

**OPTIMASI MASSA KATALIS SILIKA-TITANIA TERHADAP MASSA
MINYAK SAWIT DAN MINYAK JELANTAH DALAM PEMBUATAN
BIODIESEL**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai Salah Satu Persyaratan guna Memperoleh Gelar
Sarjana Sains (S.Si)*



Oleh :

**ZURRYATI
NIM. 15036086/2015**

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2019**

PERSETUJUAN SKRIPSI

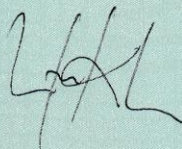
**Optimasi Massa Katalis Silika-Titania terhadap Massa Minyak Sawit dan
Minyak Jelantah dalam Pembuatan Biodiesel**

Nama : Zurryati
NIM/TM : 15056086/2015
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Mei 2019

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing



Umar Kalmar Nizar, S.Si, M.Si, Ph.D
NIP : 19770311 200312 1 003

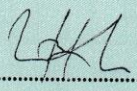
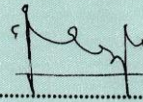
PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

*Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan di Depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang*

Judul Skripsi : Optimasi Massa Katalis Silika-Titania terhadap Minyak
Sawit dan Minyak Jelantah dalam Pembuatan Biodiesel
Nama : Zurryati
NIM/TM : 15036086/2015
Prodi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Mei 2019

Tim Penguji

No.	Jabatan	Nama	Tanda Tangan
1	Ketua	: Umar Kalmar Nizar, S.Si, M.Si, Ph.D	1..... 
2	Anggota	: Edi Nasra, S.Si, M.Si	2..... 
3	Anggota	: Dr. Desy Kurniawati, S.Pd, M.Si	3..... 

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Zurryati
NIM/BP : 15036086/2015
Tempat/Tanggal Lahir : Balai Gurah/ 01 Agustus 1997
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Alamat : Balai Gurah, Kec. Ampek Angkek, Kab. Agam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Optimasi Massa Katalis Silika-Titania terhadap Massa Minyak Sawit dan Minyak Jelantah dalam Pembuatan Biodiesel”** adalah benar merupakan hasil karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim. Apabila suatu saat nanti saya terbukti melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum negara yang berlaku, baik di Universitas Negeri Padang maupun masyarakat dan negara. Demikianlah Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, Mei 2019

Yang membuat pernyataan


Zurryati
NIM. 15036086

ABSTRAK

Zurriyati (2019) : **“Optimasi Massa Katalis Silika-Titania Terhadap Massa Minyak Sawit Dan Minyak Jelantah Dalam Pembuatan Biodiesel”**

Penelitian tentang pengaruh variasi massa katalis silika-titania terhadap produksi biodiesel dari minyak sawit dan minyak jelantah telah dilakukan. Katalis silika-titania disintesis dengan metode *solid state* dan dikarakterisasi dengan FTIR dan DR UV-Vis untuk mengetahui terbentuknya ikatan Si-O-Ti dari precursor Si dan Ti. Katalis silika-titania yang disintesis diaplikasikan dalam produksi biodiesel dengan variasi massa katalis terhadap minyak 1%, 3%, 5%, 7% dan 9%. Biodiesel disintesis melalui reaksi transesterifikasi antara minyak dan metanol dengan penambahan katalis. Minyak yang digunakan adalah minyak sawit dan minyak jelantah. Produk biodiesel yang dihasilkan di uji beberapa sifat fisiknya seperti densitas, laju alir dan bilangan asam. Hasil menunjukkan bahwa biodiesel dari minyak sawit memiliki massa katalis optimum sebesar 7%, sedangkan biodiesel dari minyak jelantah memiliki massa katalis optimum 1%. Persentase konversi yang diperoleh dengan minyak jelantah (%FFA = 1,33%) mencapai 91% sedangkan dengan minyak sawit (0,03%) kurang dari 50%. Hal ini membuktikan bahwa katalis silika-titania memiliki pusat aktif asam yang terbentuknya melalui ikatan Si-O-Ti.

Kata Kunci : Katalis silika-titania, biodiesel, titanium tetrahedral, transesterifikasi

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Optimasi Massa Katalis Silika-Titania Terhadap Massa Minyak Sawit dan Minyak Jelantah dalam Pembuatan Biodiesel”**. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas bimbingan, dorongan serta semangat kepada:

1. Bapak Umar Kalmar Nizar, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Pembimbing.
2. Bapak Drs. Bahrizal, M.Si sebagai Dosen Penasihat Akademik.
3. Bapak Edi Nasra, S.Si, M.Si sebagai Dosen Penguji.
4. Ibu Dr. Desy Kurniawati sebagai Dosen Penguji.
5. Bapak Dr. Mawardi, M. Si sebagai Ketua Jurusan Kimia FMIPA UNP
6. Bapak Hary Sanjaya, S. Si, M.Si sebagai Ketua Program Studi Kimia Jurusan Kimia FMIPA UNP.
7. Orang tua penulis yang telah memberikan semangat serta dukungan moril kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga rahmat dan kasih sayang Allah SWT selalu tercurah pada kita semua serta usaha dan kerja kita bernilai ibadah di hadapan Allah SWT, Amin Ya Rabbal ‘Alamin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan masukan dan saran dari pembaca agar proposal ini bermanfaat dikemudian harinya.

Padang, Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah	5
D. Rumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Biodiesel.....	8
1. Biodiesel dari Minyak Nabati	9
2. Katalis untuk Pembuatan Biodiesel	11
B. Katalis SiO ₂ – TiO ₂	17
C. Metoda Karakterisasi dan Analisis	19
1. FTIR.....	19
2. DR UV-Vis (Diffuse Reflectance Ultraviolet Visible)	20
D. Sifat-sifat Fisika Biodiesel.....	21
1. Densitas	22
2. Viskositas	22
3. Bilangan Asam	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
B. Variabel Penelitian	23
C. Bahan dan Alat yang Digunakan	23
1. Bahan	23
2. Alat.....	23
D. Prosedur Penelitian.....	24
1. Preparasi Katalis Silika-titania	24
2. Karakterisasi Katalis Silika-Titania	24

