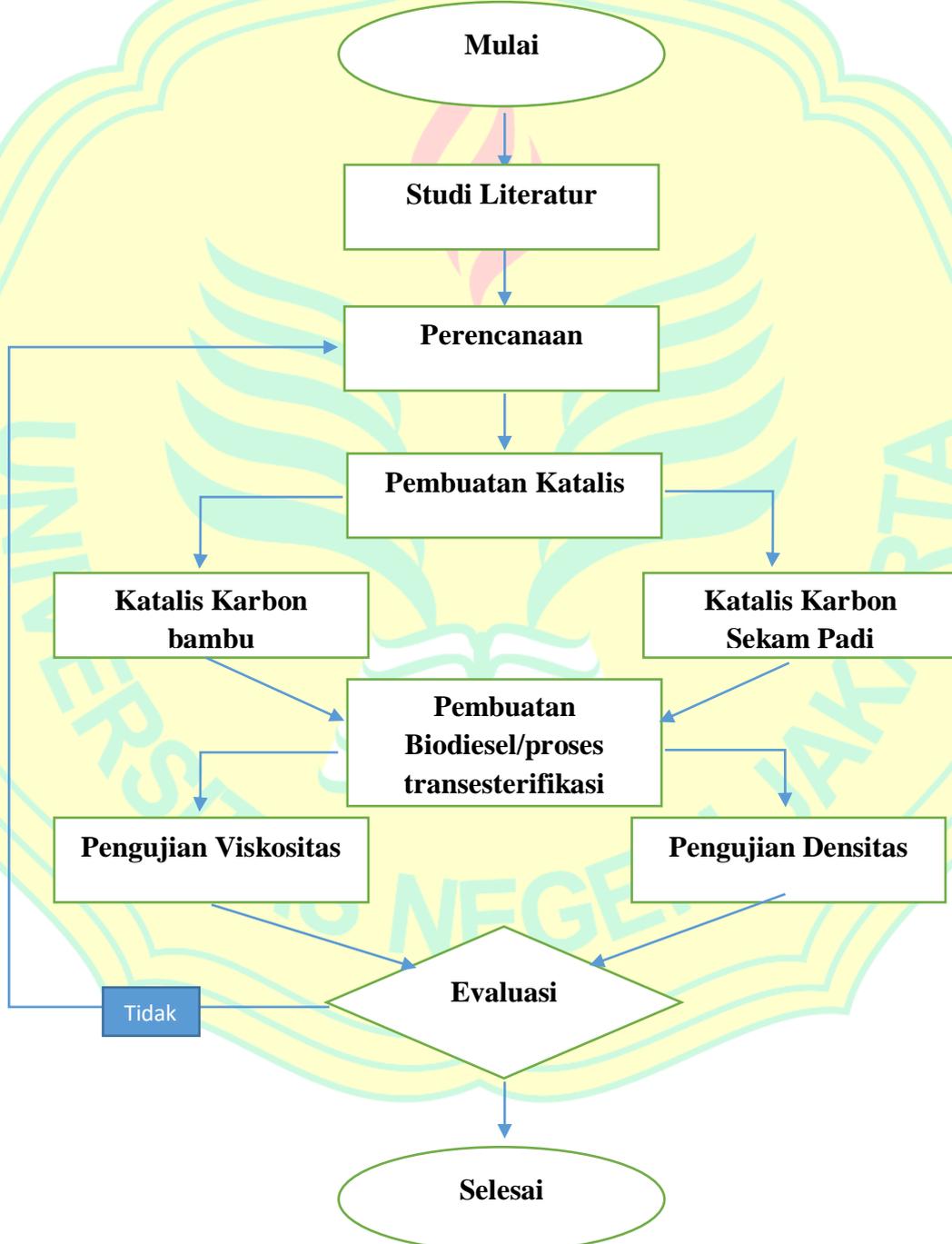
		<p>dipisahkan. Temuan mengungkapkan bahwa luas permukaan spesifik RAC yang diperoleh melalui ACP diukur sebesar 1006,208 m²/g, dengan hasil SiO₂ sebesar 20,64%. Telah diamati bahwa fraksi massa K₂CO₃ mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil SiO₂, serta kandungan K₂CO₃ pada permukaan ACP. Proses aktivasi ACP terutama bergantung pada jumlah K₂CO₃ yang teradsorpsi pada permukaan bagian dalam dan struktur internalnya. Ketika fraksi massa K₂CO₃ meningkat, struktur pori RAC mengalami dua tahap berbeda, yaitu periode pengembangan penuh dan periode pengembangan transisi. Selanjutnya, setelah sintering pada suhu 950°C selama 4 jam, SiO₂ menunjukkan sejumlah besar mesopori dengan diameter sekitar 5 nm, dan menunjukkan kecenderungan untuk mengkristal.</p>
(Sankaranarayanan et al., 2021)	<p>Pemeriksaan menyeluruh terhadap kemajuan penelitian mengenai cairan pemotongan yang berasal dari minyak nabati untuk mengatasi tantangan permesinan berkelanjutan.</p>	<p>Dalam masyarakat yang sadar lingkungan saat ini, telah terjadi pergeseran signifikan ke arah penggunaan cairan pemotongan berbahan dasar bio-minyak dalam aplikasi permesinan, menggantikan cairan pemotongan berbahaya yang sebelumnya digunakan. Minyak nabati telah muncul sebagai pilihan yang menjanjikan untuk cairan pemotongan logam ramah lingkungan, menawarkan solusi efektif untuk mengurangi berbagai risiko kesehatan yang terkait dengan cairan pemotongan sintetis, seperti iritasi kulit, aerosol berbahaya, dan konsumsi. Studi ini mengkaji secara kritis potensi penerapan cairan pemotongan berbasis minyak nabati yang ramah lingkungan untuk mencapai manufaktur ramah lingkungan yang berkelanjutan. Kesesuaian berbagai minyak nabati untuk berbagai aplikasi pemotongan logam dievaluasi dan dibandingkan secara menyeluruh. Temuan artikel penelitian ini menunjukkan bahwa minyak nabati.</p>

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah eksperimen dan pendekatan kuantitatif

3.1 Road Map Penelitian



Gambar 3. 1 Road Map Penelitian (sumber : dokumen Pribadi)

Proses pembuatan biodiesel dilakukan dengan menggunakan konduksi panas *magnetic stirrer* dengan proses reaksi kontinyu dapat dilihat pada gambar 3.1. *Magnetic stirrer* digunakan agar reaksi berlangsung dengan suhu yang sesuai dan merata. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan suhu pada *magnetic stirrer* dan variasi persentase katalis. (Ahmad Reza Zulham (UNJ/PTM), 2022)

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu : Februari 2023 – Juli 2023

Tempat : Lab. Material Gedung H Fakultas Teknik Universitas
Negeri Jakarta

3.3 Bahan dan Peralatan

3.3.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Minyak Sawit
2. Metanol (CH₃OH 98%)
3. Katalis Karbon Bambu
4. Katalis Karbon Sekam Padi
5. Aquades

3.3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Magnetic Stirrer*
2. *Furnace*
3. *Beaker Glass*
4. *Erlenmeyer*
5. *Thermometer*
6. Kertas saring
7. Botol Kaca
8. Viskometer Oswald
9. *Piknometer*
10. Timbangan
11. Penyangga Viskometer
12. Corong Pemisah

13. Pipet
14. Vakum
15. Corong buckner

3.3.3 Perhitungan

Mengukur volume minyak nabati, volume metanol dan massa katalis karbon sesuai dengan rumus dan rasio yang diinginkan yaitu :

Diketahui :

Volume Minyak Sawit (MS)	= 150 ml = 127,95 gr
Densitas Minyak Sawit(MS)	= 0,853 g/cm ³
Berat mol (BM) Minyak Sawit (MS)	= 847 g/mol
Berat mol (BM) Metanol	= 32 g/mol
Rasio Metanol	= 1 : 12
Densitas Metanol	= 0,792 g/cm ³

Dicari :

- 1) Mol MN
- 2) Mol metanol
- 3) Massa metanol
- 4) Volume metanol

Penyelesaian :

