:

STUDI PENGARUH WAKTU REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK SAWIT MENJADI BIODIESEL DENGAN KATALIS HETEROGEN $CaO-Fe_2O_3$

SKRIPSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

OLEH:

REGINA YOLANDA SUKOCO (135061100111015)
ACHMAD ROSID ARY EFENDI (135061107111013)

JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG

2017

Repository Universitas Brawijaya

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENGARUH WAKTU REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK SAWIT MENJADI BIODIESEL DENGAN KATALIS HETEROGEN $CaO-Fe_2O_3$

SKRIPSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

REGINA YOLANDA SUKOCO / 135061100111015

ACHMAD ROSID ARY EFENDI / 135061107111013

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada 21 Desember 2017

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Ir. Bambang Poerwadi, MS.	Rama Oktavian, S.T., M.Sc.
NIP.19600126 198603 1 001	NIP. 19861021 201404 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan

Ir. Bambang Poerwadi, MS.
NIP. 19600126 198603 1 001

:

JUDUL SKRIPSI: Studi Pengaruh Waktu Reaksi Transesterifikasi Minyak Sawit menjadi Biodiesel dengan Katalis Heterogen Cao-Fe_2O_3

Nama Mahasiswa 1 : Regina Yolanda Sukoco
NIM : 135061100111015
Jurusan : Teknik Kimia
Minat (bila ada) : Rekayasa Energi dan Perminyakan

Nama Mahasiswa 2 : Achmad Rosid Ary Efendi
NIM : 135061107111013
Jurusan : Teknik Kimia
Minat (bila ada) : Rekayasa Energi dan Perminyakan

KOMISI PEMBIMBING
Ketua : Ir. Bambang Poerwadi, MS
Anggota : Rama Oktavian, ST., M.Sc

TIM DOSEN PENGUJI
Dosen Penguji 1 : Ir. Bambang Ismuyanto, MS
Dosen Penguji 2 : A.S. Dwi Saptati N.H., ST., MT.
Tanggal Ujian : 27 November 2017
SK Penguji : 1588/UN10.F07/SK/2017

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 21 Desember 2017
Mahasiswa,

METERAI TEMPEL
1152AAEF775629729
6000
ENAM RIBU RUPIAH

Regina Yolanda Sukoco
NIM. 135061100111015

Repository Universitas Brawijaya
REPOSITORY.UB.AC.ID
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

UNIVERSITAS BRAWIJAYA REPOSITORY.UB.AC.ID

TURNITIN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA

SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : **53/UN10.F07.18/PP/2017**

Sertifikat ini diberikan kepada :

REGINA YOLANDA SUKOCO

Dengan Judul Skripsi :

Studi Pengaruh Waktu Reaksi Transesterifikasi Minyak Sawit menjadi Biodiesel dengan Katalis Heterogen CaO-Fe_2O_3 *(Studies of Palm Oil Transesterification Reaction Time Effect to Produce Biodiesel with Heterogeneus CaO-Fe_2O_3 Catalyst)*

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq$ 20 %, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 18 DEC 2017

Ketua Program Studi Teknik Kimia

Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19600126 198603 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 21 Desember 2017
Mahasiswa,

METERAI TEMPEL
TGL. 20
26E1CAEF775629727
6000
ENAM RIBU RUPIAH

Achmad Rosid Ary Efendi
NIM. 135061107111013

UNIVERSITAS BRAWIJAYA REPOSITORY.UB.AC.ID

TURNITIN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA

SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : **54/UN10.F07.18/PP/2017**

Sertifikat ini diberikan kepada :

ACHMAD ROSID ARY EFENDI

Dengan Judul Skripsi :

Studi Pengaruh Waktu Reaksi Transesterifikasi Minyak Sawit menjadi Biodiesel dengan Katalis Heterogen CaO-Fe_2O_3 *(Studies of Palm Oil Transesterification Reaction Time Effect to Produce Biodiesel with Heterogeneus CaO-Fe_2O_3 Catalyst)*

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq$ 20 %, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 18 DEC 2017

Ketua Program Studi Teknik Kimia

Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19600126 198603 1 001

Repository Universitas Brawijaya

:

RIWAYAT HIDUP

Regina Yolanda Sukoco, Malang, 6 Maret 1995, anak dari Bpk. Ir. Sukoco dan Ibu Erma Suzana, SD di Kabupaten Malang, SMP hingga SMA di Kota Batu, lulus dari SMA Negeri 1 Batu tahun 2013, lulus program Sarjana Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya pada tahun 2017. Pengalaman kerja sebagai Staff Departement *Engineering* PT INDOLAKTO, Purwosari saat melakukan Praktik Kerja Lapang 2016, Aktif Organisasi sebagai Staff Kementrian PORA Eksekutif Mahasiswa Universitas Brawijaya 2015, Manager Proyek Kualitas dan Kontrol *Indonesia Future Leader* 2015, Staff Ahli *Public Speaking* UKM FORDI MAPELAR 2015, *Best Project Initiator* OPPO Campus Club 2016, Delegasi Indonesia dalam program pertukaran pelajar JENESYS 2.0 Batch 22 Jepang 2014, Peraih Medali Emas dalam *International Innovation and Invention Competition* Taiwan 2015, Penulis Buku Abroad You(th) Chapter 3 Jakarta 2018, Penulis Jurnal dalam Buku *Growing Creative and Innovative Solutions Series 2* Malaysia 2016, Delegasi Indonesia dalam Program WULF *(Women in Engineering Unilever Leadership Fellowship)* 2017, Duta Muda Asean bidang Budaya dan Pendidikan 2016, Pembicara Topik Inovator, *Competition, International Experiences* dan Motivator Muda 2015-sekarang.

Malang, 21 Desember 2017

Penulis

:

RIWAYAT HIDUP

Achmad Rosid Ary Efendi, Malang, 31 Agustus 1995, anak dari Bpk. Muhaimin dan Ibu Siti Mulyani, S.Pd, SD sampai SMA di Kota Malang, lulus dari SMA Negeri 3 Malang tahun 2013, lulus program Sarjana Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya pada tahun 2017. Pengalaman kerja sebagai Petugas Penelitian "Sensus Potensi Pajak Daerah Kota Malang" tahun 2016, Petugas Penelitian "Pendataan dan Penyusunan Database Tunggakan PBB Kota Malang" Tahun 2016, Tutor Les Privat jenjang SMP dan SMA di Bimbingan Belajar B-Right, Tutor Les Privat jenjang SMP dan SMA di Bimbingan Belajar Rumah Rahil, Tutor Les Privat jenjang SMP dan SMA di Bimbingan Belajar Sandi Privat dari tahun 2016 hingga tahun 2017, Pemilik Bimbingan Belajar Master Privat yang didirikan pada tahun 2017.

Malang, 21 Desember 2017

Penulis

Terima kasih kepada
Allah SWT atas segala Kebesaran-Nya,
Ayahanda dan Ibunda tercinta

:

STUDI PENGARUH WAKTU REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK SAWIT MENJADI BIODIESEL DENGAN KATALIS HETEROGEN CaO-Fe_2O_3

Regina Yolanda Sukoco, Achmad Rosid Ary Efendi , BambangPoerwadi[1)], Rama Oktavian[2)]
Jurusan Teknik Kimia Universitas Brawijaya
Jalan M.T. Haryono 167 Malang Indonesia 65145 – Telp (0341) 574140
[1]Email: bampoer@ub.ac.id
[2]Email: oktavian.rama2@gmail.com

ABSTRAK

Biodiesel adalah salah satu bahan bakar alternatif sebagai bahan bakar pengganti solar. Biodiesel merupakan bahan bakar yang bersih dan dapat diproduksi dari bahan-bahan terbarukan. Biodiesel pada penelitian kali ini terbuat dari minyak kelapa sawit dan metanol dengan bantuan katalis heterogen melalui reaksi transesterifikasi. Katalis yang digunakan adalah katalis basa heterogen CaO dengan prekursor Fe_2O_3. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu reaksi transesterfikasi terhadap kuantitas dan kualitas produk biodiesel yang dihasilkan. Katalis dibuat dengan menggunakan metode impregnasi basah dengan rasio volume prekursor dan katalis yaitu 1:6. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan menggunakan *waterbath* dengan suhu 65°C selama 100 menit, 110 menit, 120 menit, 130 menit, dan 140 menit dengan rasio molar metanol : minyak adalah 1:8 dan *catalyst loading* sebesar 5% berat minyak sawit. Pada penelitian kali ini, peneliti juga menghitung besarnya nilai energi aktivasi reaksi transesterifikasi. Untuk mencari nilai energi aktivasi dilakukan variasi suhu transesterifikasi pada waktu 120 menit, yakni 60°C. Nilai energi aktivasi reaksi transesterifikasi tercatat sebesar -15,76 kJ/mol. Pengujian produk biodiesel dilakukan dengan pengujian karakter fisik berupa densitas, viskositas, dan bilangan asam serta pengujian kuantitas dan kualitas dengan menghitung yield dan kadar FAME dari biodiesel. Hasil yang diperoleh adalah biodiesel dengan variabel waktu reaksi transesterifikasi selama 140 menit pada suhu 65°C memiliki nilai kadar FAME yang paling tinggi yaitu sebesar 80,00%.

Kata kunci: Biodiesel, transesterifikasi, impregnasi basah, katalis Fe_2O_3-CaO

ABSTRACT

Biodiesel is one of the best alternative fuels for replacing the diesel fuel. Biodiesel is determined as a clean fuel and can be produced from renewable materials. In this research, biodiesel is made from palm oil and methanol with heterogenous catalyst support by using transesterification reaction. The catalyst used was a heterogeneous CaO catalyst with Fe_2O_3 as precursor. This research aims to determine the effect of transesterification reaction time on the conversion of biodiesel that has been produced. Catalyst was made by using wet impregnation method with ratio of precursor : catalyst is 1:6. The transesterification process is applied by using waterbath at 65°C for 100 minutes, 110 minutes, 120 minutes, 130 minutes and 140 minutes with molar ratio between methanol and palm oil of 1:8 and 5% of catalyst loading. In this research, also determine the value of transesterification reaction activation energy. The activation energy was determine by variying the temperature of transesterification process. The temperature used is 60°C for 120 minutes. Calculated that the value of activation energy is about -15,76 kJ/mol. The test of biodiesel product is applied to find out the physical character of biodiesel by testing the density, viscosity, and acid number of biodiesel. Quantity and quality test of biodiesel product is also applied by testing the yield reaction and FAME content. Biodiesel that has been processed with transesterification reaction at 65°C for 120 minutes produced the best FAME content of 80%.

Keyword:Biodiesel, transesterification, wet impregnation, Fe_2O_3-CaO catalyst

:

Pengantar

Bismillahirrahmanirrahim, Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah segala puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Studi Pengaruh Waktu Reaksi Transesterifikasi Minyak Sawit menjadi Biodiesel dengan Katalis Heterogen Cao-Fe_2O_3". Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapat saran, dorongan, bimbingan serta keterangan-keterangan dari berbagai pihak yang merupakan pengalaman yang tidak dapat diukur secara materi, namun dapat membukakan mata penulis bahwa sesungguhnya pengalaman dan pengetahuan tersebut adalah guru yang terbaik bagi penulis. Oleh karena itu dengan segala hormat dan kerendahan hati perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih kepada :

- Bapak Ir. Bambang Poerwadi, MS. selaku dosen pembimbing utama
- Bapak Rama Oktavian, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing pembantu
- Bapak Supriyono, ST., MT. selaku dosen pembimbing pembantu
- Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan semangat dan doa
- Seluruh teman–teman Prodi Teknik Kimia UB yang telah memberikan motivasi.
- Semua pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu yang telah terlibat banyak membantu sehingga tugas ini dapat diselesaikan.