3. Aplikasi katalis Silika-Titania untuk pembuatan biodiesel	25
4. Karakterisasi dan Uji Sifat Fisika Biodiesel	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	43
A. Kesimpulan	43
B. Saran.....	43
REFERENSI	44
LAMPIRAN.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Reaksi Transesterifikasi.	8
2. 2 Spektra FTIR dari SiO ₂ , TiO ₂ , dan silika-titania	19
2. 3 Dekonvolusi dari spektrum DR UV-Vis SiO ₂ -TiO ₂	21
4. 1 Spektra FTIR SiO ₂ -TiO ₂	28
4. 2 Dekonvolusi spektra DR UV-Vis dari SiO ₂ -TiO ₂	29
4. 3 Spektra FTIR minyak sawit dan biodiesel yang dihasilkan menggunakan massa katalis optimum (7%).....	31
4. 4 Spektra FTIR minyak jelantah dan biodiesel yang dihasilkan menggunakan massa katalis optimum (1%).....	32
4. 5 Laju alir biodiesel yang dihasilkan dari minyak sawit.....	34
4. 6 Laju alir biodiesel yang dihasilkan dari minyak jelantah.....	35
4. 7 Densitas biodiesel yang dihasilkan dari minyak sawit.....	37
4. 8 Densitas biodiesel yang dihasilkan dari minyak jelantah	38
4. 9 Bilangan asam biodiesel yang dihasilkan dari minyak sawit.....	39
4. 10 Bilangan asam biodiesel yang dihasilkan dari minyak jelantah.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2. 1 Sifat fisika diesel dan biodiesel.....	9
2. 2 Perbandingan kondisi reaksi untuk berbagai macam katalis.....	13
2. 3 Keunggulan dan kelemahan katalis yang digunakan dalam transesterifikasi.	15
4.1 Puncak-puncak serapan utama dari minyak sumber dan biodiesel yang dihasilkan.....	33
4. 2 Persen FFA dan konversi dari minyak sawit ke biodiesel	40
4. 3 Persen FFA dan konversi biodiesel dari minyak jelantah.....	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Preparasi katalis Silika-titania.....	47
2. Aplikasi katalis silika-titania pada pembuatan biodiesel	48
3. Karakterisasi sifat fisika biodiesel	50
4. Penentuan bilangan asam biodiesel.....	52
5. Spektrum FTIR katalis silika-titania	53
6. Spektrum DR UV-Vis katalis silika-titania.....	54
7. Spektrum FTIR minyak sawit	55
8. Spektrum FTIR biodiesel dari minyak sawit (7% katalis).....	56
9. Spektrum FTIR minyak jelantah.....	57
10. Spektrum FTIR biodiesel dari minyak jelantah (1% katalis).....	58
11. Perhitungan sifat fisika biodiesel	59
12. Perhitungan bilangan asam, FFA dan persen konversi biodiesel.....	64
13. Dokumentasi penelitian.....	70

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Saat ini kebutuhan energi didunia semakin meningkat sedangkan cadangan bahan bakar fosil semakin berkurang. Bahan bakar alternatif dianggap dapat menanggulangi hal ini karena bahan bakar alternatif dapat diperbaharui dan ramah lingkungan. Salah satu bahan bakar alternatif yang populer adalah biodiesel yaitu bahan bakar yang bersumber dari minyak nabati (Rathore, Newalkar, & Badoni, 2016).

Penggunaan langsung minyak nabati sebagai alternatif untuk solar pernah dilakukan dan dilaporkan karena sifatnya yang mudah diangkut, energi panas (80% lebih tinggi dari bahan bakar diesel), ketersediaannya, dan dapat diperbaharui. Namun, minyak nabati memiliki kelemahan, yaitu viskositas tinggi, volatilitas yang lebih rendah dan keberadaan hidrokarbon tak jenuh. Oleh karena itu, berbagai cara telah dilaporkan untuk mengubah atau mengkonversi minyak nabati menjadi bahan bakar. Cara tersebut antara lain (a) pengenceran, (b) mikro-emulsi, (c) pirolisis, dan (d) transesterifikasi. Dari semua cara tersebut, transesterifikasi minyak nabati dengan metanol mengarah ke bentuk asam lemak metil ester (biodiesel) dan mempunyai sifat fisika serupa dengan bahan bakar solar(Rathore et al., 2016).

Pemilihan minyak sawit sebagai sumber energi alternatif di Indonesia sangat tepat, karena Indonesia merupakan negara yang memiliki tanaman sawit yang luas. Selain itu, masa hidup kelapa sawit sangat lama yaitu sampai 25 tahun.

Oleh karena itu, bila ditinjau dari ketersediaan bahan baku, minyak sawit merupakan salah satu sumber bahan baku yang sangat berpotensi untuk dikembangkan menjadi biodiesel (U. K. Nizar et al., 2018).

Minyak jelantah juga berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan dasar pembuatan biodiesel. Hal ini disebabkan karena minyak jelantah mudah diperoleh dari rumah tangga, hotel, dan industri-industri makanan. Selain itu, penggunaan minyak jelantah sebagai bahan pembuatan biodiesel membutuhkan biaya yang relative murah dan dapat mengatasi pencemaran lingkungan. Minyak sawit dan minyak jelantah memiliki potensi masing-masing untuk dikembangkan menjadi biodiesel tergantung katalis yang digunakan (García-Martín, Barrios, Alés-Álvarez, Dominguez-Sáez, & Alvarez-Mateos, 2018).

Biodiesel dapat dihasilkan melalui reaksi transesterifikasi antara minyak kelapa sawit dan alkohol rantai pendek dengan penambahan suatu katalis. Alkohol rantai pendek yang biasa digunakan adalah metanol dan etanol. Penggunaan metanol lebih luas digunakan untuk proses transesterifikasi karena memiliki berat molekul paling rendah sehingga kebutuhannya untuk proses transesterifikasi relatif sedikit dan lebih stabil. Selain itu, daya reaksinya lebih tinggi jika dibandingkan dengan etanol (Lee, Bennett, Manayil, Wilson, & Lee, 2014).

Secara umum, katalis yang digunakan dalam pembuatan biodiesel terdiri dari katalis homogen dan heterogen. Kelemahan utama dari katalis homogen adalah proses pemisahan katalis dari produknya yang cukup rumit karena katalis dan produk yang dihasilkan memiliki fase yang sama. Selain itu, kelemahan katalis homogen lainnya adalah terbentuknya produk samping berupa sabun, dan

menurunkan persentase biodiesel yang dihasilkan, serta memperbanyak konsumsi katalis (Guldhe, Singh, Ansari, Singh, & Bux, 2017).

Berbagai upaya telah dilaporkan untuk mengatasi kelemahan dari katalis homogen dalam pembuatan biodiesel. Salah satunya adalah dengan mengganti katalis homogen dengan katalis heterogen. Katalis heterogen merupakan katalis yang memiliki fasa yang berbeda dengan produk dan reaktan. Beberapa kelebihan dari katalis heterogen adalah proses pemisahan katalis heterogen dari produknya mudah dan sederhana sehingga biaya produksi lebih ekonomis (Mguni, Liberty Lungisani, 2012).