- 1) Mol Mn $= \frac{Massa MS}{BM.BM} = 0,151 \text{ mol}$
- 2) Mol Metanol $= 12 \times \text{mol MS} = 1,812 \text{ mol}$
- 3) Massa Metanol $= \text{mol Metanol} \times \text{BM Metanol} = 57,98 \text{ gr}$
- 4) Volume Metanol $= \frac{Massa Metanol}{Densitas Metanol} = 73,2 \text{ ml}$

5) Variasi Konsentrasi Katalis :

- a. $0,5\% \times \text{Densitas MS} \times 1,5 = 0,7 \text{ gr}$
- b. $1\% \times \text{Densitas MS} \times 1,5 = 1,4 \text{ gr}$
- c. $1,5\% \times \text{Densitas MS} \times 1,5 = 2,1 \text{ gr}$
- d. $2\% \times \text{Densitas MS} \times 1,5 = 2,8 \text{ gr}$

$$e. 2,5\% \times \text{Densitas MS} \times 1,5 = 3,5 \text{ gr}$$

3.4 Prosedur Penelitian

Metode yang digunakan dalam produksi biodiesel dari minyak sawit adalah proses reaksi transesterifikasi dengan menggunakan konduksi panas dari *magnetic stirrer*. Adapun proses pengerjaannya sebagai berikut :

3.4.1 Tahap Penelitian

Tahap penelitian ini meliputi beberapa tahap, yaitu:

A. Perlakuan Pendahuluan

1. Mengukur perbandingan volume minyak Sawit, metanol dan jumlah variasi katalis yang digunakan sesuai operasi saat direaksikan.
2. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan saat penelitian berlangsung.

B. Pembuatan Katalis

1. Bambu dan sekam padi dicuci hingga bersih, lalu dikeringkan dalam beberapa hari, hingga tidak ada kandungan air di dalamnya. Bisa dilihat pada gambar 3.2, 3.3, dan 3.4.



Gambar 3. 2 Pemilihan dan penebangan bambu tua (sumber : dokumen pribadi)



Gambar 3. 3 Pencucian sekam padi dan bambu dengan air bersih (sumber : dokumen pribadi)



Gambar 3. 4 Pengeringan sekam padi dan bambu (sumber : dokumen Pribadi)

2. Kemudian bambu dan sekam padi dipanggang (impregnasi) di dalam wadah dan dimasukkan ke dalam furnace bersuhu 700°C selama 2 jam. Proses ini berlangsung secara tertutup sehingga karbon tidak teroksidasi oleh oksigen bisa dilihat pada gambar 3.5, 3.6, 3.7 dan 3.8



Gambar 3. 5 Persiapan Proses Impregnasi (sumber : dokumen Pribadi)



Gambar 3. 6 Penyetelan Suhu di Furnace (sumber : dokumen Pribadi)



Gambar 3. 7 Karbon bambu (sumber : dokumen Pribadi)



Gambar 3. 8 Karbon Sekam Padi (sumber : dokumen Pribadi)

3. Setelah proses pemanggangan karbon sekam padi didinginkan dan kemudian dihaluskan menggunakan stamper, lalu disaring menggunakan saringan dengan kerapatan 200 mess.
4. Karbon yang sudah selesai disaring lalu diaktivasi dengan suhu 200°C , lalu diammkam di dalam *furnace* selama 1x24 jam. Bisa di lihat pada gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Proses Aktivasi Karbon dengan Furnace (sumber : dokumen Pribadi)



Gambar 3. 10 Hasil Aktivasi Karbon Bambu kiri, dan sekam padi kanan (sumber : dokumen Pribadi)

C. Tahap Transesterifikasi dan Penyaringan

1. Langkah pertama adalah memasukan minyak Sawit ke dalam *erlenmeyer* yang kemudian dipanaskan menggunakan *magnetic stirrer* sampai suhu yang telah ditentukan.
2. Ketika minyak sawit telah mencapai suhu yang telah ditentukan, masukan katalis karbon bambu atau karbon sekam padi dengan ukuran yang telah ditentukan.
3. Pada saat yang bersamaan metanol dipanaskan di dalam beaker glass menyesuaikan suhu minyak sawit.
4. Setelah minyak nabati dan metanol mencapai suhu yang telah ditentukan, campur metanol ke minyak sawit.
5. Proses pemanasan dan pengadukan ini berlangsung selama 2 jam per sampel dengan suhu yang tetap bisa dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3. 11 Proses Transesterifikasi (sumber : dokumen Pribadi)

6. Setelah proses transesterifikasi selesai, masukan ke dalam corong pemisah bisa dilihat pada gambar 3.12



Gambar 3. 12 Proses Pemisahan Biodiesel dengan Corong Pemisah (sumber : dokumen Pribadi)

7. Setelah karbon, metanol, dan biodiesel terpisah, lalu disaring dengan proses divakum dalam waktu 15-30 menit, untuk memisahkan sisa karbon dari biodiesel bisa dilihat di gambar 3.13.



Gambar 3. 13 Proses Vakum Bisodiesel (sumber : dokumen Pribadi)

8. Hasil akhir biodiesel akan diuji menggunakan *viskometer oswalt* dan *piknometer* untuk mengetahui viskositas dan densitas biodiesel bisa dilihat pada gambar 3.14 dan 3.15.



Gambar 3. 14 Pengukuran Densitas (sumber : dokumen Pribadi)



Gambar 3. 15 Pengukuran Viskositas (sumber : dokumen Pribadi)

3.4.2 Tahap Analisis Hasil

Biodiesel perlu diuji guna mengetahui kualitas biodiesel dengan parameter sebagai berikut :

A. Densitas

Metode yang digunakan dalam perhitungan densitas menggunakan standar ASTM D 1298 (Suhartanta & Arifin, 2008)

Peralatan :

1. *Piknometer*
2. Timbangan
3. Pipet

B. Viskositas

Metode yang digunakan dalam perhitungan viskositas menggunakan standar ASTM D 445 (Suhartanta & Arifin, 2008)

Peralatan :

1. *Viskometer Ostwald*
2. *Stopwatch*
3. Pipet
4. Penyangga Viskometer

3.5 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 jenis, yaitu konsentrasi katalis dan suhu. Variable tiap jenisnya adalah sebagai berikut :

- A. Konsentrasi Katalis % : 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, dan 2,5%
- B. Suhu : 60°C, 65°C, dan 70°C

3.6 Kondisi Operasi

Kondisi operasi yang tetap dijaga dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- A. Tekanan 1 atm
- B. Rasio massa metanol dan minyak sawit adalah 1:12

3.7 Teknik Analisis Data

Biodiesel yang diperoleh dari reaksi transesterifikasi minyak kelapa menggunakan katalis padat dianalisa dengan beberapa pengukuran untuk mengetahui kadar dan kualitas. Berikut perhitungan yang digunakan dalam menganalisis karakteristik biodiesel : (Sumber persamaan perhitungan : Tri Saputra Arief Wicaksono Irsan et al., 2017)

- A. Viskositas Biodiesel

$$Densitas = \frac{Massa (piknometer \& sampel - piknometer kosong)}{Volume sampel} \dots \dots (1)$$

- B. Densitas Biodiesel to ρ_0

$$\eta = \frac{t \times \rho}{t_0 \times \rho_0} \times \eta_0 \dots \dots \dots (2)$$

η : Viskositas (Pa.S)

η_0 : Viskositas Pembanding

ρ_0 : Massa jenis pembanding, aquades (kg/m^3)

t_0 : Waktu Pembanding (sekon)

ρ : Massa jenis, Biodiesel (kg/m^3)

t : Waktu (sekon)

$$Vd = \frac{\eta}{1000} \dots \dots \dots (3)$$

Vd : Viskositas dinamik (Cp)

η : Viskositas (Pa.S)