Kami menyadari di dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki, baik dari segi tata bahasa maupun dalam hal pengkonsolidasian. Oleh karena itu kami meminta maaf atas ketidaksempurnaanya dan juga memohon kritik dan saran untuk kami agar bisa lebih baik lagi dalam membuat skripsi ini. Harapan kami mudah-mudahan apa yang kami susun ini bisa memberikan manfaat untuk diri kami sendiri, teman-teman, serta orang lain.

Malang, 21 Desember 2017
Penulis

Repository Universitas Brawijaya
REPOSITORY.UB.AC.ID
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

:

DAFTAR ISI

RINGKASAN..... i
SUMMARY..... ii
PENGANTAR..... iii
DAFTAR ISI..... iv
DAFTAR TABEL..... vi
DAFTAR GAMBAR..... vii
DAFTAR LAMPIRAN..... viii
BAB I PENDAHULUAN..... 1
1.1 Latar Belakang..... 1
1.2 Rumusan Masalah..... 2
1.3 Batasan Masalah..... 3
1.4 Tujuan Penelitian..... 3
1.5 Manfaat Penelitian..... 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... 4
2.1 Biodiesel..... 4
2.2 Minyak Nabati..... 5
2.3 Minyak Sawit..... 6
2.4 Teknik Pembuatan Biodiesel..... 7
2.4.1 Transesterifikasi..... 7
2.5 Katalis..... 7
2.5.1 Katalis Homogen..... 8
2.5.1.1 Katalis Asam..... 8
2.5.1.2 Katalis Basa..... 8
2.5.2 Katalis Heterogen..... 10
2.5.2.1 Katalis Heterogen Fe_2O_3-CaO..... 11
2.6 Analisis Biodiesel..... 13
2.7 Menghitung Energi Aktivasi..... 15
2.8 Penelitian Pendukung..... 16
BAB III METODE PENELITIAN..... 18
3.1 Jenis Penelitian..... 18
3.2 Alat dan Bahan..... 18

:

3.3 Tahap Pelaksanaan dan Penelitian Data…… 20
3.3.1 Preparasi Katalis Heterogen…… 20
3.3.2 Reaksi Transesterifikasi Pembuatan Biodiesel…… 21
3.3.3 Uji Kuantitas Biodiesel…… 22
3.3.4 Uji Kualitas Biodiesel…… 23
3.3.5 Perhitungan Energi Aktivasi…… 25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN…… 27
4.1 Konversi FAME Biodiesel…… 27
4.2 Penentuan Energi Aktivasi Reaksi Transesterifikasi…… 29
4.2.1 Penentuan Nilai Konstanta Laju Reaksi Transesterifikasi…… 30
4.3 Karakterisasi Hasil Reaksi Transesterifikasi…… 32
4.3.1 Yield Biodiesel…… 32
4.3.2 Densitas Biodiesel…… 34
4.3.3 Angka Asam Biodiesel…… 35
4.3.4 Viskositas Kinematis Biodiesel…… 36
4.4 Karakterisasi Hasil Reaksi Transesterifikasi Pada Suhu Pembanding …… 38
BAB V PENUTUP…… 39
5.1 Kesimpulan…… 39
5.2 Saran…… 39
DAFTAR PUSTAKA…… 40
LAMPIRAN…… 42

:

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Standar Nasional Indonesia Biodisel……	4
Tabel 2.2	Komposisi Asam Lemak Minyak Inti Kelapa Sawit……....	6
Tabel 3.3	Parameter uji kualitas biodiesel……	23
Tabel 4.1	Perbandingan Yield Biodiesel dengan Konversi FAME Biodiesel pada berbagai variasi waktu reaksi……...	28
Tabel 4.2.	Energi Aktivasi Reaksi Transesterifikasi……	29
Tabel 4.3.	Data konsentrasi trigliserida awal (C_{A0}) dan konsentrasi trigliserida akhir (C_{Af}) pada berbagai variasi waktu reaksi……	31
Tabel 4.4.	*Yield* biodiesel *crude* pada berbagai variasi waktu reaksi. ……..	33
Tabel 4.5.	Densitas biodiesel pada berbagai variasi waktu reaksi……	34
Tabel 4.6.	Angka Asam Biodiesel pada variasi waktu reaksi. ……	35
Tabel 4.7.	Viskositas Kinematis biodiesel pada berbagai variasi waktu reaksi. ……...	37
Tabel 4.8.	Hasil Pengujian Biodiesel pada suhu 60ºC dan 65ºC pada waktu reaksi 120 menit……	38

:

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Struktur Umum Molekul Asam Lemak Bebas……..	6
Gambar 2.2	Skema Reaksi Katalisis Heterogen Pada Katalis Berpori.....	11
Gambar 2.3.	Mekanisme reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa……	13
Gambar 3.1	Preparasi Katalis Heterogen CaO-Fe2O3 dengan metode Impregnasi Basah……..	20
Gambar 3.2	Reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel dari minyak sawit……	21
Gambar 3.3	Reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel dari minyak sawit……..	22
Gambar 4.1.	Yield dan % Kadar FAME biodiesel *crude* di berbagai variabel waktu reaksi. ……	28
Gambar 4.2.	Konversi Trigliserida (X_A) pada berbagai variasi waktu reaksi.	29
Gambar 4.3.	Grafik hubungan $\ln \frac{CAo}{CAt}$ dengan waktu (t) untuk menentukan nilai k (1) ……	31
Gambar 4.4.	Grafik hubungan $\ln \frac{CAo}{CAt}$ dengan waktu (t) untuk menentukan nilai k (2) ……	32
Gambar 4.5.	Yield Biodiesel *Crude* pada berbagai variasi waktu reaksi.....	33
Gambar 4.6.	Perbandingan Densitas Biodiesel *Crude* hasil penelitian dengan standar SNI……	34
Gambar 4.7.	Perbandingan angka asam Biodiesel *Crude* hasil penelitian dengan standar SNI……	36
Gambar 4.8.	Viskositas Kinematis Biodiesel *crude* pada berbagai variasi waktu reaksi. ……..	37

:

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
A.1	Perhitungan Stoikiometri Reaksi……	42
A.2.	Perhitungan Yield Biodiesel…….……..	42
A.3.	Perhitungan Densitas Biodiesel……	43
A.4.	Perhitungan Angka Asam Biodiesel……	48
A.5.	Perhitungan Viskositas Biodiesel……	52
A.6.	Perhitungan Energi Aktivasi Reaksi Transesterifikasi….	56
A.7.	Perhitungan Nilai Konstanta Laju Reaksi (k) ……	57
B.1	Hasil Uji Konten FAME dengan *Gas Chromatography* .	59
C.1	Riwayat Hidup Regina Yolanda Sukoco	69
C.2	Riwayat Hidup Achmad Rosid Ary Efendi	70

Repository Universitas Brawijaya

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Konsumsi bahan bakar fosil yang terus meningkat mengakibatkan semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil di bumi. Sementara itu, semakin menipisnya cadangan bahan bakar bertolak belakang dengan kebutuhan masyarakat akan energi yang terus meningkat. Bahkan Pemerintah Indonesia harus melakukan impor guna memenuhi kebutuhan bahan bakar fosil dalam negeri, terutama solar dan premium. Dikarenakan kebutuhan energi yang terus meningkat, masyarakat mulai memanfaatkan sumber energi terbaharukan. Sumber energi terbaharukan dapat berasal dari tenaga matahari, angin, air, panas bumi, biomassa dan biodiesel.

Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar memiliki beberapa kelebihan, seperti berasal dari sumber daya alam yang dapatdiperbaharui (*renewable*), mudah ditemukan, mudah diuraikan secara biologis dan tidak menimbulkan polusi udara seperti emisi gas rumah kaca (Haas dkk., 2001). Bahan bakar biodiesel bersifat ramah lingkungan karena menghasilkan emisi gas buang yang jauh lebih bersih dibandingkan dengan diesel atau solar, bebas sulfur dan memiliki *cetane number* yang lebih tinggi sehingga pembakaran lebih sempurna (*clear burning*). Biodiesel juga tersedia dalam bentuk cairan sehingga memudahkan sistem transportasi.

Salah satu bahan baku untuk pembuatan biodiesel adalah minyak sawit. Biodiesel dapat diproduksi melalui reaksi antara minyak sawit dengan alcohol menggunakan katalis heterogen. Dalam penelitian ini, jenis alkohol yang digunakan adalah methanol. Methanol berperan sebagai alcohol derivatif dengan berat molekul rendah sehingga kebutuhan alkoholisis relatif sedikit, lebih murah dan lebih stabil. Selain itu, dengan menggunakan methanol aktivasi reaksi akan lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan etanol (Prihandana dkk. 2006).

Terdapat bermacam-macam katalis heterogen yang digunakan dalam proses transesterifikasi, seperti oksida logam alkali tanah, logam alkali, dll. Salah satu contoh penelitian yang pernah dilakukan Joshi, 2016 adalah penggunaan katalis padat Fe_2O_3/CaO pada proses tranesterifikasi minyak alga dan minyak jathopra menjadi biodiesel. Penelitian tersebut dilakukan pada suhu 65^0C menggunakan *microwave* dengan daya sebesar 700 watt selama 6 menit waktu reaksi dan katalis sebesar 5% dari

berat minyak. Nilai yield biodiesel (GC) yang dihasilkan oleh minyak alga sebesar 88,2%. Sedangkan, nilai yield biodiesel (GC) yang dihasilkan oleh minyak jathropa sebesar 86,8%. (Joshi, 2016). Katalis padat berupa SiO_2/CaO juga telah digunakan untuk proses transesterifikasi biodiesel menggunakan minyak kelapa sawit, tetapi dengan bertambahnya konsentrasi SiO_2 didalam CaO justru akan menurunkan nilai yield biodiesel yang terbentuk, yakni dari 90,2% menjadi 80,1% (Chen, dkk, 2015).

Atas pertimbangan di atas, maka pada penelitian ini digunakan katalis heterogen CaO-Fe_2O_3 sebagai katalis untuk transesterifikasi minyak sawit. Upaya yang dilakukan untuk proses produksi biodiesel adalah menggunakan pemanas konvensional berupa *water bath*. Proses produksi biodiesel menggunakan katalis heterogen berupa CaO dengan *support* Fe_2O_3 diperlukan agar CaO dapat bekerja secara optimum dan dapat dipisahan dari produk akhir nantinya (Furuta, 2006). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu pada produksi biodiesel berbahan dasar minyak sawit melalui proses transesterifikasi. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan besarnya nilai energi aktivasi transesterifikasi. Dengan dilakukannya penelitian ini, juga dapat diketahui apakah kualitas dan kuantitas biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi standar SNI yang telah ditentukan.