Katalis silika titania merupakan salah satu katalis yang memiliki aplikasi yang luas seperti fotokatalis, katalis, pengolahan limbah cair, dan lain-lain. Katalis ini merupakan suatu komposit dimana silika bertindak sebagai pendukung dan templet sedangkan titania bertindak sebagai pusat katalitik. Sifat-sifat silika titania lebih baik daripada titania murni karena titania murni memiliki luas permukaan yang rendah dan kestabilan termal yang rendah

Penggunaan silika-titania sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel belum banyak dilaporkan. Salah satu silika-titania yang telah dilaporkan sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel adalah silika-titania yang disubstitusi dengan gugus sulfat pada reaksi minyak jelantah dengan metanol. Gugus sulfat disubstitusikan ke permukaan silika-titania untuk meningkatkan aktifitas katalitiknya. Akan tetapi tidak dijelaskan apakah gugus sulfat tetap stabil atau lepas selama reaksi akibat kontak dengan metanol. Jika gugus sulfat lepas selama

reaksi maka perlu pemisahan seperti produk dari katalis homogen (Shao et al., 2013).

Penggunaan katalis silika titania dengan *framework* titanium tetrahedral yang disintesis dengan metoda solid state untuk pembuatan biodiesel telah dilaporkan dalam grup riset ini. Penelitian memiliki fokus pada pengaruh fraksi titanium tetrahedral dalam silika titania terhadap sifat biodiesel yang dihasilkan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sifat-sifat fisika biodiesel dipengaruhi oleh fraksi titanium dalam koordinasi tetrahedral. Namun demikian, belum dilaporkan pengaruh variasi massa katalis dalam produksi biodiesel dan persentase biodiesel yang dihasilkan.

Setiap katalis yang digunakan dalam pembuatan biodiesel memiliki massa optimum tergantung sumber minyak yang digunakan. Pembuatan biodiesel dari minyak sawit menggunakan katalis dari kulit telur memiliki perbandingan minyak dan katalis sebesar 1:10 dengan persentase produk sebanyak 94,1%. Sedangkan penggunaan minyak kedelai dan katalis yang sama memiliki perbandingan 1:3 dengan produk sebanyak 95%. Selain itu, penggunaan minyak kedelai dan katalis dari kulit tiram memiliki perbandingan minyak dan katalis sebesar 1:25 menghasilkan produk biodiesel sebanyak 95% (Talha & Sulaiman, 2016). Oleh karena itu, variasi massa katalis perlu dilakukan untuk memperoleh massa optimum dalam menghasilkan biodiesel.

Berdasarkan uraian diatas, dalam penelitian ini akan dipelajari pengaruh variasi massa katalis silika-titania terhadap sifat-sifat fisika dan persentase biodiesel yang dihasilkan dari minyak sawit dan minyak jelantah. Katalis silika-

titania yang akan digunakan disintesis dengan prekursor SiO_2 dan TiO_2 komersial menggunakan metoda solid-state.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bahan bakar yang berasal dari fosil tidak dapat diperbaharui sehingga ketersediaannya semakin berkurang, maka dibutuhkan bahan bakar alternatif yang dapat diperbarui. Biodiesel merupakan bahan bakardari sumber yang terbarukan sehingga dapat digunakan sebagai salah satu pengganti bahan bakar fosil untuk mesin disel.
2. Minyak sawit dan minyak jelantah merupakan sumber minyak yang menjanjikan untuk dikembangkan di Indonesia, tergantung dari katalis yang digunakan.
3. Katalis merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi produk biodiesel yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan optimasi massa katalis yang digunakan.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Katalis silika-titania disintesis menggunakan metode solid-state dengan suhu kalsinasi 450^0C selama 8 jam dan perbandingan mol SiO_2 dengan TiO_2 adalah 1:0,5 mol.
2. Karakterisasi sifat fisika katalis silika-titania menggunakan FTIR dan DR UV-Vis

3. Sumber minyak yang digunakan dalam pembuatan biodiesel adalah minyak sawit dan minyak jelantah.
4. Variasi massa katalis silika-titania yang digunakan dalam aplikasi pembuatan biodiesel menggunakan minyak sawit dan minyak jelantah adalah 1%, 3%, 5%, 7% dan 9%.
5. Analisis biodiesel yang akan dihasilkan meliputi sifat-sifat fisika (densitas, viskositas, dan bilangan asam) dan persentase biodiesel dengan kromatografi gas.

D. Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah pengaruh optimasi massa katalis silika-titania terhadap persentase biodiesel yang dihasilkan dari minyak sawit dan minyak jelantah?
2. Bagaimanakah karakteristik sifat-sifat fisika produk biodiesel yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi minyak sawit dan minyak jelantah menggunakan katalis silika-titania pada variasi massa 1%, 3%, 5%, 7% dan 9%?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari Penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan massa optimum katalis silika-titania yang digunakan dalam pembuatan biodiesel dari minyak sawit dan minyak jelantah.
2. Menentukan sifat-sifat fisika dari produk biodiesel yang dihasilkan dari minyak sawit dan minyak jelantah dengan metanol menggunakan katalis silika-titania pada variasi massa 1%, 3%, 5%, 7% dan 9%.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

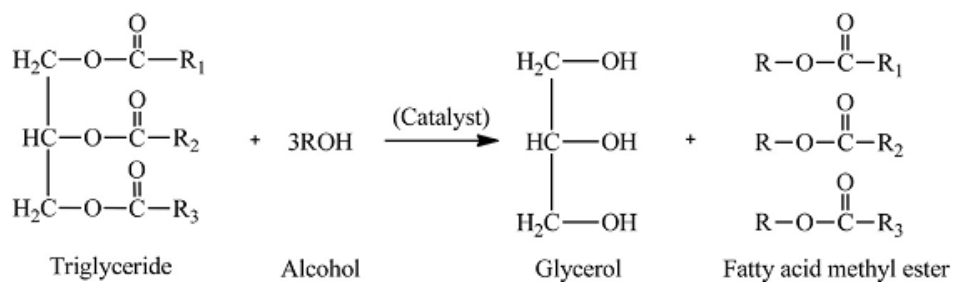
1. Memberikan informasi tentang massa optimum katalis silika-titania yang digunakan dalam pembuatan biodiesel dari minyak sawit dan minyak jelantah.
2. Memberikan informasi tentang sifat fisika produk biodiesel yang dihasilkan dari minyak sawit dan minyak jelantah menggunakan katalis silika-titania dengan massa katalis yang divariasikan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Biodiesel

Biodiesel merupakan salah satu sumber energi alternatif terbarukan yang berasal dari sumber minyak terbarukan seperti minyak hewani, minyak nabati, atau minyak sisa penggorengan yang mempunyai sifat yang mirip dengan bahan bakar minyak bumi (Gebremariam & Marchetti, 2018). Biodiesel dihasilkan melalui reaksi transesterifikasi, yaitu reaksi antara trigliserida dengan alkohol sehingga menghasilkan alkil ester (biodiesel) dan gliserol sebagai hasil sampingan. Trigliserida yang digunakan dalam reaksi ini berasal dari minyak nabati (Knothe & Razon, 2017). Berikut reaksi transesterifikasi.