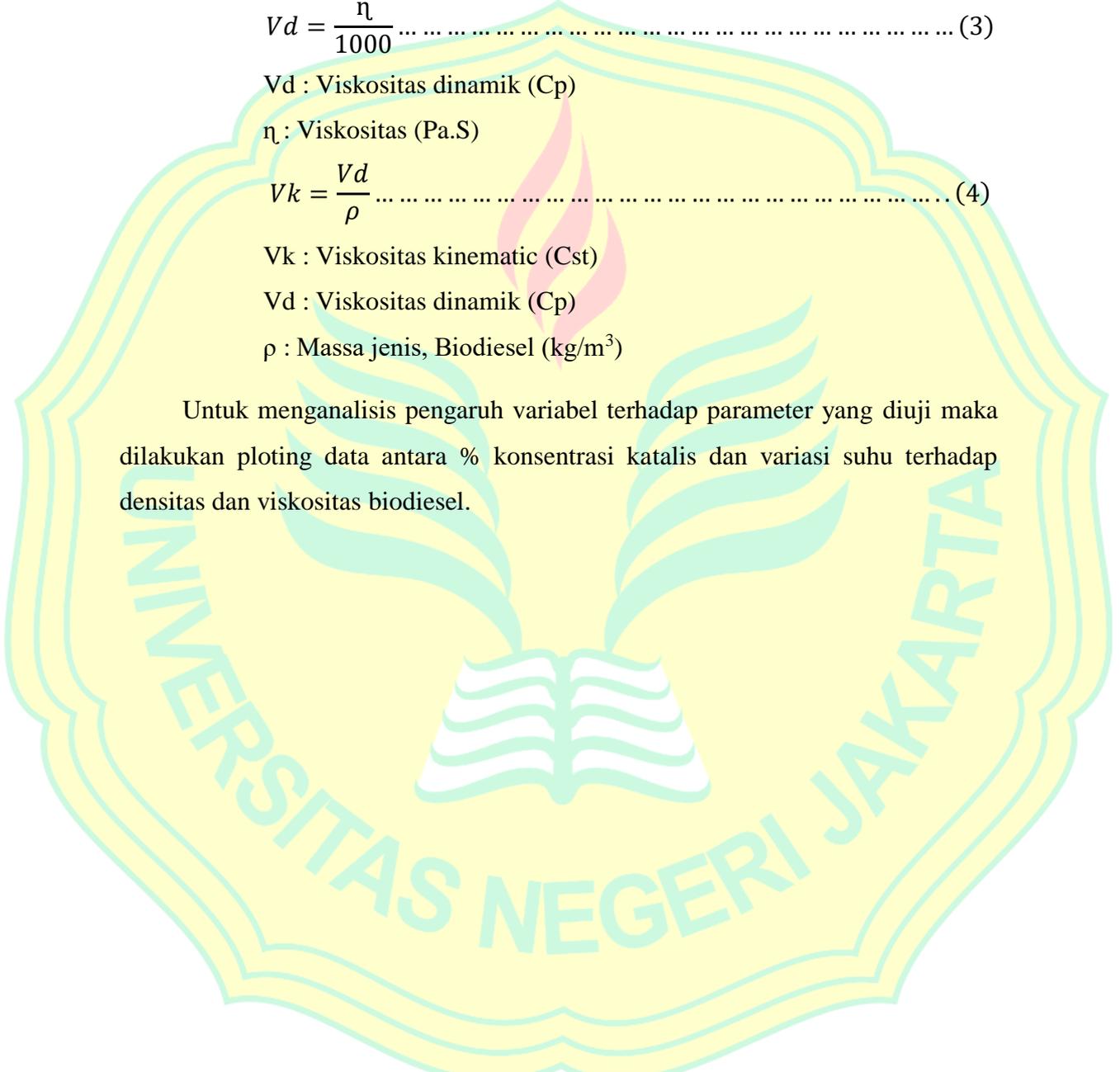
$$Vk = \frac{Vd}{\rho} \dots \dots \dots (4)$$

Vk : Viskositas kinematic (Cst)

Vd : Viskositas dinamik (Cp)

ρ : Massa jenis, Biodiesel (kg/m^3)

Untuk menganalisis pengaruh variabel terhadap parameter yang diuji maka dilakukan plotting data antara % konsentrasi katalis dan variasi suhu terhadap densitas dan viskositas biodiesel.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

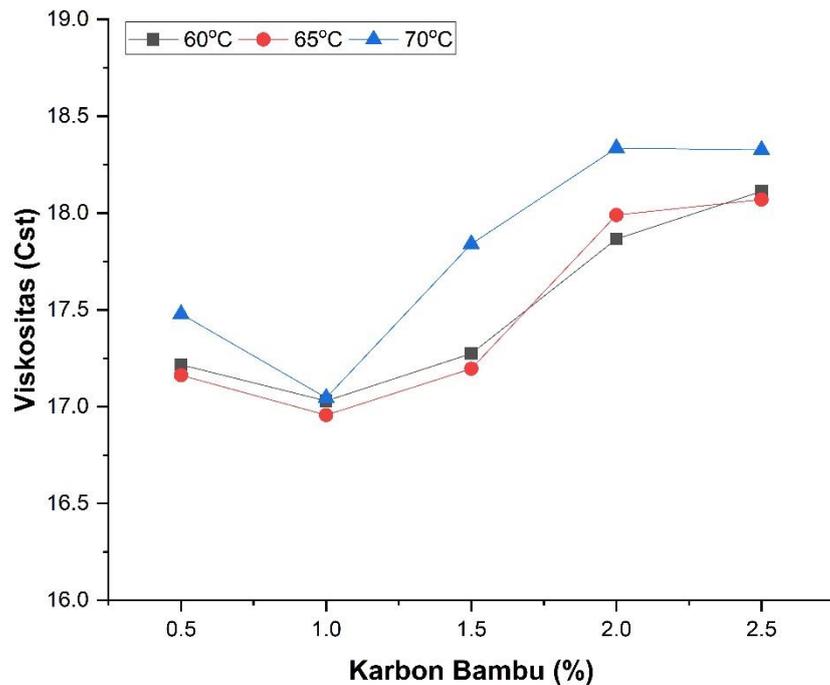
Dalam Penelitian ini, penulis melakukan penelitian pembuatan biodiesel dengan bahan baku yaitu minyak nabati, katalis heterogen karbon bambu dan karbon sekam padi dan metanol. Perbandingan antara mol minyak nabati dan methanol adalah 1 : 12. Pembuatan biodiesel dilakukan dengan variasi konsentrasi katalis yaitu 0.5%, 1%, 1.5%, 2% dan 2.5%. Variasi suhu yang digunakan yaitu 60°C, 65°C dan 70°C. Penelitian biodiesel ini dilakukan dengan semua variabel yang ada untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing variable terhadap biodiesel yang dihasilkan.

Tahapan awal sebelum melakukan percobaan dilakukan beberapa analisis data fisis dari minyak sawit, aquades (sebagai pembanding) pada katalis karbon bambu dan karbon sekam padi. Adapun uji data fisis yang dilakukan pada minyak sawit dan aquades adalah uji viskositas dan uji densitas. Didapatkan data minyak sawit dengan densitas sebesar 0,937 gr/ml, viskositas minyak sawit yaitu dalam satuan CentiStokes yaitu 26.5 Cst. (Sarin et al., 2020)

4.1 Hasil Pengaruh Konsentrasi Katalis dan Variasi Temperatur terhadap Viskositas dan Densitas Biodiesel

4.1.1 Viskositas karbon Bambu

Minyak goreng memiliki nilai viskositas yang tinggi yaitu 26.5 Cst. Dengan adanya proses transesterifikasi minyak sawit akan mengalami penurunan nilai viskositasnya. Nilai viskositas mempengaruhi kekentalan dari biodiesel. Semakin besar nilai viskositas yang dimiliki oleh biodiesel maka semakin besar juga kekentalannya. Nilai viskositas yang ditetapkan merujuk pada ASTM D 445 dan pembatasan pengukuran menurut SNI yaitu 2,3 Cst – 6,0 Cst. Dimana nilai viskositas ini akan digunakan sebagai acuan pada analisis penelitian ini. Melebihi batas nilai yang telah ditetapkan hal tersebut dapat mengganggu kinerja mesin diesel. Semakin tinggi nilai viskositas menyebabkan meningkatnya kebutuhan energi yang dibutuhkan untuk pompa dan injeksi bahan bakar.