1.2 RUMUSAN MASALAH

1. Bagaimana pengaruh waktu transesterifikasi minyak sawit menjadi biodiesel dengan bantuan katalis heterogen Cao-Fe_2O_3.
2. Besarnya nilai energi aktivasi reaksi transesterifikasi minyak sawit menjadi biodiesel dengan bantuan katalis heterogen Cao-Fe_2O_3.

1.3 PEMBATASAN MASALAH

a. Alkohol yang digunakan untuk reaksi transesterifikasi adalah metanol.

b. Katalis basa yang digunakan adalah katalis heterogen Kalsium Oksida (CaO).

c. *Support* katalis basa yang digunakan adalah Fe_2O_3

d. Perbandingan molar methanol dan minyak sawit untuk reaksi transesterifikasi adalah 8:1.

e. Aktivasi katalis basa CaO dilakukan dengan cara pemanasan menggunakan *microwave irradiation* dengan daya 400 watt selama 40 menit.

f. Konsentrasi katalis basa sebesar 5% dari berat minyak sawit yang digunakan.

g. Rasio volume suspensi katalis CaO : suspensi *support* Fe_2O_3 adalah 6:1

1.4 TUJUAN

Penelitian ini bertujuan untuk :

a. Menentukan pengaruh waktu transesterifikasi minyak sawit menjadi biodiesel dengan bantuan katalis heterogen Cao-Fe_2O_3.

b. Menentukan nilai energi aktivasi reaksi transesterifikasi minyak sawit menjadi biodiesel dengan bantuan katalis heterogen Cao-Fe_2O_3.

1.5 MANFAAT

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai referensi atau sumber rujukan untuk melakukan penelitian lanjutan kepada kalangan akademis mengenai pengaruh waktu reaksi transesterifikasi terhadap kualitas dan kuantitas biodiesel dari minyak sawit menggunakan bantuan katalis heterogen berupa CaO dan *support* katalis Fe_2O_3. Serta dapat mengembangkan biodiesel berbahan dasar minyak sawit menjadi sumber energi terbaharukan kedepannya.

Repository Universitas Brawijaya
REPOSITORY.UB.AC.ID
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biodiesel

Biodiesel merupakan salah satu energi alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan bakar layaknya bahan bakar fosil berjenis solar. Biodiesel diperoleh dari minyak nabati ataupun minyak hewani sehingga bersifat terbaharukan. Biodiesel memiliki hasil pembakaran bebas sulfur dan senyawa aromatik karena bersumber dari non-fosil. Kandungan utama biodiesel adalah alkil ester asam lemak yang dihasilkan dari trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani melalui reaksi transesterifikasi dengan alkohol. (Rahmani, 2008).

Biodiesel mempunyai sifat yang mirip dengan petrodiesel ataupun minyak diesel sintesis. Biodiesel memiliki energi pembakaran dan angka setana *(cetane number)* yang lebih tinggi (>60) sehingga proses pembakaran bersifat lebih efisien. Selain itu, karena angka setana yang lebih tinggi biodiesel dapat berfungsi sebagai pelumas piston mesin. Biodisel cocok untuk diaplikasikan pada mesin dengan sistem kompresi pembakaran yang tinggi, contohnya mesin diesel (Syamsudin, 2012).

Penggunaan minyak nabati sebagai pengganti bahan bakar diesel didemokstrasikan pertama kali oleh Rudolph Diesel (± tahun 1900). Penelitian di bidang ini terus berkembang dengan memanfaatkan beragam lemak nabati dan hewani untuk mendapatkan bahan bakar hayati (*biofuel) yang bersifat* dapat diperbaharui (*renewable)*. Perkembangan penelitian tentang biodiesel mencapai puncak pada pertengahan tahun 80-an dengan ditemukannya alkil ester asam lemak yang memiliki karakteristik hampir sama dengan minyak diesel fosil. (Karman, 2012). Berikut adalah Standar Nasional Indonesia Biodisel (Tabel 2.1). Sumber: SNI 7182:2015 (Biodiesel)

Tabel 2.1 Standar Nasional Indonesia Biodisel

No	Parameter Uji	Satuan, min/maks	Persyaratan
1	Massa Jenis	Kg/m^3	850 – 890
2	Viskositas Kinematik	Mm^2/s (cSt)	2,3 – 6,0
3	Angka Asam	Mg-KOH/g, maks	0,5
4	Kadar Metil Ester	%-massa, min	96,5
5	Monogliserida	%-massa, maks	0,8

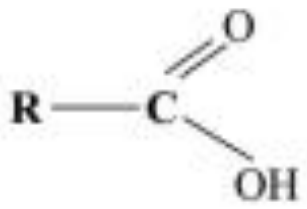
2.2 Minyak Nabati

Minyak dan lemak adalah triester dari gliserol, yang biasa dikenal dengan trigliserida. Minyak dan lemak sering dijumpai pada minyak nabati dan lemak hewan. Minyak umumnya berasal dari tumbuhan, contohnya minyak jagung, minyak zaitun, minyak kacang dan lain-lain. Minyak dan lemak mempunyai struktur dasar yang sama (Hart, 1990). Minyak merupakan salah satu kelompok dari golongan lipida. Satu sifat yang khusus yang terdapat didalam golongan lipida (termasuk lemak dan minyak) adalah daya larutnya dalam pelarut organik (eter, benzene, khloroform). Atau sebaliknya, ketidak-larutanya dalam pelarut air (Sudarmadji dan Haryono, 1989).

Berdasarkan sumbernya, lemak digolongkan menjadi dua, yaitu lemak hewani yang berasal dari hewan dan lemak nabati yang berasal dari tumbuhan. Perbedaan dari lemak hewani dan lemak nabati adalah: lemak hewani umumnya bercampur dengan steroid hewani yang disebut kolesterol, sedangkan lemak nabati umumnya bercampur dengan steroid nabati yang disebut fitosterol. Kadar asam lemak tak jenuh dalam lemak hewani lebih sedikit dibandingkan lemak nabati (Ketaren, 2008).

Minyak nabati dapat digunakan dalam pembuatan biodiesel. Komposisi yang terdapat dalam minyak nabati terdiri dari trigliserida asam lemak, asam lemak bebas (ALB), monogliserida dan digliserida, serta beberapa komponen-komponen lain seperti phosphoglycerides, vitamin dan mineral. Penyusun utama minyak dan lemak adalah trigliserida, yang merupakan ester dari gliserol dan asam lemak rantai panjang. Trigliserida atau triasilgliserol adalah sebuah gliserida yaitu ester yang tersusun dari gliserol dan tiga asam lemak. Rumus kimia trigliserida adalah CO_2COOR-$CHCOOR'$-CH_2-$COOR''$, dimana R, R' dan R'' masing-masing adalah sebuah rantai alkil yang panjang atau asam lemak jenuh dan tak jenuh dari rantai karbon (Mescha, dkk,. 2007). Apabila terdapat dua gugus alkohol dari gliserol yang mengikat gugus asetil dan terdapat satu gugus alkohol yang bebas, maka esternya dinamakan digliserida. Jika hanya ada satu gugus alkohol pada gliserol yang mengikat gugus asetil asam lemak dan dua gugus alkohol lainnya bebas, esternya dinamakan monogliserida.

Asam lemak bebas (ALB) adalah asam lemak yang terpisahkan dari trigliserida, digliserida, monogliserida, dan gliserin bebas. Hal ini dapat disebabkan oleh proses pemanasan dan adanya kandungan air yang menimbulkan terjadinya proses hidrolisis. Hal lain yang dapat meningkatkan kadar asam lemak bebas dalam minyak nabati adalah oksidasi (Handayani, 2010).



Gambar 2.1. Struktur Umum Molekul Asam Lemak Bebas

2.3 Minyak Sawit

Minyak kelapa sawit dapat dihasilkan dari inti kelapa sawit yang dinamakan minyak inti kelapa sawit. Rata-rata komposisi asam lemak minyak inti kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.2 Komposisi Asam Lemak Minyak Inti Kelapa Sawit.

Asam Lemak	**Jumlah (%)**
Asam Oleat	30-45
Asam Linoleat	7-11
Asam Miristat	1,1-2,5
Asam Palmitat	40-46
Asam Stearat	3,6-4,7

(Sumber: Ketaren, 2005)

Salah satu bentuk pemanfaatan minyak sawit selain sebagai kebutuhan memasak ialah dengan mengubahnya secara proses kimia menjadi biodiesel. Pembuatan biodiesel dari minyak sawit dapat dilakukan melalui reaksi transesterifikasi untuk mengubah minyak (trigliserida) menjadi asam lemak metil ester. Kandungan asam lemak bebas (*FFA*) pada bahan baku (minyak sawit) merupakan salah satu faktor penentu metode pembuatan biodiesel. Reaksi transesterifikasi tidak cocok digunakan untuk minyak yang mengandung asam lemak bebas tinggi. Bahan baku yang digunakan untuk reaksi transesterifikasi harus tidak boleh mengandung asam lemak bebas lebih dari 2% (Ramadhas dkk, 2005). Tahap transesterifikasi dengan bantuan katalis heterogen basa dilakukan untuk menghasilkan metil ester (biodiesel).

2.4 Teknik Pembuatan Biodiesel

2.4.1 Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi alkohol dengan trigliserida menghasilkan metil ester dan gliserol dengan bantuan katalis basa. Alkohol yang umumnya digunakan adalah metanol dan etanol. Bahan baku yang hendak digunakan pada reaksi transesterifikasi harus memiliki nilai asam lemak bebas yang kecil (< 2 %) untuk menghindari terbentuknya sabun. Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester adalah:

$$CO_2COOR\text{-}CHCOOR'\text{-}CH_2\text{-}COOR'' + 3CH_3OH \leftrightarrow RCOOH_3 + C_3H_8O_3 \quad (2)$$

Trigliserida Metanol Metil Ester Gliserol

Transesterifikasi perlu menggunakan katalis dalam reaksinya. Tanpa adanya katalis, konversi yang dihasilkan akan bernilai maksimum namun reaksinya akan berjalan dengan lambat (Mittlebatch, 2004). Katalis yang banyak digunakan pada reaksi transesterifikasi adalah katalis basa. Produk yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi adalah ester metil asam-asam lemak. Terdapat beberapa cara agar kesetimbangan yang terbentuk lebih mengarah ke arah produk, yaitu Menambahkan metanol berlebih ke dalam reaksi, Memisahkan gliserol, Menurunkan temperatur reaksi (transesterifikasi merupakan reaksi eksoterm).

Energi aktivitasi global (E_a) dari reaksi transesterifikasi dengan memanfaatkan persamaan Arrhenius: (Melauren, 2016)

$$k = A \exp(-E_a/RT)$$

Dimana A adalah konstanta, R adalah konstanta gas, dan T adalah suhu mutlak, setelah perhitungan dilakukan semua data dibuat grafik yang akan menunjukkan hubungan konversi reaksi dengan waktu pada variasi suhu, untuk menghitung nilai energi aktivasi reaksi(E_a).