Gambar 2. 1 Reaksi Transesterifikasi (Endut et al., 2017).

Minyak nabati dan hewani memiliki viskositas yang tinggi, maka nilai viskositas tersebut harus diturunkan agar dapat dijadikan sebagai sumber biodiesel. Metode yang dapat digunakan untuk menurunkan viskositas minyak nabati dan hewani antara lain dicampurkan dengan biodiesel, pirolisis, mikroemusifikasi, dan transesterifikasi. Metode yang umum digunakan untuk pembuatan biodiesel adalah transesterifikasi (Thanh, Okitsu, Boi, & Maeda, 2012).

Biodiesel memiliki beberapa kelebihan, yaitu aman, tidak beracun, dapat terbiodegradasi, tidak mengandung sulfur, sedikit menghasilkan karbon monoksida, mempunyai titik nyala yang tinggi, dan ramah lingkungan (Gebremariam, S. N., J. M. Marchetti, 2018). Selain itu, produksi biodiesel juga memberikan beberapa manfaat untuk masyarakat, antara lain revitalisasi untuk pedesaan, terciptanya lapangan pekerjaan, dan kurangnya pemanasan global (Kiss, 2014).

Biodiesel memiliki kemiripan sifat dengan bahan bakar minyak bumi. Hal ini menyebabkan biodiesel dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak bumi. Beberapa sifat fisika biodiesel dan bahan bakar minyak bumi dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 1 Sifat fisika diesel dan biodiesel (Kiss, 2014).

Sifat bahan bakar	Diesel	Biodiesel
Bahan bakar standar	ASTM D975	ASTM D6751
Komposisi bahan bakar	C ₁₀ -C ₂₁ HC	C ₁₂ -C ₂₂ FAME
Kinetik viskositas, mm ² /s (40°C)	1,3-4,1	1,9-6,0
Densitas (kg/l)	0,85	0.88
Titik didih (°C)	188-343	182-338
Titik nyala (°C)	60-80	100-170
Titik kabut (°C)	-15 sampai 5	-3 sampai 12
Nomor setana	40-55	48-65

1. Biodiesel dari Minyak Nabati

Biodiesel telah diproduksi dari beberapa sumber minyak terbarukan seperti minyak kedelai, minyak sawit, dan minyak biji bunga matahari. Minyak sawit telah digunakan sebagai sumber biodiesel. Biodiesel yang dihasilkan dari minyak ini adalah sebanyak 94,1% dengan menggunakan katalis kulit telur. Reaksi transesterifikasi untuk menghasilkan biodiesel ini berlangsung selama 2 jam pada

suhu 60°C . Alkohol yang digunakan adalah metanol dengan perbandingan 15:1 dengan minyak. Katalis yang digunakan adalah sebesar 10% (Talha & Sulaiman, 2016).

Minyak jelantah juga berpotensi dijadikan sebagai sumber pembuatan biodiesel. Ketersediaan minyak jelantah sangat banyak, contohnya dari limbah rumah tangga, restoran, hotel, dan industri-industri makanan. Penggunaan minyak jelantah dalam pembuatan biodiesel juga dapat mengurangi pencemaran lingkungan (Sahar et al., 2018). Biodiesel telah pernah diproduksi dari minyak jelantah dengan persentase produk sebanyak 99,58% dengan perbandingan minyak dan alkohol sebesar 6,03 : 1. Reaksi berlangsung selama 7 jam pada suhu 60°C (Talha & Sulaiman, 2016).

Minyak kedelai telah digunakan sebagai sumber biodiesel dengan hasil yang didapatkan adalah biodiesel sebanyak 96,5%. Reaksi transesterifikasi untuk menghasilkan biodiesel ini dibantu dengan katalis dari kulit tiram. Reaksi ini menggunakan metanol sebagai alkohol dengan perbandingan metanol dengan minyak kedelai sebesar 6 : 1. Reaksi ini berlangsung selama 5 jam pada suhu 65°C dengan massa katalis sebanyak 25% (Talha & Sulaiman, 2016).

Biodiesel yang bersumber dari minyak kedelai dapat menghasilkan biodiesel sebanyak 95% dengan reaksi transesterifikasi selama 3 jam pada suhu 65°C . Perbandingan metanol dengan minyak kedelai yang digunakan adalah sebesar 9 : 1, dan massa katalis sebanyak 3% (Talha and Sulaiman, 2016).

2. Katalis untuk Pembuatan Biodiesel

Secara umum, ada tiga jenis katalis yang digunakan untuk memproduksi biodiesel, yaitu alkalis homogen, heterogen, dan enzim. Katalis homogen dan heterogen lebih disukai dalam pembuatan biodiesel dibandingkan dengan katalis enzim, karena katalis enzim membutuhkan waktu reaksi yang lama dan biaya yang mahal. Katalis homogen dan heterogen terbagi atas katalis asam dan basa (Talha & Sulaiman, 2016).

Katalis yang biasa digunakan untuk produksi biodiesel adalah katalis basa homogen seperti NaOH, KOH, NaOCH₃, KOCH₃. Kelebihan dari katalis basa homogen antara lain dapat mengkatalis suatu reaksi pada suhu rendah dan tekanan atmosfer, konversi yang besar dalam waktu yang singkat, dan lebih ekonomis. Katalis basa lebih umum digunakan dalam produksi biodiesel komersial karena tidak terbentuk air selama reaksi transesterifikasi (Talha & Sulaiman, 2016). Beberapa kelemahan dari katalis homogen adalah membutuhkan tahap penetralan yang lebih banyak, proses pemurnian yang lama, dan menghasilkan limbah cair (Guldhe et al., 2017).

Minyak yang mempunyai kandungan FFA yang tinggi tidak dapat dikonversi menjadi biodiesel menggunakan katalis basa. Hal ini disebabkan oleh FFA akan menghasilkan sabun yang dapat menghambat pemisahan ester, gliserin, limbah ketika bereaksi dengan katalis basa. Oleh karena itu, katalis asam cair dianggap dapat mengatasi kelemahan yang dapat ditimbulkan oleh katalis basa cair dalam reaksi transesterifikasi. Asam yang sering digunakan sebagai katalis dalam transesterifikasi adalah asam sulfat, asam sulfonat, asam klorida, dan asam sulfonat organik (Talha & Sulaiman, 2016).

Beberapa penelitian tentang katalis heterogen telah dilakukan untuk mengatasi kelemahan dari katalis homogen dalam produksi biodiesel. Katalis heterogen mempunyai beberapa kelebihan dalam mengkonversi minyak menjadi biodiesel, yaitu proses pemisahannya dengan produk lebih mudah dan katalis tersebut dapat digunakan kembali sehingga dapat mengurangi limbah (Guldhe et al., 2017).