Gambar 4. 1 Grafik hasil Pengukuran Viskositas Karbon Bambu (sumber : dokumen pribadi)

Tabel 4. 1 Hasil perhitungan viskositas karbon bambu (sumber: dokumen pribadi)

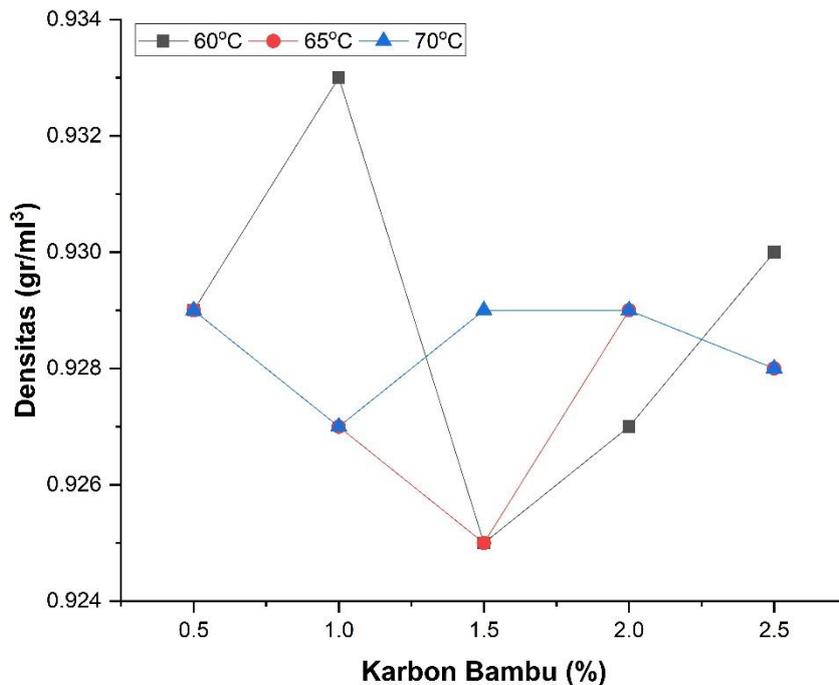
viskositas	0.50%	1%	1.50%	2%	2.50%
Bambu 60°C	17.2162	17.0301	17.2741	17.8659	18.1123
Bambu 65°C	17.162	16.9568	17.1957	17.9899	18.0695
Bambu 70°C	17.4791	17.0461	17.8407	18.3357	18.3256

Efektifitas katalis dalam reaksi transesterifikasi terdapat pada pemberian katalis 1%. Menurut penelitian terdahulu (Yulva Gemy, Sri Helianty, 2015) semakin banyak katalis yang digunakan maka reaksi akan berjalan lebih cepat hingga tercapai jumlah yang optimum (jumlah sisi aktif katalis sesuai dengan jumlah minyak dan metanol yang direaksikan), sehingga dengan penggunaan katalis berlebih hanya akan meningkatkan biaya produksi biodiesel itu sendiri dan semakin tinggi temperatur yang diberikan, maka tumbukan dalam liquid biodiesel semakin cepat sehingga reaksi pembentukan semakin cepat pula, oleh karena itu grafik yang dihasilkan mengalami penurunan dari viskositas minyak goreng.

Hampir semua sampel mengalami penurunan nilai viskositas pada kondisi ini. Namun nilai terkecil didapat pada saat pemberian katalis sebesar 1% pada kondisi suhu 65°C. Pada pengujian viskositas tersebut didapatkan grafik yang cukup fluktuatif bisa dilihat pada gambar 4.1. Hampir seluruh sampel pada penelitian ini mengalami penurunan nilai viskositas. Hal ini dikarenakan dalam proses pemisahan biodiesel dan katalis dengan metode vakum sehingga menyebabkan biodiesel yang telah selesai dibuat tidak mudah teroksidasi oleh lingkungannya. Pemisahan biodiesel dan katalis menggunakan metode vakum memakan waktu sekitar 15-30 menit sehingga biodiesel dan katalis dapat terpisahkan. Untuk memperpanjang umur dari biodiesel diperlukan penyimpanan khusus atau penambahan anti oksidan agar biodiesel tidak mudah teroksidasi oleh lingkungannya. Saat biodiesel teroksidasi menyebabkan ikatan antar molekul pada biodiesel menjadi lebih rapat. Dikatakan semakin rapat ikatan antar molekul maka semakin kental juga nilai viskositas yang dimiliki suatu cairan.

4.1.2 Densitas karbon Bambu

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perubahan nilai konsentrasi dan variasi suhu yang diberikan pada sampel penelitian bersifat tentatif. Namun jika dibandingkan dengan nilai densitas minyak goreng di awal, maka dapat disimpulkan seluruh sampel mengalami penurunan nilai densitas. Dapat dilihat pada grafik saat sampel dengan variabel suhu 60°C, 65°C, 70°C dan katalis 0, 5%, 1%, 1,5%, 2%, dan 2,5%. Grafik pada kondisi ini mengalami penurunan nilai densitas dibandingkan dengan densitas minyak goreng. Secara umum semakin banyak katalis yang diberikan saat reaksi transesterifikasi maka nilai densitas mengalami penurunan hanya saja tidak sampai signifikan. Hal ini disebabkan semakin banyak katalis maka semakin besar gaya gesek antar partikel-partikel sehingga mempercepat reaksi kimia fluida yang akhirnya menyebabkan semakin kecilnya nilai densitas (Astieningsih Mappapa & Prihatiningtyas, 2015).



Gambar 4. 2 Grafik hasil Pengukuran Densitas Karbon Bambu (sumber : dokumen pribadi)

Tabel 4. 2 Hasil perhitungan densitas karbon Bambu (sumber: dokumen pribadi)

densitas	0.5%	1%	1.5%	2%	2.5%
Bambu 60°C	0.929	0.927	0.928	0.928	0.928
Bambu 65°C	0.929	0.927	0.929	0.929	0.928
Bambu 70°C	0.929	0.927	0.929	0.929	0.928

Hasil yang mendekati nilai standar SNI biodiesel yaitu 0,928 gr/ml. Nilai ini mendekati nilai yang telah ditetapkan pada SNI 7182 : 2015. Nilai densitas dipengaruhi oleh kerapihan molekul penyusun minyak goreng. Semakin rapat dan rapih susunan molekul minyak goreng, maka semakin besar nilai densitas. Kesimpulan dari hasil pengujian nilai densitas minyak goreng mengalami penurunan setelah dilakukan proses transesterifikasi. Dapat dilihat pada gambar 4.2 penurunan densitas dari minyak goreng sawit ke biodiesel, hal ini dipengaruhi oleh kerapihan molekul yang terjadi akibat dari energi termal yang diberikan saat proses transesterifikasi. Penurunan densitas ini dipengaruhi oleh kerapitan tiap molekul penyusun biodiesel. Saat proses transesterifikasi terjadi energi termal, energi

mekanik dan energi adsorpsi dari katalis menyebabkan putusny rantai karbon penyusun minyak goreng. Hal ini menyebabkan tidak seimbangny atom-atom valensi oksigen pada biodiesel, biasanya atom valensi ini akan mengikat oksigen yang ada di lingkunganny untuk mencapai kesetimbangan, proses ini disebut oksidasi.

4.1.3 Viskositas Karbon Sekam Padi

Dengan adanya proses transesterifikasi, minyak sawit akan mengalami penurunan nilai viskositasny. Hal ini disebabkan oleh proses transesterifikasi yang memecah ikatan trigliserida menjadi gliserol dan ester. Ester memiliki struktur molekul yang lebih pendek dan ikatan hidrogen yang lebih lemah dibandingkan trigliserida. Akibatny, biodiesel memiliki sifat yang lebih cair dibandingkan minyak sawit.

Nilai viskositas mempengaruhi kekentalan dari biodiesel. Semakin besar nilai viskositas yang dimiliki oleh biodiesel maka semakin besar juga kekentalanny. Kekentalan biodiesel yang tinggi dapat mengganggu kinerja mesin diesel. Hal ini disebabkan oleh kekentalan biodiesel yang tinggi akan menyulitkan proses atomisasi bahan bakar di dalam ruang bakar mesin diesel. Atomisasi yang buruk akan menyebabkan pembakaran yang tidak sempurna, sehingga menurunkan daya mesin dan meningkatkan emisi gas buang.