2.5 Katalis

Katalis merupakan zat yang dapat mempercepat reaksi tanpa ikut terkonsumsi oleh keseluruhan reaksi. Pada dasarnya, katalis harus ikut bereaksi dengan reaktan untuk membentuk suatu zat antara aktif. Zat antara kemudian akan bereaksi dengan molekul reaktan yang lain menghasilkan produk. Pada akhirnya, produk yang terbentuk akan terlepas dari permukaan katalis (Wahyu Hidayat dan Michael Hutagalung 2007). Pada umumnya, reaksi

Repository Universitas Brawijaya
REPOSITORY.UB.AC.ID
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

transesterifikasi merupakan reaksi lambat. Tanpa adanya katalis, proses pembuatan biodiesel dengan reaksi transesterifikasi hanya dapat menghasilkan konversi sebesar 85% setelah 10 jam reaksi pada suhu 235 °C dengan tekanan 62 bar (Diasakou, dkk., 2001). Maka dari itu sangat diperlukan penambahan katalis dalam proses produksi biodiesel.

Jenis katalis yang dapat digunakan untuk memproduksi biodiesel ada 2, yakni :

2.5.1 Katalis Homogen

Katalis homogen memiliki wujud sama dengan pereaksi dan dapat mempercepat reaksi melalui pembentukan kompleks teraktivasi dengan salah satu pereaksi. Pada proses transesterifikasi, katalis homogen dibagi menjadi katalis asam dan katalis basa.

2.5.1.1. Katalis Asam

Alternatif yang dapat digunakan untuk pembuatan biodiesel adalah dengan menggunakan katalis asam. Selain dapat mengkatalisis reaksi transesterifikasi minyak tumbuhan menjadi biodiesel, katalis asam juga dapat mengkatalisis reaksi esterifikasi asam lemak bebas yang terkandung di dalam minyak menjadi biodiesel. Katalis asam umumnya digunakan dalam proses pretreatment terhadapat bahan baku minyak tumbuhan yang memiliki kandungan asam lemak bebas yang tinggi namun sangat jarang digunakan dalam proses utama pembuatan biodiesel. Katalis asam homogen seperti asam sulfat, bersifat sangat korosif, sulit dipisahkan dari produk dan dapat ikut terbuang dalam pencucian sehingga tidak dapat digunakan kembali sekaligus dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan. Katalis asam heterogen seperti Nafion, meskipun tidak sekorosif katalis asam homogen dan dapat dipisahkan untuk digunakan kembali, cenderung sangat mahal dan memiliki kemampuan katalisasi yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan katalis basa.

2.5.1.2. Katalis Basa

Katalis basa homogen seperti NaOH (natrium hidroksida) dan KOH (kalium hidroksida) merupakan katalis yang paling umum digunakan dalam proses pembuatan biodiesel karena dapat digunakan pada temperatur dan tekanan operasi yang relatif rendah serta memiliki kemampuan katalisator yang tinggi. Akan tetapi,

katalis basa homogen sangat sulit dipisahkan dari campuran reaksi sehingga tidak dapat digunakan kembali dan pada akhirnya akan ikut terbuang sebagai limbah yang dapat mencemarkan lingkungan.

Di sisi lain, katalis basa heterogen seperti CaO, meskipun memiliki kemampuan katalisator yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan katalis basa homogen, dapat menjadi alternatif yang baik dalam proses pembuatan biodiesel. Katalis basa heterogen dapat dengan mudah dipisahkan dari campuran reaksi sehingga dapat digunakan kembali, mengurangi biaya pengadaan dan pengoperasian peralatan pemisahan yang mahal serta meminimasi persoalan limbah yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan.

Meskipun katalis basa memiliki kemampuan katalisator yang tinggi serta harganya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan katalis asam, untuk mendapatkan performa proses yang baik, penggunaan katalis basa dalam reaksi transesterifikasi memiliki beberapa persyaratan penting, diantaranya alkohol yang digunakan harus dalam keadaan anhidrous dengan kandungan air < 0.1 - 0.5 %-berat serta minyak yang digunakan harus memiliki kandungan asam lemak bebas < 0.5% (Lotero et al., 2005). Keberadaan air dalam reaksi transesterifikasi sangat penting untuk diperhatikan karena dengan adanya air, alkil ester yang terbentuk akan terhidrolisis menjadi asam lemak bebas. Lebih lanjut, kehadiran asam lemak bebas dalam sistem reaksi dapat menyebabkan reaksi penyabunan yang sangat menggangu dalam proses pembuatan biodiesel.

Akibat reaksi samping ini, katalis basa harus terus ditambahkan karena sebagian katalis basa akan habis bereaksi membentuk produk samping berupa sabun. Kehadiran sabun dapat menyebabkan meningkatnya pembentukkan gel dan viskositas pada produk biodiesel serta menjadi penghambat dalam pemisahan produk biodisel dari campuran reaksi karena menyebabkan terbentuknya emulsi.

2.5.2 Katalis Heterogen

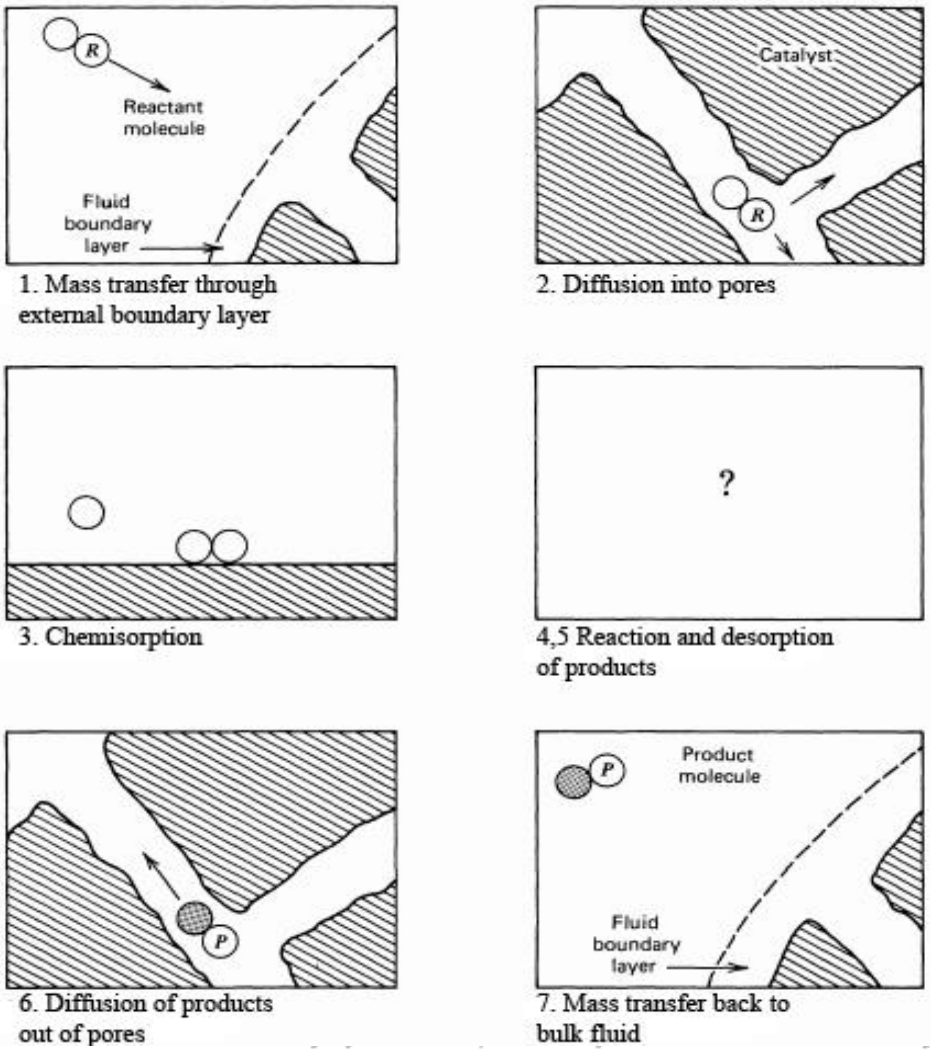
Katalisis heterogen adalah reaksi dengan bahan kimia lebih dari satu fase, biasanya katalis merupakan padatan (katalis heterogen) sedangkan reaktan dan produk berada pada fase cair ataupun gas. (Fogler, 2004).

Pada kasus tertentu, katalis terdiri dari partikel material aktif yang terdispersi pada substansi yang kurang aktif, yang disebut dengan *support*. Material aktif yang terdapat dalam katalis tesebut terdiri atas substansi lain yang dinamakan promotor. Promotor berguna untuk meningkatkan aktivitas katalis. (Fogler, 2004).

Katalis basa heterogen seperti zeolit, $SnCl_2$, CaO, $SnCl_2$, ZrO_2, Al_2O_3 dan lain-lain. Memiliki kemampuan katalisator yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan katalis basa homogen, akan tetapi dapat menjadi alternatif yang baik dalam proses pembuatan biodiesel. Katalis basa heterogen dapat dipisahkan dengan mudah dari campuran reaksi sehingga dapat digunakan kembali. Namun, katalis heterogen menghasilkan konversi yang lebih rendah dibandingkan konversi katalis homogen. Kelebihan lain dari katalis heterogen adalah lebih ekonomis, karena proses separasi produk katalisis lebih mudah dilakukan. (Fogler, 2004).

Terdapat 7 tahapan dalam reaksi katalisis heterogen, yaitu (Hill, 1977):

a. Perpindahan massa reaktan dari fluida *bulk* ke antarmuka fluida-padatan (permukaan luar partikel padatan). Tahap ini biasa disebut sebagai difusi eksternal reaktan.
b. Perpindahan massa reaktan secara intrapartikel ke dalam partikel padatan (jika berpori). Tahap ini biasa disebut sebagai difusi internal reaktan.
c. Adsorpsi reaktan pada sisi-sisi aktif (*interior sites*) permukaan partikel padatan (atau katalis padat).
d. Reaksi reaktan-teradsorp menjadi produk-teradsorp di permukaan aktif padatan (atau katalis padat).
e. Desorpsi produk-teradsorp dari permukaan partikel padatan (atau katalis padat).
f. Perpindahan massa produk secara intrapartikel dari sisi-sisi dalam ke permukaan luar partikel padatan (jika berpori). Tahap ini biasa disebut sebagai difusi internal produk.
g. Perpindahan massa produk dari antarmuka fluida-padatan (permukaan luar partikel padatan) ke fluida bulk. Tahap ini biasa disebut sebagai difusi eksternal produk.



Gambar 2.2 Skema Reaksi Katalisis Heterogen Pada Katalis Berpori

2.5.2.1 Katalis Heterogen CaO-Fe_2O_3

Katalis CaO merupakan salah satu katalis heterogen yang telah secara luas diaplikasikan dalam proses pembuatan biodiesel. Untuk meningkatkan kemampuan katalis CaO yang akan digunakan untuk proses transesterifikasi, diberikan pengemban (*precursor*) berupa *metal-based precursor* seperti Zn, Mn, Al, dan Fe. Fungsi dari pengemban itu sendiri adalah untuk meningkatkan luas permukaan dari sisi aktrif katalis CaO. Pengemban yang akan digunakan terbuat dari $Fe(NO_3)_2$ yang akan dicampurkan dengan CaO menggunakan metode impregnasi basah sehingga terbentuk katalis Fe_2O_3 – CaO.

Terdapat berbagai macam cara untuk mensintesis katalis heterogen, contohnya metode impregnasi. Pengertian dari impregnasi adalah proses penjenuhan total suatu zat menggunakan zat tertentu. Banyak katalis yang disintesis dengan metode ini.