Katalis basa heterogen lebih aktif dibandingkan dengan katalis asam heterogen. Katalis basa padat, contohnya CaO mempunyai beberapa kelebihan, antara lain aktivitas yang lebih tinggi dan masa hidup katalis yang lama. Meskipun demikian, CaO sebagai katalis juga dapat menurunkan laju reaksi dalam produksi biodiesel. Reaksi antara CaO dengan gliserol juga dapat melepaskan kalsium digliseroksida selama transesterifikasi sehingga perlu suatu langkah pemurnian seperti resin pertukaran ion untuk menghilangkan kandungan yang terlarut dalam biodiesel.

Banyak literatur yang melaporkan bahwa katalis basa heterogen menggunakan suhu reaksi yang lebih rendah, yaitu dibawah 65°C . Suhu diatas 70°C akan menyebabkan hasil yang didapatkan rendah, karena metanol akan menguap pada suhu 65°C . Selanjutnya, transesterifikasi dengan katalis basa terbukti memiliki laju reaksi yang lebih tinggi dibandingkan transesterifikasi dengan katalis asam karena katalis asam membutuhkan kondisi reaksi yang lebih besar seperti suhu yang tinggi selama transesterifikasi.

Katalis asam homogen memiliki masalah terhadap kontaminasi dari zat lain sehingga membutuhkan pemisahan dan proses pemurnian yang bagus. Hal ini

akan menyebabkan biaya produksi yang tinggi. Oleh sebab itu, katalis asam heterogen dilaporkan dapat menjadi alternatif untuk menggantikan katalis asam homogen. Beberapa kelebihan dari katalis asam heterogen yaitu tidak sensitif terhadap kandungan FFA, dapat mengalami esterifikasi dan transesterifikasi secara bersamaan, proses pemisahan katalis dengan produk lebih sederhana, katalis dapat digunakan kembali, dan dapat mengurangi masalah korosi (Talha & Sulaiman, 2016).

Setiap produk biodiesel yang dihasilkan memiliki persentase yang berbeda, hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu jenis dan jumlah dari katalis, minyak dan alkohol yang digunakan, suhu, dan waktu reaksi. Berikut adalah tabel perbandingan kondisi reaksi untuk berbagai macam katalis dengan hasil biodiesel yang didapatkan.

Tabel 2. 2 Perbandingan kondisi reaksi untuk berbagai macam katalis (Talha & Sulaiman, 2016).

Katalis		Kondisi reaksi					% Hasil Biodiesel
	Suhu (°C)	Jenis alkohol	Jenis minyak	Alkohol : minyak	% Katalis	Waktu Reaksi (jam)	
Katalis Basa Homogen							
Natrium Hidroksida (NaOH)	40	Etanol	Minyak kedelai	9 : 1	1,3	1,33	95%
Natrium Hidroksida (NaOH)	55	Metanol	Minyak kedelai bekas penggorengan	3 : 1	0,5	2	68,5%
Natrium Hidroksida (NaOH)	60	Metanol	Minyak rapa	475 : 1	0,1	1	88,8%
Kalium Hidroksida (KOH)	60	Metanol	Minyak biji <i>Pongamia pinnata</i>	4 : 1	0,1	1	98,5%
Kalium Hidroksida	50	Metanol	Minyak biji jarak	6 : 1	0,075	5	87%

Katalis	Kondisi reaksi						% Hasil Biodiesel
	Suhu (°C)	Jenis alkohol	Jenis minyak	Alkohol : minyak	% Katalis	Waktu Reaksi (jam)	
Kalium Hidroksida (KOH)	55	Metanol	<i>Calophyllum inophyllum</i>	9 : 1	1	1	98,53%
Natrium metoksida (NaOCH ₃)	50	Metanol	Minyak biji <i>Sesamum indicum L</i>	6 : 1	0,75	0,5	87,8%
Katalis Basa Heterogen							
Tulang	60	Metanol	- Minyak rapa - minyak kacang	20 : 1	18	4	- 96% - 94%
Sekam padi	65	Metanol	Minyak kedelai	24 : 1	4	3	99,5%
Cangkang siput	60	Metanol	Minyak bekas penggorengan	6,03 : 1	2	7	99,58%
- Kulit telur - Cangkang siput - Cangkang venus	65	Metanol	-Minyak sawit olein -Minyak sawit olein -Minyak sawit olein	15 : 1	10	2	- 94,1% - 93,2% - 92,3%
Minyak sayur asphalt	220	Metanol	Minyak sayur	16,8 : 1	0,2	4,5	94,8%
Kulit tiram	65	Metanol	Minyak kedelai	6 : 1	25	5	96,5%
Kulit telur	65	Metanol	Minyak kedelai	9 : 1	3	3	95%
Katalis Asam Homogen							
Asam klorida (HCl)	100	Metanol	Minyak bunga matahari			1	95,2%
Asam sulfat (H ₂ SO ₄)	120	Metanol	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	40 : 1	0,5	3	92,5%
Asam sulfat (H ₂ SO ₄)	50	Metanol	Minyak sayur dengan produk	6 : 1	3	1	>90%

Katalis		Kondisi reaksi					% Hasil Biodiesel
	Suhu (°C)	Jenis alkohol	Jenis minyak	Alkohol : minyak	% Katalis	Waktu Reaksi (jam)	
	Katalis Asam Heterogen						
Titanium doped amorphous zirconia	245	Metanol	Minyak biji rapa	40 : 1	0,5	-	65%
Sulfated zirconia	65	Metanol	Minyak neem	9 : 1	1	2	95%
Carbon-based solid acid catalyst	220	Metanol	Minyak sayur bekas	16,8 : 1	0,2	4,5	94,8%
	Katalis Enzim						
Lipase	52,1	Metanol	Minyak kedelai	4 : 1		-	83,31%

Beberapa tipe katalis yang digunakan pada reaksi transesterifikasi dalam pembuatan biodiesel memiliki keunggulan dan kelemahan yang dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut.

Tabel 2. 3 Keunggulan dan kelemahan katalis yang digunakan dalam transesterifikasi (Talha & Sulaiman, 2016).