Nilai viskositas yang ditetapkan mengacu pada ASTM D 445 dan batasan ukuran biodiesel SNI yaitu 2,3 Cst – 6,0 Cst. Batas nilai ini ditetapkan untuk memastikan bahwa biodiesel memiliki sifat yang sesuai dengan standar bahan bakar diesel. Melebihi batas nilai yang telah ditetapkan dapat mengganggu kinerja mesin diesel.

Berikut beberapa dampak negatif yang dapat terjadi jika nilai viskositas biodiesel melebihi batas yang telah ditetapkan:

1. Peningkatan konsumsi bahan bakar . Kekentalan biodiesel yang tinggi akan menyebabkan mesin diesel membutuhkan lebih banyak bahan bakar untuk menghasilkan daya yang sama.
2. Penurunan daya mesin . Kekentalan biodiesel yang tinggi akan menyulitkan proses atomisasi bahan bakar di dalam ruang bakar mesin

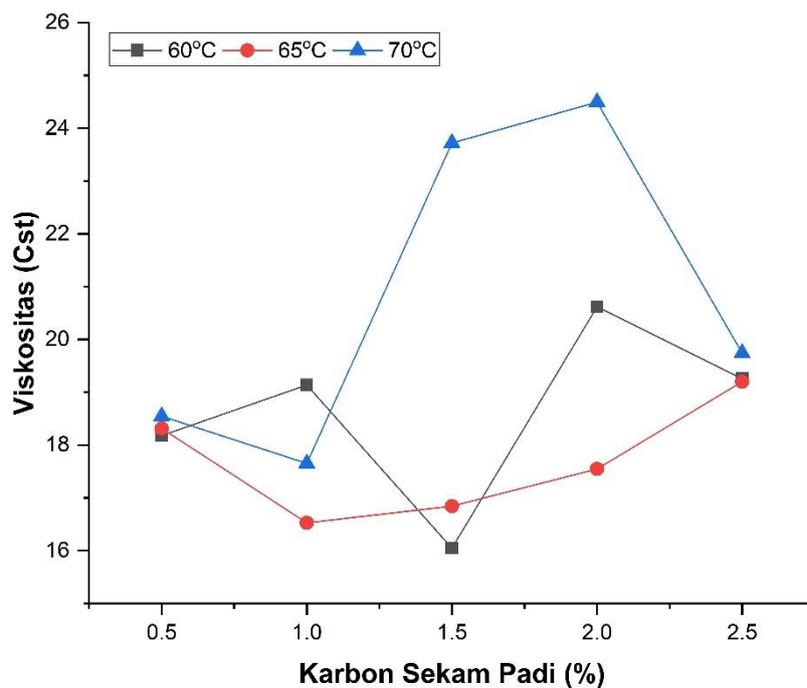
diesel. Atomisasi yang buruk akan menyebabkan pembakaran yang tidak sempurna, sehingga menurunkan daya mesin.

3. Peningkatan emisi gas buang . Pembakaran biodiesel dengan viskositas yang tinggi akan menghasilkan lebih banyak emisi gas buang, seperti karbon monoksida, hidrokarbon, dan nitrogen oksida.

Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa nilai viskositas biodiesel memenuhi standar yang telah ditetapkan. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan pengujian viskositas biodiesel sebelum digunakan.

Semakin tinggi nilai viskositas biodiesel menyebabkan meningkatnya kebutuhan energi yang dibutuhkan untuk pompa dan injeksi bahan bakar. Hal ini disebabkan oleh viskositas yang tinggi akan menyebabkan aliran bahan bakar menjadi lebih sulit. Akibatnya, pompa bahan bakar dan injektor harus bekerja lebih keras untuk memanaskan dan memasukkan bahan bakar ke dalam mesin.

Pengaruh penambahan konsentrasi katalis dan variasi suhu terhadap viskositas biodiesel dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut :



Gambar 4. 3 Grafik hasil Pengukuran Viskositas Karbon Sekam Padi (sumber : dokumen pribadi)

Tabel 4. 3 Hasil perhitungan karbon sekam padi (sumber: dokumen pribadi)

viskositas	0.5%	1%	1.5%	2%	2.5%
Sekam padi 60°C	17.033	17.92998	15.03631	19.31864	18.041
Sekam padi 65°C	17.163	15.48458	15.7812	16.4402	17.99
Sekam padi 70°C	17.377	16.53847	22.22445	22.94973	18.497

Efektifitas katalis dalam reaksi transesterifikasi terdapat pada pemberian katalis 1%. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa semakin banyak katalis yang digunakan maka reaksi akan berjalan lebih cepat hingga tercapai jumlah yang optimal (Sarin et al., 2020). Dengan penggunaan katalis yang berlebihan hanya akan meningkatkan biaya produksi biodiesel itu sendiri.

Selain konsentrasi katalis, suhu juga berpengaruh terhadap nilai viskositas biodiesel. Semakin tinggi suhu yang diberikan, maka tumbukan dalam cairan biodiesel semakin cepat sehingga proses pembentukan semakin cepat pula. Oleh karena itu, grafik yang dihasilkan mengalami penurunan viskositas minyak goreng. Hampir semua sampel mengalami penurunan nilai viskositas pada kondisi ini. Namun nilai terkecil didapat pada saat pemberian katalis sebesar 1% pada kondisi suhu 65°C.

Pada pengujian viskositas tersebut diperoleh grafik yang cukup fluktuatif. Hal ini disebabkan dalam proses pemisahan biodiesel dan katalis dengan metode vakum. Proses rincian biodiesel dan katalis menggunakan metode Vakum memakan waktu sekitar 15-30 menit sehingga biodiesel dan katalis dapat dipisahkan. Dalam proses ringkasan tersebut, biodiesel yang telah selesai dibuat tidak mudah teroksidasi oleh lingkungannya.

Untuk memperpanjang umur biodiesel diperlukan penyimpanan khusus atau penambahan anti oksidan agar biodiesel tidak mudah teroksidasi oleh lingkungannya. Saat biodiesel teroksidasi menyebabkan ikatan antar molekul pada biodiesel menjadi lebih rapat. Dikatakan semakin rapat ikatan antar molekul sehingga semakin kental juga nilai viskositas yang dimiliki suatu cairan.

4.1.4 Densitas Karbon Sekam Padi

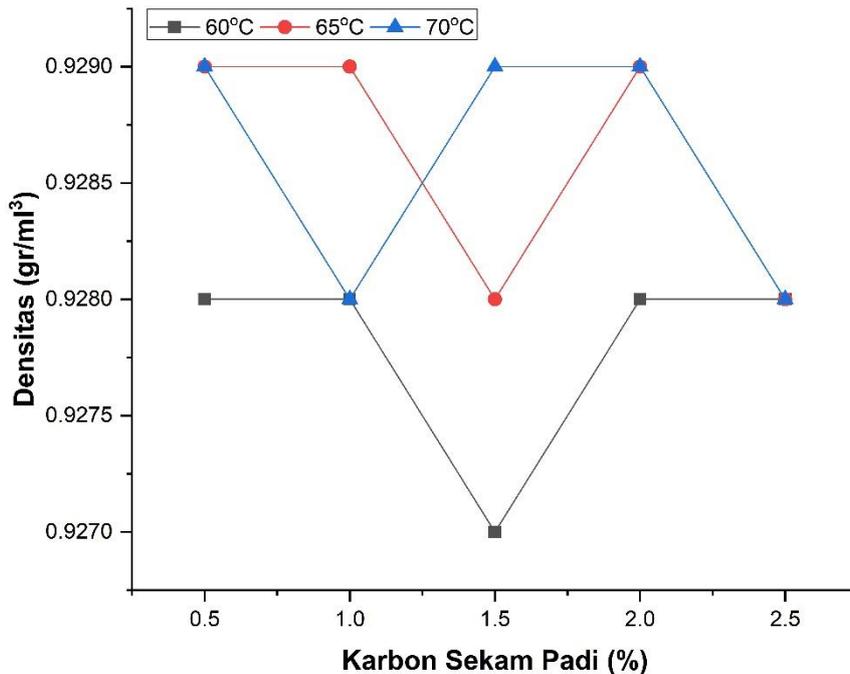
Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perubahan nilai konsentrasi dan variasi suhu yang diberikan pada sampel penelitian bersifat tentatif. Hal ini disebabkan nilai densitas biodiesel dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti konsentrasi katalis, suhu, dan waktu reaksi.