Metode ini merupakan teknik preparasi katalis yang paling sering digunakan daripada metode lainnya. Alasan utamanya adalah karena kemudahan dalam pengerjaannya. Tujuannya adalah untuk mengisi pori-pori menggunakan larutan garam logam dengan konsentrasi tertentu. Setelah diimpregnasi, langkah selanjutnya adalah pengeringan dan pemanasan pada suhu tinggi (kalsinasi), sehingga terjadi dekomposisi precursor menjadi spesi aktif.

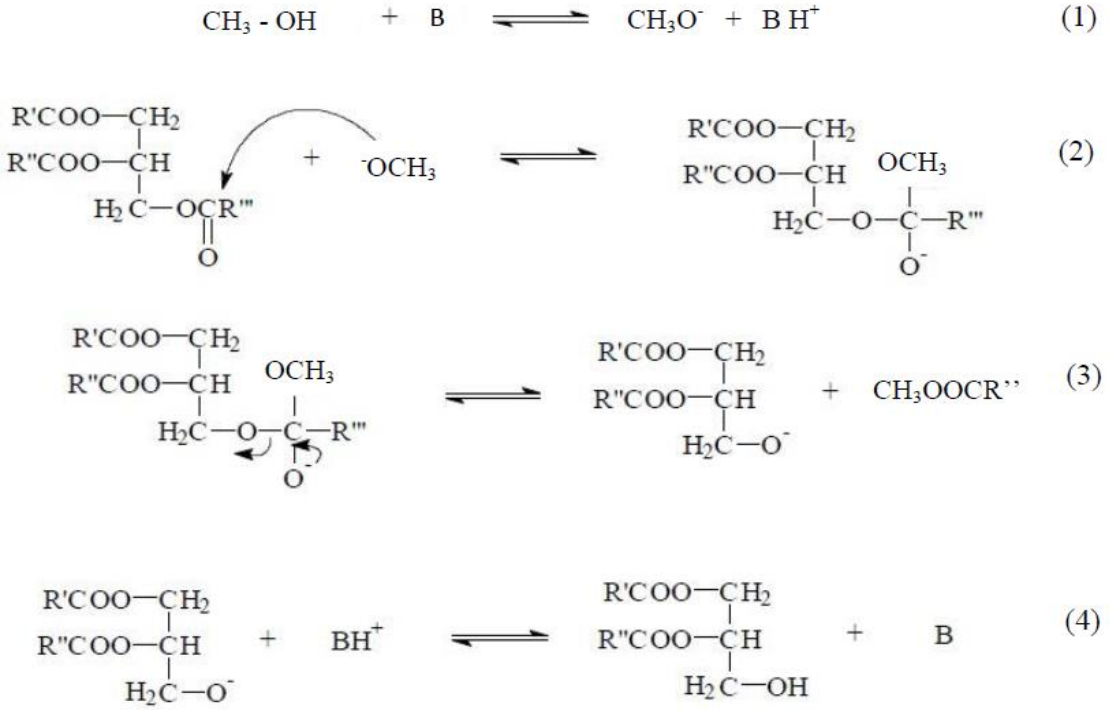
Pada impregnasi basah, jumlah larutan precursor fasa aktif ditambahkan ke penyangga melebihi volume pori penyangga. Walaupun metode ini adalah yang termudah, tetapi dapat menghasilkan deposisi precursor fasa aktif yang sangat banyak pada bagian luar penyangga setelah dikeringkan dan menghasilkan distribusi fasa aktif mirip kulit telur pada bagian luar penyangga.

Proses impregnasi diawali dengan memilih *support* yang akan digunakan. Beberapa pertimbangan yang dijadikan dasar pada pemilihan *support* yang akan digunakan adalah sebagai berikut (Yates & Satterfield, 1991):

a. Bersifat inert dan tidak menghasilkan reaksi lain.
b. Memiliki sifat-sifat mekanik, termasuk ketahanan secara fisik.
c. Stabil.
d. Memiliki luas permukaan yang besar.
e. Porous
f. Harganya murah

Untuk membuat katalis CaO-Fe_2O_3 dengan metode impregnasi basah, mula mula suspensi CaO dan suspensi $Fe(NO_3)_2$ dicampur dengan rasio yang telah ditentukan dan kemudian diaduk selama 4 jam dalam suhu ruang. Kemudian campuran yang terbentuk disaring untuk memisahkan fraksi padat dengan fraksi cair. Fraksi padat yang didapat kemudian dikeringkan pada suhu 120°C selama 4 jam dan kemudian dilakukan proses kalsinasi pada suhu 900°C untuk membentuk katalis Fe_2O_3 – CaO (Joshi, dkk., 2015).

Dalam proses transesterifikasi, proses yang menggunakan katalis basa akan berlangsung lebih cepat dibandingkan katalis asam. Tahapan proses reaksi transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.3. Mekanisme reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa (Schuchardt, dkk., 1998)

Dari mekanisme reaksi diatas, pada tahap 1 katalis basa akan bereaksi dengan metanol membentuk metoksida dan katalis yang terprotonasi. Kemudian pada tahap 2 terjadi serangan nukleofilik oleh metoksida terhadap gugus karbonil pada gliserida yang membentuk senyawa *intermediate* tetrahedral, yang selanjutnya pada tahap 3 berubah menjadi alkil ester dan suatu anion gliserida, dan yang terakhir pada tahap 4 terjadi proses deprotonasi katalis yang terbentuk pada tahap 1 sehingga menghasilkan katalis yang memiliki situs aktif.

2.6 Analisis Biodiesel

a. Bilangan Asam

Angka asam adalah ukuran dari jumlah asam lemak bebas. Angka asam dinyatakan sebagai jumlah miligram KOH yang digunakan untuk menetralkan asam lemak bebas yang terdapat dalam 1 gram minyak atau lemak. Sebagian besar asam lemak berbentuk ester atau trigliserida (Keraten, 1986). Bilangan asam yang besar menunjukkan asam lemak bebas yang terkandung bernilai besar pula. Makin tinggi bilangan asam, maka makin rendah kualitas suatu minyak sawit tersebut (Sudarmadji, 2003).

b.Densitas (Massa Jenis)

Densitas merupakan perbandingan massa dengan volume tertentu dari suatu fluida pada temperatur tertentu. Densitas minyak adalah massa minyak per satuan volume pada suhu tertentu. Berat jenis (*specific gravity*) minyak adalah perbandingan antara kerapatan molekul minyak pada suhu tertentu dengan kerapatan molekul air pada suhu tertentu (A. Hardjono, 2001).

c.Nilai Yield

Nilai yield produk adalah ukuran tingkat reaksi pada beberapa titik (waktu atau keadaan) dalam hal produk dan reaktan yang ditentukan. Cara yang paling langsung dalam menghitung hasil yield produk dalam suatu sistem yang kompleks dari data eksperimen adalah dengan cara model stoikiometri dalam bentuk kanonik, dengan suatu produk nonkomponen. Nilai yield produk D pada A dapat dirumuskan sebagai berikut: (Missen, 1999)

$$Y_{D/A} = \frac{\text{Mol reaktan A yang bereaksi}}{\text{Mol A awal}}$$

$$Y_{D/A} = \frac{\text{Mol reaktan A yang bereaksi}}{\text{Mol D yang terbentuk}} \times \frac{\text{Mol D yang terbentuk}}{\text{Mol A awal}}$$

Namun pada sumber lain juga disebutkan bahwa pengertian yield adalah jumlah massa atau mol dari produk akhir dibagi dengan massa atau mol dari reaktan awal yang digunakan. Bila produk dan reaktan yang terlibat dalam reaksi lebih dari satu, maka yield harus bisa dibedakan dari reaktan yang digunakan. Misalkan saja ada reaksi seperti ini: (Himmelblau, 1989)

$$A \rightarrow B \rightarrow C$$

Dengan B adalah produk yang diinginkan dan C adalah produk yang tidak diinginkan. Yield dari B adalah mol atau massa yang dihasilkan dibagi dengan mol atau massa reaktan A yang dikonsumsi atau dipakai. (Himmelblau, 1989). Yield B terhadap A adalah sebagai berikut:

$$Y_{B/A} = \frac{Massa\ atau\ mol\ B}{Massa\ atau\ mol\ A} \times 100\%$$

2.7 Menghitung Energi Aktivasi

2.7.1 Konstanta Laju Reaksi Energi Aktivasi

Bentuk konstanta laju reaksi (k) merupakan sebuah misnomer karena nilai k bervariasi terhadap temperatur, pelarut untuk reaksi, dan konsentrasi katalis yang ada dalam sistem reaksi. (Hill, 1977).

Konstanta laju reaksi dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa metode, yaitu (Hill, 1997) :

1. Metode integral berdasarkan integrasi laju reaksi. Dalam pendekatannya menganalisa data dengan plot beberapa fungsi konsentrasi reaktan terhadap waktu.
2. Metode diferensial berdasarkan diferensiasi data konsentrasi eksperimen terhadap waktu untuk memperoleh laju reaksi aktual. Dalam pendekatannya menganalisa data dengan postulasi berbagai hubungan fungsional antara laju reaksi dan konsentrasi zat dalam campuran reaksi dan menguji hipotesanya menggunakan plot yang sesuai.
3. Metode berdasarkan simplifikasi laju reaksi. Dalam pendekatannya menggunakan salah satu reaktan atau rasio stoikiometri reaktan yang berlebih untuk memberikan evaluasi sebagian dalam bentuk laju reaksi. Metode ini dapat digunakan dalam penghubung analisa diferensial atau integral dari data eksperimen.

Selain menggunakan metode grafis, nilai konstanta laju reaksi dapat ditentukan dengan menggunakan prosedur numerik. Walaupun metode grafis merupakan metode yang paling praktis dan sederhana untuk menentukan nilai konstanta laju reaksi, prosedur numerik juga dapat digunakan untuk menentukan kosntanta laju reaksi.

2.7.2 Hubungan Konstanta Laju Reaksi Dengan Energi Aktivasi

Konstanta laju reaksi digunakan untuk perhitungan energi aktivasi. Konstanta laju reaksi dengan energi aktivasi saling berhubungan seperti ditunjukkan pada Persamaan Arrhenius. Persamaan Arrhenius menurut Renata (2016) adalah sebagai berikut:

$$k = A \exp(-E_a/RT) \qquad (2.1)$$

Persamaan Arrhenius juga dapat dinyatakan dalam bentuk lain, yaitu:

$$\ln k = \ln A - -\frac{Ea}{RT} \quad (2.2)$$

Dimana A adalah konstanta frekuensi tumbukan reaksi, R adalah konstanta gas (8,314 J/gmol K), dan T adalah suhu mutlak.

Laju suatu reaksi sangat dipengaruhi oleh suhu. Persamaan laju reaksi secara umum pada orde n menurut Levenspiel (1999) adalah:

$$-r_A = kC_A^a C_B^b \ldots C_D^d \text{ , } a + b + \ldots + d = n \quad (2.3)$$

Setelah didapatkan nilai konstanta laju reaksi pada masing-masing variabel suhu, maka dapat dilakukan perhitungan energi aktivasi dengan berdasarkan Persamaan Arrhenius diatas.