Tipe katalis	Keunggulan	Kelemahan
Katalis basa homogen	- Tidak membentuk air selama reaksi transesterifikasi - Laju reaksi transesterifikasi 4000 kali lebih cepat daripada katalis asam - Reaksi dapat terjadi pada kondisi yang ringan, sehingga membutuhkan energi yang lebih sedikit	- Sensitif terhadap kandungan FFA dalam minyak - Dapat terjadi saponifikasi jika kandungan FFA lebih dari 2% - Saponifikasi dapat mengurangi biodiesel yang dihasilkan dan menyebabkan beberapa masalah selama pemurnian - Menghasilkan banyak limbah pada proses pemurnian

Tipe katalis	Keunggulan	Kelemahan
Katalis basa heterogen	- Dapat digunakan kembali - Mudah dipisahkan dengan produk - Laju reaksi lebih cepat dibandingkan dengan transesterifikasi dengan katalis asam - Reaksi dapat terjadi pada kondisi yang ringan, sehingga membutuhkan energi yang lebih sedikit - masa hidup katalis yang panjang	- Sensitif terhadap kandungan FFA dalam minyak karena sifat kebasaannya - Dapat terjadi saponifikasi jika kandungan FFA lebih dari 2% - Saponifikasi dapat mengurangi biodiesel yang dihasilkan - Perbandingan molar alkohol terhadap minyak lebih tinggi
Katalis asam homogen	- Tidak sensitif terhadap kandungan FFA dan air dalam minyak - Esterifikasi dan transesterifikasi terjadi secara bersamaan - Saponifikasi dapat dihindari - Menghasilkan produk biodiesel yang tinggi	- Laju reaksi rendah - Dapat menyebabkan korosi - Katalis dan produk sulit dipisahkan
Katalis asam heterogen	- Tidak sensitif terhadap kandungan FFA dan air dalam minyak - Esterifikasi dan transesterifikasi terjadi secara bersamaan - Pemisahan katalis dengan produk mudah - Kemungkinan besar dapat digunakan kembali	- Laju reaksi rendah - Reaksi samping yang tidak menguntungkan - Biaya yang tinggi - Kondisi reaksi yang tinggi dan waktu reaksi lama - Lebih banyak membutuhkan energi
Katalis enzim	- Mencegah penyabunan - Hanya diperlukan langkah pemurnian yang sederhana - Ramah lingkungan	- Laju reaksi sangat lambat - Biaya yang tinggi

Keunggulan dan kelemahan beberapa katalis yang digunakan dalam transesterifikasi terdapat dalam tabel 2.3. Katalis basa dan asam lebih sering digunakan dalam transesterifikasi. Katalis ini terdiri dari katalis homogen dan heterogen. Katalis basa homogen digunakan dalam transesterifikasi karena membutuhkan biaya yang rendah. Hal ini disebabkan karena reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa homogen dapat terjadi pada suhu dan tekanan yang rendah dengan hasil yang tinggi. Disamping itu, katalis basa heterogen lebih disukai karena proses pemisahannya lebih mudah. Namun, katalis asam digunakan karena dapat menghindari saponifikasi dan katalis ini tidak sensitif terhadap kandungan FFA. Penggunaan katalis asam homogen merupakan cara yang efektif, namun katalis ini menyebabkan masalah kontaminasi sehingga dibutuhkan proses pemisahan dan pemurnian produk yang bagus. Katalis asam heterogen dapat digunakan untuk mengatasi masalah tersebut karena transesterifikasi menggunakan katalis ini membutuhkan proses pemisahan dan pemurnian yang sederhana (Talha & Sulaiman, 2016).

B. Katalis $\text{SiO}_2 - \text{TiO}_2$

Silika-titania ($\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$) adalah salah satu oksida biner dan termasuk dalam kelompok katalis heterogen. Silika titania dapat disintesis dengan mencampurkan silika dengan titania.

Titania (TiO_2) merupakan suatu oksida logam yang berupa serbuk putih yang menarik dalam bidang akademik dan industri karena memiliki beberapa keunggulan, diantaranya yaitu memiliki kestabilan pH yang bagus, murah, tidak beracun, fotoreaktif, inert secara kimia dan biologi, dan anti korosi. Titania

memiliki tiga fasa, yaitu anatase, rutil, dan brookit. Metode sintesis dan prekursor yang digunakan biasanya mempengaruhi pembentukan fase kristal titania (Nizar, Umar Kalmar, 2014).

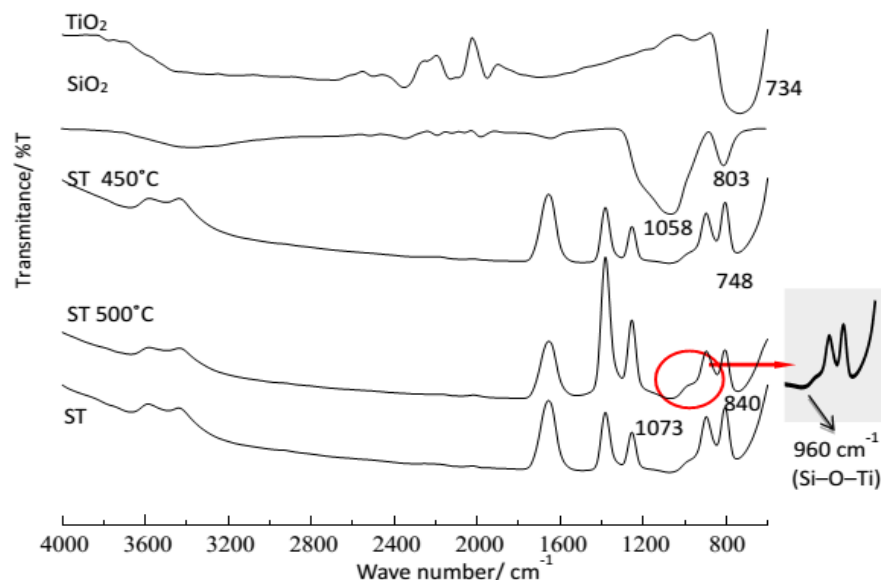
Titania memiliki dua kelemahan, yaitu kestabilan terhadap suhu yang rendah dan luas permukaan yang kecil. Titania aktif pada struktur anatase, namun jika dipanaskan diatas suhu 500°C akan berubah menjadi rutil. Hal ini akan menyebabkan aktifitas katalitik titania akan menurun. Disamping itu, titania memiliki luas permukaan yang kecil yang menyebabkan aktifitas katalitiknya terbatas. Aktifitas katalitik titania dapat ditingkatkan dengan menggabungkan titania dengan silika. Silika memiliki beberapa keunggulan antara lain luas permukaan besar, kestabilan suhu tinggi, transparan, dan struktur teratur. Oleh karena itu, silika dapat digunakan sebagai templet untuk mengatasi kelemahan dari titania (Nizar, Umar Kalmar, 2014).