Namun jika dibandingkan dengan nilai densitas minyak sawit di awal, maka dapat disimpulkan seluruh sampel mengalami penurunan nilai densitas. Hal ini disebabkan oleh proses transesterifikasi yang memecah molekul trigliserida menjadi molekul ester dan gliserol. Molekul ester memiliki massa jenis yang lebih rendah dibandingkan molekul trigliserida.

Dapat dilihat pada grafik saat sampel dengan variabel suhu 60°C, 65°C, dan 70°C serta konsentrasi katalis 0, 5%, 1%, 1,5%, 2%, dan 2,5%. Grafik pada kondisi ini mengalami penurunan nilai densitas dibandingkan dengan densitas minyak goreng.

Secara umum, semakin banyak katalis yang diberikan saat reaksi transesterifikasi maka nilai densitas mengalami penurunan. Hal ini disebabkan semakin banyak katalis maka semakin besar gaya gesek antar partikel-partikel sehingga mempercepat reaksi kimia fluida yang akhirnya menyebabkan semakin kecilnya nilai densitas.

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat direkomendasikan penggunaan konsentrasi katalis 1% dan suhu 65°C untuk menghasilkan biodiesel dengan kepadatan yang optimal.



Gambar 4. 4 Grafik hasil Pengukuran Densitas Karbon Sekam Padi (sumber : dokumen pribadi)

Tabel 4. 4 Hasil perhitungan densitas karbon sekam padi (sumber: dokumen pribadi)

densitas	0.5%	1%	1.5%	2%	2.5%
Sekam padi 60°C	0.928	0.928	0.927	0.928	0.928
Sekam padi 65°C	0.929	0.929	0.928	0.929	0.928
Sekam padi 70°C	0.929	0.928	0.929	0.929	0.928

Hasil pengujian densitas biodiesel yang mendekati nilai standar SNI yaitu 0,928 gr/ml menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan memiliki sifat yang sesuai dengan standar bahan bakar solar bisa dilihat pada gambar 4.4. Nilai densitas biodiesel dipengaruhi oleh kerapihan molekul penyusunnya. Semakin rapat dan rapih susunan molekul biodiesel, maka semakin besar nilai kepadatannya.

Simpulan dari hasil pengujian nilai densitas minyak goreng mengalami penurunan setelah dilakukan proses transesterifikasi. Penurunan kepadatan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Putusnya rantai karbon penyusun minyak goreng: Proses transesterifikasi memecah molekul trigliserida menjadi molekul ester dan gliserol. Molekul ester memiliki massa jenis yang lebih rendah dibandingkan molekul trigliserida.
2. Peningkatan suhu: Suhu yang tinggi dapat meningkatkan energi kinetik molekul biodiesel, sehingga molekul biodiesel menjadi lebih mudah bergerak dan memiliki kepadatan yang lebih rendah.
3. Oksidasi biodiesel: Oksidasi biodiesel menyebabkan ikatan antar molekul pada biodiesel menjadi lebih rapat. Hal ini menyebabkan biodiesel menjadi lebih kental dan memiliki sifat yang kurang stabil.

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat direkomendasikan penggunaan konsentrasi katalis 1% dan suhu 65°C untuk menghasilkan biodiesel dengan kepadatan yang optimal.

4.2 Pembahasan Viskositas dan Densitas Biodiesel karbon Aktif Bambu dan Sekam Padi

4.2.1 Viskositas Bambu dan sekam padi

Viskositas biodiesel dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

1. Bahan baku: Minyak goreng memiliki viskositas yang tinggi, yaitu 26.5 Cst. Dengan adanya proses transesterifikasi, nilai viskositas minyak goreng akan mengalami penurunan.
2. Katalis: Katalis dapat mempercepat reaksi transesterifikasi, sehingga nilai viskositas biodiesel akan semakin rendah. Namun, penggunaan katalis yang berlebihan hanya akan meningkatkan biaya produksi biodiesel.
3. Suhu: Semakin tinggi suhu, maka tumbukan molekul akan semakin cepat, sehingga reaksi transesterifikasi akan semakin cepat dan nilai viskositas biodiesel akan semakin rendah.
4. Waktu reaksi: Semakin lama waktu reaksi, maka reaksi transesterifikasi akan semakin sempurna dan nilai viskositas biodiesel akan semakin rendah.

Pada penelitian tersebut, nilai viskositas biodiesel yang dihasilkan memenuhi standar SNI, yaitu 2,3 Cst - 6,0 Cst. Nilai viskositas biodiesel yang rendah akan memudahkan proses pemompaan dan injeksi bahan bakar ke mesin diesel.

Penurunan nilai viskositas biodiesel dapat disebabkan oleh proses pemisahan biodiesel dan katalis dengan metode vakum. Metode vakum dapat membantu mencegah oksidasi biodiesel, sehingga ikatan antar molekul biodiesel tidak menjadi lebih rapat dan nilai viskositas biodiesel tetap rendah.

Katalis dapat mempercepat reaksi transesterifikasi. Proses transesterifikasi adalah reaksi antara trigliserida (minyak) dan metanol untuk menghasilkan metil ester (biodiesel) dan gliserol. Reaksi ini berlangsung secara endotermik, yaitu membutuhkan panas. Selain itu, reaksi ini juga memiliki energi aktivasi yang tinggi, sehingga proses berlangsung dengan lambat.

Katalis dapat menurunkan energi aktivasi reaksi, sehingga reaksi akan berlangsung lebih cepat. Hal ini dikarenakan katalis dapat menyediakan jalur reaksi alternatif yang memiliki energi aktivasi yang lebih rendah.

Dengan adanya katalis, reaksi transesterifikasi akan berlangsung lebih cepat. Dengan demikian, nilai viskositas biodiesel akan semakin rendah.

Penggunaan katalis berlebih hanya akan meningkatkan biaya produksi biodiesel. Katalis yang ditambahkan ke dalam reaksi transesterifikasi akan terbawa oleh biodiesel. Oleh karena itu, penggunaan katalis yang berlebihan hanya akan meningkatkan biaya produksi biodiesel, tanpa memberikan manfaat yang berarti.

Semakin tinggi suhu maka tumbukan molekul akan semakin cepat, sehingga reaksi transesterifikasi akan semakin cepat dan nilai viskositas biodiesel akan semakin rendah.

Tumbukan molekul adalah salah satu faktor yang mempengaruhi laju reaksi. Tumbukan molekul yang lebih cepat akan meningkatkan peluang terjadinya reaksi transesterifikasi.

Semakin tinggi suhunya, maka tumbukan molekul akan semakin cepat. Dengan demikian, reaksi transesterifikasi akan berlangsung lebih cepat. Dengan demikian, nilai viskositas biodiesel akan semakin rendah.

Semakin lama waktu reaksi, maka reaksi transesterifikasi akan semakin sempurna dan nilai viskositas biodiesel akan semakin rendah.

Waktu reaksi juga mempengaruhi laju reaksi. Semakin lama waktu reaksi, maka semakin banyak trigliserida yang terkonversi menjadi metil ester.

Dengan demikian, nilai viskositas biodiesel akan semakin rendah. Proses klarifikasi biodiesel dan katalis dengan metode vakum dapat membantu mencegah oksidasi biodiesel.

Oksidasi biodiesel dapat menyebabkan ikatan antar molekul biodiesel menjadi lebih rapat, sehingga nilai viskositas biodiesel akan semakin tinggi.

Proses klarifikasi biodiesel dan katalis dengan metode vakum dapat membantu mencegah oksidasi biodiesel. Hal ini dikarenakan metode vakum dapat menghilangkan katalis dari biodiesel.

Dengan demikian, ikatan antar molekul biodiesel tidak akan menjadi lebih rapat dan nilai viskositas biodiesel tetap rendah.