Energi aktivasi adalah energi minimum yang dibutuhkan oleh suatu reaksi kimia agar dapat berlangsung. Energi aktivasi memiliki simbol Ea dengan E menotasikan energi dan a menotasikan aktivasi. Kata aktivasi memiliki makna bahwa suatu reaksi kimia membutuhkan tambahan energi untuk dapat berlangsung. (Basset dkk, 1994).

2.8 Penelitian Pendukung

Dalam penelitian ini, terdapat rujukan-rujukan penelitian yang dijadikan dasar untuk melakukan percobaan. Renata (2016) yaitu Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah Dengan Bantuan Gelombang Mikro. Perlakuan meliputi kombinasi tiga level suhu (45, 50, dan 55 °C) dan lima level lama reaksi (2, 3, 4, 5, dan 6 menit). Parameter yang dianalisis adalah rendemen, massa jenis, viskositas dan energi aktivasi Kinetika reaksi disusun dengan asumsi bahwa reaksi transesterifikasi adalah reaksi orde satu dan merupakan fungsi dari suhu dan konsentrasi non biodiesel. Energi aktivasi diperoleh dengan menggunakan persamaan arrhenius. Hasil penelitian menunjukkan rendemen biodiesel berkisar antara 33,45 hingga 66,77%. Rendemen tertinggi terjadi pada suhu 55 °C dan waktu reaksi 6 menit. Biodiesel yang dihasilkan memiliki massa jenis antara 0,86 – 0,87 gram/ml (sesuai SNI), dan viskositas 3,79 – 5,53 cSt (sesuai SNI). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu rekasi maka semakin besar nilai konstanta laju reaksi (*k*). Nilai *k* adalah 9,8 (10^{-4}), 15p,7(10^{-4}), dan 16(10^{-4})s^{-1} yang berturut-turut diperoleh untuk suhu 45, 50 dan 55 °C. Nilai energi aktivasi (E_a) reaksi transesterifikasi minyak jelantah dengan bantuan gelombang mikro adalah 42,41 kj/mol. Yang membedakan penelitian kami dengan

penelitian yang dilakukan oleh Renata (2016) adalah metode pemanasan pada saat proses transesterifikasi. Kami tidak menggunakan gelombang mikro untuk proses pemanasan, melainkan menggunakan pemanasan konvensional dengan bantuan *waterbath*.

Ye, dkk. (2016) melakukan penelitian proses transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis heterogen CaO, dengan membandingkan metode antara pemanasan konvensional dan iradiasi *microwave*. Dimana metode iradiasi *microwave* mampu meningkatkan laju reaksi dan meningkatkan konversi biodiesel hingga tiga kali lipat.

Sedangkan Chen, dkk. (2015) telah melakukan penelitian pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit dengan katalis CaO – SiO_2. Namun dengan tambahan prekursor silika, justru menurunkan yield biodiesel yang diperoleh. Seiring meningkatnya rasio SiO_2 dari CaO, justru semakin menurunkan yield biodiesel, dari 90,2%, hingga 80,1%.

Sedangkan Joshi, dkk. (2016) melakukan transesterifikasi minyak non-edible (algal, jatropha, dan pongomia) dengan menggunakan katalis dengan *metal-based precursor*. Antara lain ZnO – CaO, Fe_2O_3 – CaO, MnO_2 – CaO, dan Al_2O_3 – CaO. Metode transesterifikasi yang digunakan adalah dengan menggunakan sistem *microwave*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya prekursor, mampu meningkatkan yield dari biodiesel, dimana katalis ZnO – CaO menghasilkan yield paling tinggi yaitu 97,8 – 99,8%.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitan terapan (*Applied Research)* menggunakan teknik eksperimen. Jumlah katalis CaO-Fe_2O_3 dalam proses pembuatan biodiesel sebesar 5% dari berat minyak sawit yang digunakan. Penambahan Fe_2O_3 berfungsi untuk mengoptimalkan kerja katalis CaO dan mempermudah proses pemisahan katalis dengan produk. Pembuatan biodiesel menggunakan rasio mol metanol:minyak sawit sebesar 8 : 1 (Chen, dkk, 2015). Variabel yang digunakan yaitu suhu dan waktu pada proses transesterifikasi dalam pembuatan biodiesel. Waktu yang digunakan adalah 100, 110, 120, 130 dan 140 menit. Suhu yang digunakan adalah 60°C dan 65°C. Suhu 65°C digunakan pada proses transesterifikasi untuk mengetahui pengaruh waktu terhadap kualitas dan kuantitas biodiesel yang dihasilkan, sedangkan suhu 60°C digunakan sebagai waktu pembanding dan proses mencari nilai energi aktivasi biodiesel.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Seperangkat alat gelas laboratorium
2. Hot Plate dan Magnetic Stirrer
3. Oven
4. *Waterbath*
5. *Vacuum Jet Ejector*
6. Termometer
7. Stopwatch
8. Neraca Analitik
9. Corong Pisah
10. Clamp dan Statis
11. Desikator
12. *Microwave*
13. Kertas Saring
14. *Termocouple*

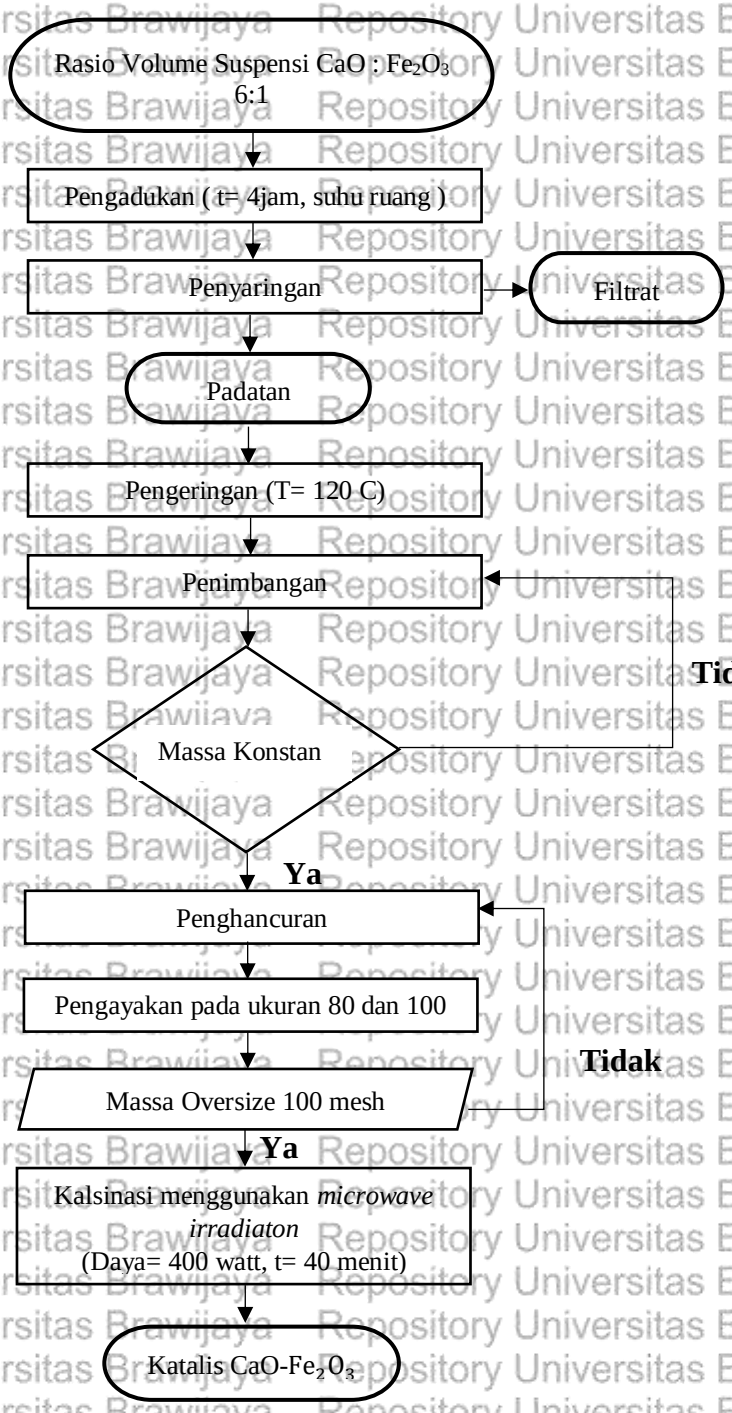
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. CaO
2. Minyak Sawit
3. Metanol
4. Fe_2O_3
5. Aquades
6. KOH 0,1 N
7. Asam Oksalat 0,1N

3.3 Tahap Pelaksanaan dan Penelitian Data

3.3.1 Preparasi Katalis Heterogen CaO-Fe_2O_3

Preparasi katalis dilakukan dengan proses impregnasi. Proses impregnasi yang digunakan pada penelitian adalah proses impregnasi basah. Proses impregnasi basah terdiri dari beberapa proses antara lain: membuat larutan induk 16,67 gram CaO yang dimasukkan ke dalam labu ukur 250 mL, kemudian ditambahkan *deionized water* sebanyak 100 mL, membuat larutan suspensi 1,33gr Fe_2O_3 kemudian ditambahkan 98,67gr *deionized water* (Joshi et al., 2016). Rasio volume suspensi CaO:suspensi Fe_2O_3 sebesar 6:1, lalu penyaringan, pengeringan, dan kalsinasi (*microwave irradiation)*.