Sifat silika titania seperti sifat katalitik, luas permukaan, stabilitas termal, kekuatan mekanik, dan transparansinya lebih tinggi dibandingkan dengan titania murni. Silika titania banyak diterapkan dalam berbagai aplikasi seperti untuk perangkat sensor, hamburan cahaya, teknologi biomedis , katalis dan pendukung katalis. Selain itu, silika-titania sebagai katalis dan fotokatalis dalam berbagai reaksi organik, telah diterapkan dalam reaksi oksidasi, dekomposisi molekul organik yang mudah menguap (VOC), transesterifikasi, epoksidasi, reduksi katalitik selektif (SCR) dan reaksi polimerisasi (Nizar, Umar Kalmar, 2013)

C. Metoda Karakterisasi dan Analisis

1. FTIR

Spektrometri inframerah adalah teknik karakterisasi untuk mendeteksi interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik dalam rentang panjang gelombang 0,75 - 1000 μm atau bilangan gelombang 13.000 - 10⁻¹ cm^{-1} . Teknik ini banyak diaplikasikan dalam analisis industri dan penelitian karena teknik ini dapat digunakan untuk mengamati ikatan kimia dari gugus fungsi dalam molekul. Berdasarkan jaraknya dengan panjang gelombang cahaya tampak, radiasi IR terbagi menjadi tiga bagian, yaitu dekat (10000-4000 cm^{-1}), tengah (4000-200 cm^{-1}) dan jauh (200-10 cm^{-1}). Bagian tengah dari inframerah secara luas diterapkan untuk mengetahui molekul organik dan anorganik karena bagian ini terkait dengan transisi energi vibrasi molekul.



Gambar 2. 2 Spektra FTIR dari SiO_2 , TiO_2 , dan silika-titania

Spektrum FTIR dari SiO_2 - TiO_2 disajikan oleh penyerapan pita utama pada panjang gelombang 3668 cm^{-1} , 3429 cm^{-1} , 1073 cm^{-1} , 960 cm^{-1} , 840 cm^{-1} dan

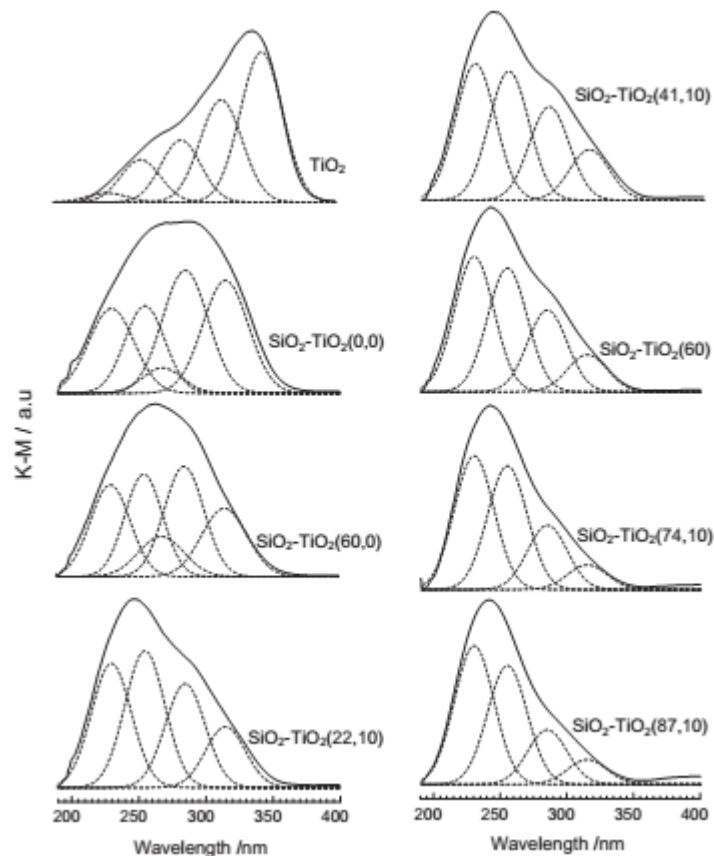
748 cm^{-1} . Pita serapan yang luas pada bilangan gelombang 3668 cm^{-1} dan 3429 cm^{-1} menunjukkan vibrasi -OH dari permukaan sampel. Penyerapan pita -OH disebabkan karena keberadaan uap air yang dihasilkan selama proses karakterisasi FTIR. Penyerapan pita lainnya yang diamati adalah pita lebar yang lemah pada gelombang 1073 cm^{-1} dan pita serapan lemah pada 840 cm^{-1} . Absorpsi pita itu terkait vibrasi peregangan asimetris dan simetris. Selain itu, penyerapan pita lebar yang lemah pada bilangan gelombang 748 cm^{-1} dikaitkan dengan getaran Ti-O-Ti.

Penyerapan pita yang sangat kecil pada bilangan gelombang 960 cm^{-1} disebabkan oleh getaran ikatan Si-O-Ti. Ikatan ini merupakan indikasi dari interaksi kimia antara SiO_2 dan TiO_2 . Semakin banyak ikatan Si-O-Ti yang terbentuk mengindikasikan lebih banyak fraksi titanium tetrahedral yang dihasilkan SiO_2 dan TiO_2 . Pembentukan ikatan Si-O-Ti diverifikasi dan dikonfirmasi oleh penyerapan pita dekonvolusi spektra DR UV-Vis (U. K. Nizar et al., 2018).

2. DR UV-Vis (Diffuse Reflectance Ultraviolet Visible)

DR UV-Vis digunakan untuk menganalisis sampel bubuk atau kristal dan juga sampel padat. Prinsip DR UV-Vis adalah berdasarkan transisi elektron yang terjadi dalam molekul orbital, atom, ion atau dalam bentuk padat. Transisi tersebut umumnya terjadi antara orbital bonding atau orbital pasangan elektron bebas dan orbital anti bonding. Agar elektron pada ikatan sigma tereksitasi maka diperlukan energi paling tinggi dan akan memberikan serapan pada 120-200 nm. Daerah ini dikenal dengan pengukuran vakum, karena tidak boleh ada udara saat melakukan pengukuran

Berikut merupakan contoh dari spektrum DR UV-VIS silika-titania



Gambar 2. 3 Dekonvolusi dari spektrum DR UV-Vis $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$

Dekonvolusi dari spektrum DR UV-Vis telah dilakukan untuk menguji pengaruh kalsinasi pada fraksi titanium tetrahedral dan untuk mengevaluasi fraksi titanium tetrahedral yang disebabkan oleh pembentukan ikatan Si-O-Ti. Menurut literatur, Spektrum DR UV-Vis pada rentang 200 - >280 nm dikaitkan dengan daerah tetrahedral dan yang di atas dari 280 nm terkait dengan daerah oktahedra seperti yang ditampilkan pada gambar 2.3.(Umar Kalmar Nizar, Efendi, Yuliati, Gustiono, & Nur, 2013).

D. Sifat-sifat Fisika Biodiesel

Menurut (Dewajani, 2011) karakteristik sifat fisika biodiesel minyak sawit sebagai berikut:

1. Densitas

Densitas merupakan sifat fisika yang berkaitan dengan massa per satuan volume. Jika suatu bahan bakar semakin ringan, maka densitas atau masa jenisnya juga semakin ringan, begitu juga sebaliknya, jika semakin berat bahan bakar maka semakin tinggi masa jenisnya (Atabani et al., 2012).