4.2.2 Densitas Bambu dan Sekam Padi

Kepadatan biodiesel dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Bahan baku: Minyak goreng memiliki kepadatan yang tinggi, yaitu 0,928 gr/ml. Dengan adanya proses transesterifikasi, nilai densitas minyak goreng akan mengalami penurunan.
2. Katalis: Katalis dapat mempercepat reaksi transesterifikasi, sehingga nilai densitas biodiesel akan semakin rendah. Namun, penggunaan katalis yang berlebihan hanya akan meningkatkan biaya produksi biodiesel.
3. Suhu: Semakin tinggi suhu, maka tumbukan molekul akan semakin cepat, sehingga reaksi transesterifikasi akan semakin cepat dan nilai densitas biodiesel akan semakin rendah.
4. Waktu reaksi: Semakin lama waktu reaksi, maka reaksi transesterifikasi akan semakin sempurna dan nilai densitas biodiesel akan semakin rendah.
5. Oksidasi: Oksidasi biodiesel menyebabkan ikatan antar molekul pada biodiesel menjadi lebih rapat, sehingga nilai densitas biodiesel akan semakin tinggi.

Pada penelitian tersebut, nilai densitas biodiesel yang dihasilkan memenuhi standar SNI, yaitu 0,928 gr/ml. Nilai densitas biodiesel yang rendah akan memudahkan proses pemompaan dan injeksi bahan bakar ke mesin diesel.

Penurunan nilai densitas biodiesel dapat disebabkan oleh proses sinkronisasi biodiesel dan katalis dengan metode vakum. Metode vakum dapat membantu mencegah oksidasi biodiesel, sehingga ikatan antar molekul biodiesel tidak menjadi lebih rapat dan nilai densitas biodiesel tetap rendah.

Minyak goreng memiliki kepadatan yang tinggi, yaitu $0,928 \text{ gr/cm}^3$. Dengan adanya proses transesterifikasi, nilai densitas minyak goreng akan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh proses transesterifikasi yang memecah molekul trigliserida menjadi molekul ester dan gliserol. Molekul ester memiliki massa jenis yang lebih rendah dibandingkan molekul trigliserida.

Penurunan nilai densitas biodiesel dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu: Putusnya rantai karbon penyusun minyak goreng: Proses transesterifikasi memecah molekul trigliserida menjadi molekul ester dan gliserol. Molekul ester memiliki massa jenis yang lebih rendah dibandingkan molekul trigliserida. Peningkatan suhu: Suhu yang tinggi dapat meningkatkan energi kinetik molekul biodiesel, sehingga molekul biodiesel menjadi lebih mudah bergerak dan memiliki kepadatan yang lebih rendah. Oksidasi biodiesel: Oksidasi biodiesel menyebabkan ikatan antar molekul pada biodiesel menjadi lebih rapat. Hal ini menyebabkan biodiesel menjadi lebih kental dan memiliki sifat yang kurang stabil.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dapat direkomendasikan penggunaan konsentrasi katalis 1% dan suhu 65°C untuk menghasilkan biodiesel dengan kepadatan yang optimal. Hal ini disebabkan pada kondisi tersebut, reaksi transesterifikasi dapat berlangsung dengan cepat dan sempurna, sehingga nilai densitas biodiesel yang dihasilkan akan rendah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian sudah sesuai dengan tujuan penelitian yang dibuat, namun hasil penelitian belum optimal dan perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk menghasilkan biodiesel yang sesuai dengan standar. Pada penelitian biodiesel ini penulis menemukan beberapa kesimpulan yang didapat sehingga pada penelitian selanjutnya dapat dipelajari dan dikembangkan lagi, yaitu sebagai berikut :

1. Pembuatan katalis karbon dilakukan menggunakan metode impregnasi di dalam *furnace* dengan suhu 700°C selama 2 jam yang kemudian didiamkan selama 24 jam.
2. Pengaplikasian karbon aktif pada pembuatan biodiesel dilakukan saat proses transesterifikasi bersamaan dengan penambahan metanol ke dalam minyak sawit.
3. Hasil analisis akhir biodiesel memperoleh data densitas terkecil yaitu 0,928 gr/ml dan viskositas terkecil yaitu 18,17 Cst pada konsentrasi katalis 1% di suhu 65°C . Mengambil nilai yang terkecil karena untuk mendekati standar pembatasan pengukuran menurut SNI yaitu 2,3 Cst – 6,0 Cst.

5.2 Saran

Saran yang dapat penulis berikan adalah sebagai berikut :

1. Perlakuan untuk material dengan ukuran nano maupun mikro diperlukan penyimpanan khusus seperti ruang kedap udara agar katalis tidak teroksidasi, tidak terlalu terpapar cahaya dikarenakan intensitas cahaya dapat mempengaruhi kualitas dari katalis karbon aktif. Energi sekecil apapun dapat mempengaruhi kualitas dari katalis karbon aktif.
2. Pada saat proses *impregnasi* sekam padi menggunakan *furnace* diharapkan berhati-hati dan memperhatikan kondisi ruangan, dikarenakan suhu yang diatur pada *furnace* mencapai suhu 700°C .
3. Saat penumbukan katalis karbon aktif usahakan hasil penumbukan benar benar halus agar katalis karbon aktif mudah melewati saringan 200 mesh.

4. Berhati-hati saat melakukan proses transesterifikasi, karena temperatur yang dimainkan saat proses transesterifikasi lumayan tinggi.
5. Pada saat pemisahan biodiesel dari katalis karbon aktif sebaiknya menggunakan metode sentrifugasi, dikarenakan kurang efektifnya penggunaan vakum kertas saring dalam memisahkan biodiesel dari katalis karbon aktif.
6. Perhatikan pembuangan limbah hasil penelitian agar tidak mencemari lingkungan.
7. Penanganan dalam penyimpanan katalis sebagai subjek penelitian sangat perlu diperhatikan, selain itu hasil biodiesel yang telah diproduksi juga perlu campuran anti oksidan agar jangka waktu *expired* dari biodiesel bisa diperpanjang.



DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Reza Zulham (UNJ/PTM). (2022). *PEMBUATAN BIODIESEL MENGGUNAKAN KATALIS KARBON AKTIF SEKAM PADI*. Universitas Negeri Jakarta.
- Alagumalai, A., Mahian, O., Hollmann, F., & Zhang, W. (2021). Environmentally benign solid catalysts for sustainable biodiesel production: A critical review. *Science of the Total Environment*, 768, 144856. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144856>
- Du, L., Li, Z., Ding, S., Chen, C., Qu, S., Yi, W., Lu, J., & Ding, J. (2019). Synthesis and characterization of carbon-based MgO catalysts for biodiesel production from castor oil. *Fuel*, 258(June), 116122. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116122>
- Hamza, M., Ayoub, M., Shamsuddin, R. Bin, Mukhtar, A., Saqib, S., Zahid, I., Ameen, M., Ullah, S., Al-Sehemi, A. G., & Ibrahim, M. (2021). A review on the waste biomass derived catalysts for biodiesel production. *Environmental Technology and Innovation*, 21, 101200. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101200>
- Jayachandran, M., Kishore Babu, S., Maiyalagan, T., Rajadurai, N., & Vijayakumar, T. (2021). Activated carbon derived from Bambu-leaf with effect of various aqueous electrolytes as electrode material for supercapacitor applications. *Materials Letters*, 301(May), 130335. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.130335>
- Jume, B. H., Gabris, M. A., Rashidi Nodeh, H., Rezanah, S., & Cho, J. (2020). Biodiesel production from waste cooking oil using a novel heterogeneous catalyst based on graphene oxide doped metal oxide nanoparticles. *Renewable Energy*, 162, 2182–2189. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.046>
- Krishnasamy, A., & Bukkarapu, K. R. (2021). A comprehensive review of biodiesel property prediction models for combustion modeling studies. *Fuel*, 302(July), 121085. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121085>
- Mishra, S., Bukkarapu, K. R., & Krishnasamy, A. (2021). A composition based approach to predict density, viscosity and surface tension of biodiesel fuels.