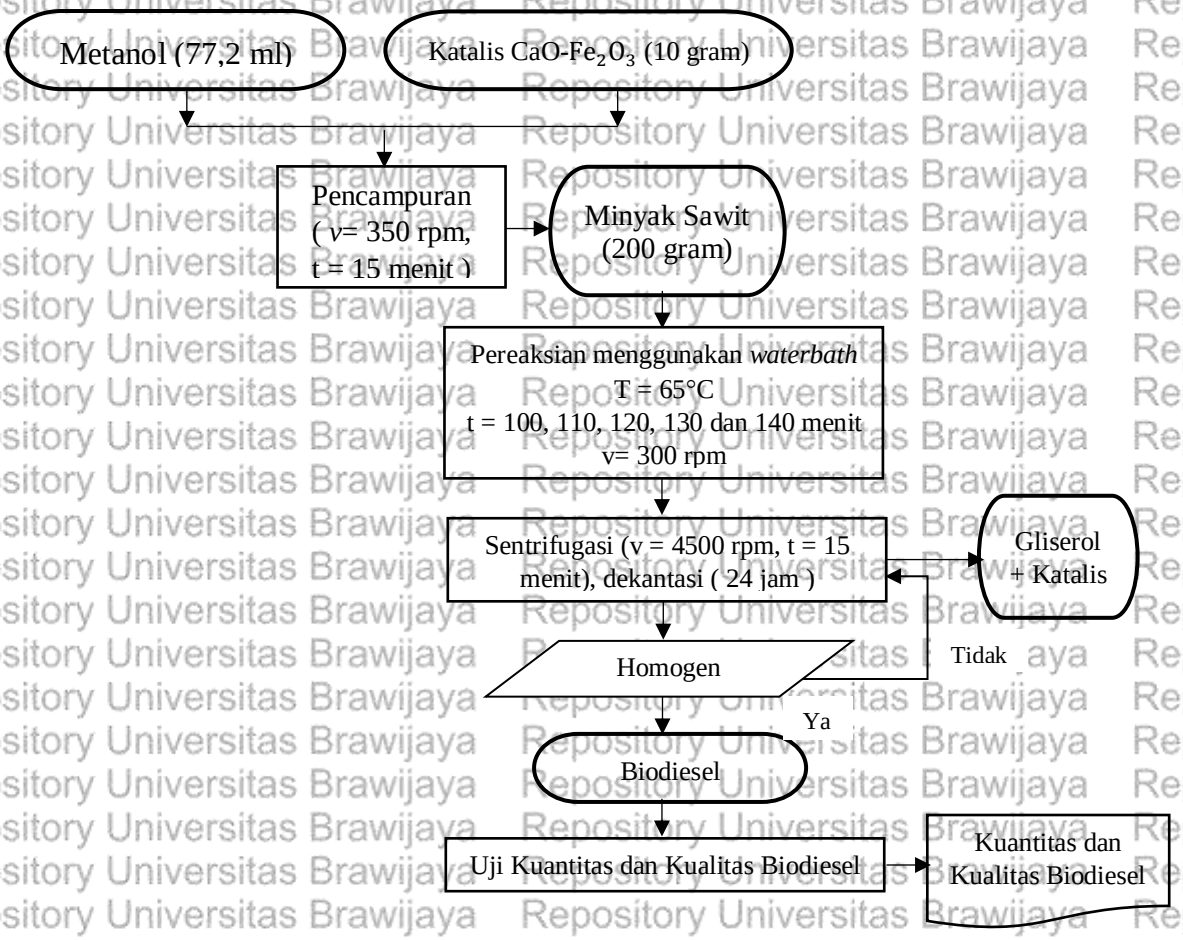


Gambar 3.1 Preparasi Katalis Heterogen CaO-Fe_2O_3 dengan Metode Impregnasi Basah

3.3.2 Reaksi Transesterifikasi Pembuatan Biodiesel

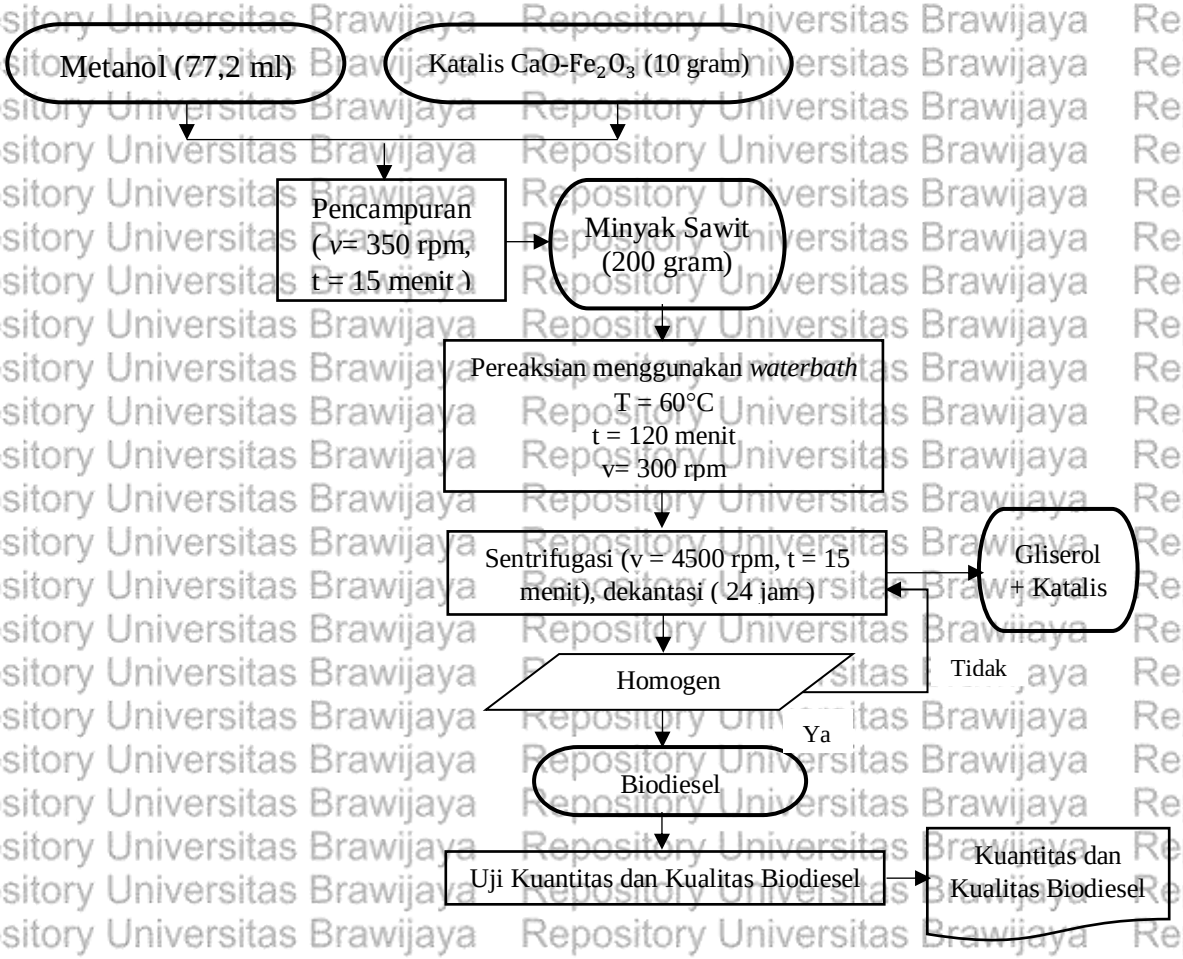
Pada reaksi transesterifikasi ini digunakan reaktan berupa metanol dan minyak sawit dengan bantuan katalis CaO, dan *support* katalis berupa Fe_2O_3. Sedangkan untuk rasio mol antara metanol:minyak sawit yang digunakan adalah 8 : 1. Katalis yang digunakan sebesar 5% dari berat minyak sawit. Pada saat mereaksikan minyak sawit dengan metanol dan katalis menggunakan *waterbath*, yang menjadi variabel adalah waktu dan suhu (Chen, dkk, 2015). Waktu yang digunakan adalah 100 menit, 110 menit, 120 menit,130 menit dan 140 menit. Suhu yang digunakan adalah 60°C dan 65°C. Variabel waktu digunakan untuk menentukan pengaruh waktu pada proses transesterifikasi pembentukan biodiesel terhadap kualitas dan kuantitas biodiesel yang dihasilkan. Sedangkan variabel suhu digunakan untuk menentukan nilai energi aktivasi yang dibutuhkan oleh produk biodiesel.

3.3.2.1 Proses Transesterifikasi Untuk Mengetahui Pengaruh Waktu dalam Pembentukan Biodiesel



Gambar 3.2 Reaksi Transesterifikasi Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Sawit

3.3.2.2 Proses Transesterifikasi Untuk Mencari Energi Aktivasi



Gambar 3.3 Reaksi Transesterifikasi Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Sawit

3.3.3 Uji Kuantitas Biodiesel

Sedangkan untuk mengetahui yield Biodiesel dan yield FAME yang dihasilkan dapat ditentukan dengan persamaan di bawah ini :

$$\text{Yield biodiesel} = \frac{\text{mol biodiesel dihasilkan}}{\text{mol biodiesel teoritis}} \text{x}100\% = \frac{\frac{\text{m biodiesel}}{\text{mr biodiesel}}}{3\text{x}\frac{\text{m minyak}}{\text{mr minyak}}} \text{x}100\%$$

$$\text{Yield FAME} = \frac{\text{mol FAME dihasilkan}}{\text{mol FAME teoritis}} \text{x}100\%$$

$$= \frac{\frac{\text{m FAME}}{\text{mr FAME}}}{3\text{x}\frac{\text{m trigliserida}}{\text{mr trigliserida}}} \text{x}100\%$$

$$= \frac{\text{m biodiesel x} \frac{\%\text{FAME}}{\text{mr FAME}}}{3 \text{ x } \frac{\text{m trigliserida}}{\text{mr trigliserida}}} \text{x } 100\%$$

Setelah menghitung kuantitas dari biodiesel, uji selanjutnya adalah uji kualitas biodiesel. Kualitas yang diuji antara lain :

Tabel 3.3. Parameter Uji Kualitas Biodiesel

No	Parameter Uji
1	Massa Jenis
2	Angka Asam
3	Viskositas Kinematik

3.3.4 Uji Kualitas Biodiesel

A. Massa Jenis

Untuk pengujian densitas menggunakan piknometer. Mula-mula dilakukan penimbangan piknometer kosong. Kemudian piknometer dikalibrasi menggunakan aquades untuk mengetahui volume piknometer yang sebenarnya. Kemudian densitas biodiesel dihitung dengan menimbang piknometer berisi biodiesel, sehingga diketahui massa biodiesel. Densitas biodiesel dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\boldsymbol{Densitas} = \frac{\boldsymbol{m\ biodiesel\ (gram)}}{\boldsymbol{v\ piknometer\ (ml)}}$$

B. Angka Asam

Untuk pengujian angka asam digunakan metode titrasi menggunakan KOH 0,1N. Pertama dilakukan standarisasi larutan KOH sebagai titran dengan menggunakan larutan asam oksalat 0,1N. Normalitas larutan KOH dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Va \text{ x } Na = Vb \text{ x } Nb$$

Repository Universitas Brawijaya
REPOSITORY.UB.AC.ID
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Dimana:

Va = Volume larutan asam oksalat (ml)

Na = Normalitas larutan asam oksalat (N)

Vb = Volume larutan KOH (ml)

Nb = Normalitas larutan KOH (N)

Kedua, sampel biodiesel sebanyak 20 gram di masukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml kemudian ditambahkan etanol 50 ml dan indikator PP sebanyak 3 tetes. Setelah itu dititrasi dengan KOH 0,1 N yang sudah distandarisasi hingga warna berubah menjadi merah muda. Bilangan asam biodiesel dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$AV = \frac{mr_{KOH} \text{ x N x V}}{m_{biodiesel}}$$

Dimana:

V= Volume KOH yang dibutuhkan untuk titrasi (ml)

N= Normalitas larutan KOH

G= berat sampel = massa biodiesel (gram)

56,1= berat molekul KOH (g/mol)

C. Viskositas Kinematik

Penentuan viskositas biodiesel dilakukan dengan menggunakan peralatan Viskometer Ostwald. Suhu lingkungan yang digunakan pada percobaan adalah 40°C. Pada Viskometer Ostwald terdapat batas atas dan batas bawah yang digunakan untuk pengukuran waktu mengalirnya biodiesel. Waktu mengalirnya biodiesel dari batas atas hingga bawah dapat digunakan untuk menghitung viskositas dinamis biodiesel. Persamaan yang digunakan untuk menghitung viskositas dinamis biodiesel adalah:

$$\mu_{biodiesel} = \frac{\rho_{biodiesel}\, x\, t_{biodiesel}}{\rho_{air}\, x\, t_{air}}\, x\, \mu_{air}$$

Dimana:

$\mu_{biodiesel}$ = viskositas dinamis biodiesel (cp)

$\rho_{biodiesel}$ = densitas biodiesel (g/cm^3)