2. Viskositas

Viskositas merupakan kemampuan suatu material untuk mengalir. Viskositas yang terlalu tinggi akan membuat bahan bakar teratomisasi menjadi tetesan yang lebih besar sehingga akan mengakibatkan deposit pada mesin. Tetapi jika viskositas terlalu rendah akan memproduksi spray yang terlalu halus. Berdasarkan ASTM D445, nilai viskositas dari biodiesel adalah 1,9-6,0 mm/s²(Atabani et al., 2012).

3. Bilangan Asam

Bilangan asam merupakan jumlah asam lemak bebas yang terkandung dalam suatu sampel bahan bakar. Bilangan asam dinyatakan sebagai mg KOH yang dibutuhkan untuk menetralkan 1 g asam lemak bebas. Semakin tinggi kandungan asam lemak bebas suatu sampel, maka semakin tinggi nilai bilangan asam. Bilangan asam yang tinggi dapat menyebabkan korosi pada mesin. Berdasarkan ASTM D664, nilai maksimum bilangan asam biodiesel adalah 0,50 mg KOH/g(Atabani et al., 2012).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Massa optimum katalis silika-titania yang digunakan dalam pembuatan biodiesel dari minyak sawit adalah 7%, sedangkan biodiesel dari minyak jelantah adalah 1%.
2. Sifat-sifat fisika (viskositas dan densitas) serta bilangan asam biodiesel yang dihasilkan dari minyak sawit dan jelantah menggunakan variasi massa katalis silika titania mengalami penurunan.

B. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan disarankan agar melakukan penelitian lebih lanjut menggunakan prekursor yang dapat membentuk persen fraksi tetrahedral titanium yang lebih besar dalam mensintesis katalis silika-titania.

REFERENSI

- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., & Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), 2070–2093.
- Bilgina, A., Gülümb, M., Koyuncuoglu, I., Nacd, E., Cakmake, A., (2015). Determination of transesterification reaction parameters giving the lowest viscosity waste cooking oil biodiesel. *Social and Behavioral Sciences* 195, 2492 – 2500.
- Dewajani, H. (2011). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Sawit Secara Kontinyu dalam Model Reaktor Berisian. *Pada Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia* (pp. 1–6). Yogyakarta: UPN “Veteran.”
- Elkady, M. F., Zaatout, A., & Balbaa, O. (2015). Production of Biodiesel from Waste Vegetable Oil via KM Micromixer. *Journal of Chemistry*, 2015.
- Endut, A., Abdullah, S. H. Y. S., Hanapi, N. H. M., Hamid, S. H. A., Lananan, F., Kamarudin, M. K. A., Khatoon, H. (2017). Optimization of biodiesel production by solid acid catalyst derived from coconut shell via response surface methodology. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 124, 250–257.
- García-Martín, J. F., Barrios, C. C., Alés-Álvarez, F. J., Dominguez-Sáez, A., & Alvarez-Mateos, P. (2018). Biodiesel production from waste cooking oil in an oscillatory flow reactor. Performance as a fuel on a TDI diesel engine. *Renewable Energy*, 125, 546–556.
- Gebremariam, S. N., & Marchetti, J. M. (2018). Economics of biodiesel production: Review. *Energy Conversion and Management*, 168, 74–84.
- Guldhe, A., Singh, P., Ansari, F. A., Singh, B., & Bux, F. (2017). Biodiesel synthesis from microalgal lipids using tungstated zirconia as a heterogeneous acid catalyst and its comparison with homogeneous acid and enzyme catalysts. *Fuel*, 187, 180–188.
- Kiss, A. A. (2014). Process Intensification Technologies for Biodiesel Production, 2016(Kiss 2009).
- Knothe, G., & Razon, L. F. (2017). Biodiesel fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 58, 36–59.

- Lani, N. S., Ngadi, N., Taib, M. R. (2017). Parametric Study on the Transesterification Reaction byUsing CaO/Silica Catalyst. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 601-606.
- Lee, A. F., Bennett, J. A., Manayil, J. C., Wilson, K., & Lee, A. F. (2014). Chem Soc Rev Heterogeneous catalysis for sustainable biodiesel production via esterification and transesterification. *Chemical Society Reviews*, 43, 7887–7916.
- Mguni, L. L. (2012). *Biodiesel Production Over Supported Nano- Magnesium Oxide Particles*. Thesis, Johannesburg : University of Johannesburg.
- Mohamad, M., Ngadi, N., Wong, S. L., Jusoh, M., & Yahya, N. Y. (2017). Prediction of biodiesel yield during transesterification process using response surface methodology. *Fuel*, 190, 104–112.
- Nizar, U. K., Efendi, J., Yuliati, L., Gustiono, D., & Nur, H. (2013). A new way to control the coordination of titanium (IV) in the sol-gel synthesis of broom fibers-like mesoporous alkyl silica-titania catalyst through addition of water. *Chemical Engineering Journal*, 222, 23–31.
- Nizar, U. K., Hidayatul, J., Sundari, R., Bahrizal, B., Amran, A., Putra, A., ... Dewata, I. (2018). The Effect of Titanium Tetrahedral Coordination of Silica-Titania Catalyst on the Physical Properties of Biodiesel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 335(1).
- Rabelo, Sabrina N., Vany P. Ferraz, Leandro S. Oliveira, and Adriana S. Franca. (2015). FTIR Analysis for Quantification of Fatty Acid Methyl Esters in Biodiesel Produced by Microwave-Assisted Transesterification. *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 6, No. 12
- Rathore, V., Newalkar, B. L., & Badoni, R. P. (2016). Processing of vegetable oil for biofuel production through conventional and non-conventional routes. *Energy for Sustainable Development*, 31, 24–49.
- Sahar, Sadaf, S., Iqbal, J., Ullah, I., Bhatti, H. N., Nouren, S., ... Iqbal. (2018). Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel. *Sustainable Cities and Society*, 41(May), 220–226.
- Shao, G. N., Sheikh, R., Hilonga, A., Lee, J. E., Park, Y. H., & Kim, H. T. (2013). Biodiesel production by sulfated mesoporous titania-silica catalysts synthesized by the sol-gel process from less expensive precursors. *Chemical Engineering Journal*, 215–216, 600–607.

- Talha, N. S., & Sulaiman, S. (2016). Overview of catalysts in biodiesel production. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(1), 439–442.
- Taufiq-Yap, Yun Hin , Nurul F., Abdullah & Mahiran B. (2011). Biodiesel Production via Transesterification of Palm Oil Using NaOH/Al₂O₃ Catalysts, *Sains Malaysiana*, 587–594.
- Thanh, L. T., Okitsu, K., Boi, L. Van, & Maeda, Y. (2012). Catalytic Technologies for Biodiesel Fuel Production and Utilization of Glycerol: A Review. *Catalysts*, 2(4), 191–222.