- Fuel*, 285(August 2020), 119056. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119056>
- Mujtaba, M. A., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., Razzaq, L., Khan, H. M., Soudagar, M. E. M., Gul, M., Ahmed, W., Raju, V. D., Kumar, R., & Ong, H. C. (2021). Development of empirical correlations for density and viscosity estimation of ternary biodiesel blends. *Renewable Energy*, 179, 1447–1457. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.121>
- Nuraeni, N., Yun, Y. F., & Agustini, M. (2019). *Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Adsorben Karbon Aktif dan Pembuatan Triasetin dengan Katalis Asam Nitrat Biodiesel from Waste Cooking Oil using Activate Carbon as Adsorbent and Synthesis of Triacetin using Nitric Acid as Catalyst. 1*, 17–22.
- Perhimpunan, K., PertaPerhimpunan, K., Pertanian, T., Pertanian, F. T., Pertanian, J. K., & Pertanian, F. T. (n.d.). No Title.nian, T., Pertanian, F. T., Pertanian, J. K., & Pertanian, F. T. (n.d.). *No Title*.
- Rahardja, I. B., & Ramadhan, A. I. (2019). *Analisis Kalori Biodiesel Crude Palm Oil (CPO) dengan Katalis Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (ATKKS)*. 1–12.
- Sankaranarayanan, R., N., R. J. H., J., S. K., & Krolczyk, G. M. (2021). A comprehensive review on research developments of vegetable-oil based cutting fluids for sustainable machining challenges. *Journal of Manufacturing Processes*, 67(May), 286–313. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.05.002>
- Sarin, A., Sharma, N., Devgan, K., & Singh, M. (2020). Study of kinematic viscosity and density of biodiesels exposed to radiations. *Materials Today: Proceedings*, 46(xxxx), 5516–5522. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.257>
- Sriwijaya, P. N. (2021). *PEMBUATAN KATALIS BERBASIS KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA (Cocos nucifera) DIIMPREGNASI KOH PADA REAKSI TRANSESTERIFIKASI SINTESIS BIODIESEL CATALYST SHYNTESIS FROM ACTIVATED CARBON OF COCONUT SHELL (Cocos nucifera) IMPREGNATEDPOTASSIUM HYDROXIDE*. 12(01), 23–31.
- Wang, L., Zhao, M., Ma, H., Han, G., Yang, D., Chen, D., Zhang, Y., & Zhou, J. (2020). Extraction of SiO₂ from gasified rice husk carbon simultaneously rice

husk activated carbon production: Restudy on product properties, activation mechanism, and evolution law of pore structure. *Energy Reports*, 6, 3094–3103. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.031>

Yadav, A., Singh, Y., Singh, S., & Negi, P. (2021). Sustainability of vegetable oil based bio-diesel as dielectric fluid during EDM process - A review. *Materials Today: Proceedings*, 46(xxxx), 11155–11158. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.967>

Yulva Gemy, Sri Helianty, Y. (Universitas R. K. (2015). *PEMBUATAN BIODIESEL DARI SAWIT OFF GRADE DENGAN MENGGUNAKAN KATALIS ZnO KOMERSIAL PADA PROSES TRANSESTERIFIKASI*. 2, 1–8.

Zailan, Z., Tahir, M., Jusoh, M., & Zakaria, Z. Y. (2021). A review of sulfonic group bearing porous carbon catalyst for biodiesel production. *Renewable Energy*, 175, 430–452. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.030>



LAMPIRAN

Perhitungan sekam padi

NAMA SAMPEL	t (s)	ρ (g/ml)	t0 (s)	ρ_0 (g/ml)	η_0 (Pa.s)	t x ρ	t0 x ρ_0	η (Pa.s)	η (Cp)	η (Cst)
minyak goreng fortune	1028.3	0.937	33.75	1	0.00087	963.517	33.75	0.02485	24.8516	26.5225
(0.7g 60°C)	660.39	0.928	33.75	0.937	0.00087	612.842	31.6238	0.01687	16.8696	18.1784
(1.4g 60°C)	695.16	0.928	33.75	0.937	0.00087	645.108	31.6238	0.01776	17.7578	19.1355
(2.1g 60°C)	582.97	0.927	33.75	0.937	0.00087	540.413	31.6238	0.01488	14.8758	16.0473
(2.8g 60°C)	749	0.928	33.75	0.937	0.00087	695.072	31.6238	0.01913	19.1331	20.6176
(3.1g 60°C)	699.48	0.928	33.75	0.937	0.00087	649.117	31.6238	0.01787	17.8681	19.2544
(0.7g 65°C)	665.39	0.929	33.75	0.937	0.00087	618.147	31.6238	0.01702	17.0156	18.316
(1.4g 65°C)	600.35	0.929	33.75	0.937	0.00087	557.725	31.6238	0.01535	15.3524	16.5257
(2.1g 65°C)	611.85	0.928	33.75	0.937	0.00087	567.797	31.6238	0.01563	15.6296	16.8423
(2.8g 65°C)	637.4	0.929	33.75	0.937	0.00087	592.145	31.6238	0.0163	16.2998	17.5456
(3.1g 65°C)	697.48	0.928	33.75	0.937	0.00087	647.261	31.6238	0.01782	17.817	19.1994
(0.7g 70°C)	673.72	0.929	33.75	0.937	0.00087	625.886	31.6238	0.01723	17.2286	18.5453
(1.4g 70°C)	641.21	0.928	33.75	0.937	0.00087	595.043	31.6238	0.01638	16.3796	17.6504
(2.1g 70°C)	861.66	0.929	33.75	0.937	0.00087	800.482	31.6238	0.02203	22.0347	23.7187
(2.8g 70°C)	889.78	0.929	33.75	0.937	0.00087	826.606	31.6238	0.02275	22.7538	24.4928
(3.1g 70°C)	717.15	0.928	33.75	0.937	0.00087	665.515	31.6238	0.01832	18.3195	19.7408

Perhitungan bambu

NAMA SAMPEL	t (s)	ρ (g/ml)	t0 (s)	ρ_0 (g/ml)	η_0 (Pa.s)	t x ρ	t0 x ρ_0	η (Pa.s)	η (Cp)	η (Cst)
bambu (0.7g 65°C)	665.386	0.929	33.75	0.937	0.0008705	618.143594	31.62	0.017015503	17.0155025	18.31593
minyak goreng fortune	1028.3	0.937	33.75	1	0.0008705	963.5171	33.75	0.024851604	24.851604	26.52252
bambu (2.8g 65°C)	697.483	0.929	33.75	0.937	0.0008705	647.961707	31.62	0.017836299	17.8362992	19.19946
bambu (2.1g 65°C)	666.69	0.925	33.75	0.937	0.0008705	616.68825	31.62	0.016975442	16.9754416	18.35183
bambu (1.4g 65°C)	657.43	0.9276	33.75	0.937	0.0008705	609.832068	31.62	0.016786713	16.786713	18.09693
bambu (3.1g 65°C)	700.57	0.928	33.75	0.937	0.0008705	650.12896	31.62	0.017895957	17.8959567	19.28444
bambu (3.1g 60°C)	702.23	0.93	33.75	0.937	0.0008705	653.0739	31.62	0.017977021	17.9770214	19.33013
bambu (1.4g 60°C)	660.27	0.933	33.75	0.937	0.0008705	616.03191	31.62	0.016957375	16.9573747	18.17511
bambu (2.1g 60°C)	669.73	0.925	33.75	0.937	0.0008705	619.50025	31.62	0.017052847	17.0528469	18.43551
bambu (2.8g 60°C)	692.675	0.927	33.75	0.937	0.0008705	642.109725	31.62	0.017675213	17.675213	19.06711
bambu (0.7g 60°C)	667.487	0.926	33.75	0.937	0.0008705	618.092962	31.62	0.017014109	17.0141088	18.37377
bambu (2.8g 70°C)	710.89	0.929	33.75	0.937	0.0008705	660.41681	31.62	0.018179148	18.179148	19.56851
bambu (0.7g 70°C)	677.68	0.929	33.75	0.937	0.0008705	629.56472	31.62	0.017329889	17.3298894	18.65435
bambu (2.1g 70°C)	691.7	0.929	33.75	0.937	0.0008705	642.5893	31.62	0.017688414	17.6884141	19.04027
bambu (3.1g 70°C)	710.5	0.928	33.75	0.937	0.0008705	659.344	31.62	0.018149617	18.149617	19.55778
bambu (1.4g 70°C)	660.89	0.927	33.75	0.937	0.0008705	612.64503	31.62	0.016864145	16.8641448	18.19217