$t_{biodiesel}$ = waktu yang dibutuhkan biodiesel untuk mengalir dari batas atas hingga batas bawah pada Viskometer Ostwald (s)

μ_{air} = viskositas air pada suhu 40°C (cp)

ρ_{air} = densitas air pada suhu 40°C (g/cm^3)

t_{air} = waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir dari batas atas hingga batas bawah pada Viskometer Ostwald (s)

3.3.5 Perhitungan Energi Aktivasi

Diawali dengan substitusi persamaan (2.1) ke persamaan (2.3) berikut:

$$k = A \exp(-E_a/RT) \quad (2.1)$$

$$-r_A = kC_A^a C_B^b \ldots C_D^d \text{ , } a + b + \ldots + d = n \quad (2.3)$$

$$-r_{A1} = k_1 C_A{}^\wedge n$$

$$-r_{A2} = k_2 C_A{}^\wedge n$$

Sehingga didapatkan:

$$-r_{A1} = A \exp(-E_a/RT_1)\, C_A^n \quad (3.1)$$

$$-r_{A2} = A \exp(-E_a/RT_2)\, C_A^n \quad (3.2)$$

ln →

$$\ln(-r_{A1}) = \ln A - \frac{Ea}{RT1} + n \ln c_A$$

$$\ln(-r_{A2}) = \ln A - \frac{Ea}{RT2} + n \ln c_A \quad -$$

$$ln\frac{(-r_{A1})}{(-r_{A2})} = \ln\frac{A}{A} - \frac{Ea}{RT1} + \frac{Ea}{RT2} + n\, ln\frac{cA}{cA}$$

$$ln\frac{(-r_{A1})}{(-r_{A2})} = \ln 1 - \frac{Ea}{R}\left(\frac{1}{T1} - \frac{1}{T2}\right) + n \ln 1$$

$$ln\frac{-r_{A1}}{-r_{A2}} = -\frac{Ea}{R}\left(\frac{1}{T1} - \frac{1}{T2}\right) \quad (3.3)$$

Dimana:

$$-r_A = -\left(\frac{dCA}{dt}\right) \quad (3.4)$$

$$-r_A = -\left(\frac{dCAo(1-XA)}{dt}\right) \quad (3.5)$$

Substitusi persamaan (3.4) ke persamaan (3.3), didapat:

$$ln\frac{-\left(\frac{dCA}{dt}\right)1}{-\left(\frac{dCA}{dt}\right)2} = -\frac{Ea}{R}\left(\frac{1}{T1} - \frac{1}{T2}\right) \quad (3.6)$$

Substitusi persamaan (3.5) ke persamaan (3.3), didapat:

$$ln\frac{-\left(\frac{dCAo(1-XA)}{dt}\right)1}{-\left(\frac{dCAo(1-XA)}{dt}\right)2} = -\frac{Ea}{R}\left(\frac{1}{T1} - \frac{1}{T2}\right) \quad (3.7)$$

Energi aktivasi reaksi transesterifikasi minyak sawit menjadi biodiesel ditentukan dengan menggunakan persamaan (3.7) di atas.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Konversi FAME Biodiesel

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kadar FAME dari biodiesel, semakin tinggi nilai kadar FAME maka kualitas biodiesel semakin baik. Perhitungan konversi FAME dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\text{Konversi FAME} = \frac{\text{mol FAME dihasilkan}}{\text{mol FAME teoritis}} \text{x}100\%$$

$$= \frac{\frac{\text{m FAME}}{\text{mr FAME}}}{3\text{x}\frac{\text{m trigliserida}}{\text{mr trigliserida}}} \text{x}100\%$$

$$= \frac{\text{m biodiesel x } \frac{\%\text{FAME}}{\text{mr FAME}}}{3 \text{ x } \frac{\text{m trigliserida}}{\text{mr trigliserida}}} \text{x } 100\%$$

Tabel 4.1 Perbandingan Yield Biodiesel dengan Konversi FAME Biodiesel pada berbagai variasi waktu reaksi.

t reaksi (menit)	Yield Biodiesel	Kadar FAME	Konversi Trigliserida (X_A)
100	46,1 %	45,58 %	44,76%
110	64,2 %	76,17 %	74,81%
120	73,05 %	62,97 %	61,70%
130	73%	63,16 %	62,03%
140	59,05 %	80,00 %	78,57%

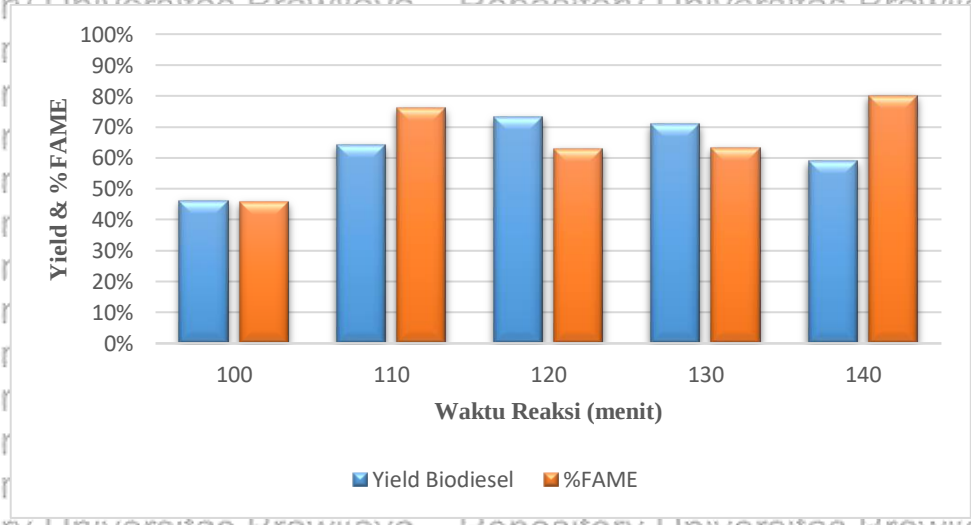
Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa kadar FAME tertinggi adalah variabel waktu reaksi 140 menit dengan kadar sebesar 80,00%. Sedangkan pada variabel waktu reaksi 120 menit kadar FAME hanya bernilai 62,97%. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai yield biodiesel tidak berbanding lurus dengan FAME yang dihasilkan. Menurut Dennis (2012), semakin lama waktu reaksi maka konversi trigliserida pada reaksi transesterifikasi semakin meningkat. Hal tersebut dikarenakan dengan semakin bertambahnya waktu reaksi maka tumbukan-tumbukan antar partikel akan semakin meningkat. Hal ini juga meningkatkan

waktu tinggal. Seiring meningkatnya waktu tinggal, maka kesempatan reaksi antar reaktan menjadi lebih besar, sehingga akan dihasilkan konversi reaksi yang lebih tinggi (Hasahatan, 2012). Namun setelah kesetimbangan tercapai tambahan waktu reaksi tidak mempengaruhi reaksi, melainkan dapat menyebabkan produk berkurang karena adanya reaksi bolak-balik, yaitu metil ester terbentuk menjadi trigliserida kembali (Affandi, dkk., 2013).

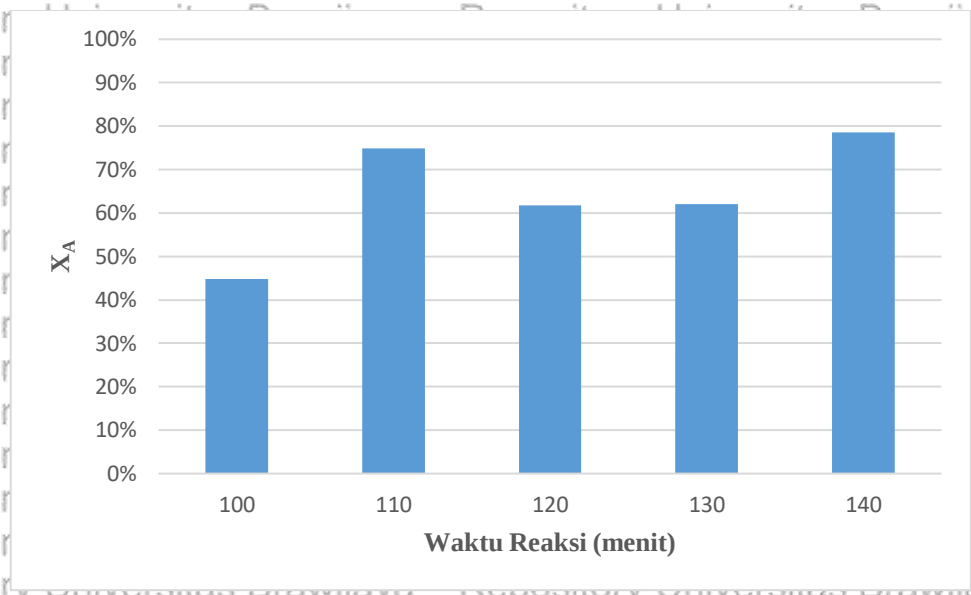
Dari tabel 4.1. terjadi kenaikan konversi trigliserida pada waktu reaksi 100 menit (44,76%) ke 110 menit (74,81%), namun terjadi penurunan pada 120 menit (61,70%), 130 menit (62,03%) dan 140 menit (78,57%). Menurut Faizal, dkk. (2013) waktu reaksi yang lebih lama tidak menjamin akan menghasilkan konversi trigliserida yang semakin tinggi. Hal tersebut disebabkan adanya reaksi bolak-balik (reversible) sehingga waktu reaksi yang lebih lama tidak menjamin akan menghasilkan konversi trigliserida yang semakin tinggi.

Adapun penyebab lain mengapa nilai konversi trigliserida menjadi FAME menurun dengan bertambahnya waktu adalah dikarenakan fenomena "*leaching*" dari katalis heterogen kalsium oksida (CaO). Menurut Kamila (2016) fenomena pelarutan kalsium pada produk FAME disebabkan karena adanya reaksi antara kalsium oksida (CaO) dengan gliserol yang membentuk kalsium (Ca). Kalsium (Ca) bersifat lebih mudah larut daripada kalsium oksida (CaO) sehingga lebih sulit untuk dipisahkan dari metil ester. Hal tersebut juga diperparah dengan tingginya nilai *catalyst loading* pada penelitian kali ini yaitu mencapai 5% berat trigliserida.

Pada Gambar 4.1 dibawah ini dapat dilihat grafik yield dan % Kadar FAME biodiesel *crude* di berbagai variabel waktu reaksi pada suhu reaksi 65ºC.



Gambar 4.1. Yield dan % Kadar FAME biodiesel *crude* di berbagai variabel waktu reaksi.



Gambar 4.2. Konversi Trigliserida (X_A) pada berbagai variasi waktu reaksi.

4.2 Penentuan Energi Aktivasi Reaksi Transesterifikasi

Pada reaksi transesterifikasi, dibutuhkan setidaknya dua suhu reaksi yang berbeda agar dapat dilakukan perhitungan energi aktivasi. Persamaan yang digunakan untuk menghitung energi aktivasi adalah :

$$ln\frac{-(\frac{dCAo(1-XA)}{dt})1}{-(\frac{dCAo(1-XA)}{dt})2} = -\frac{Ea}{R}\left(\frac{1}{T1}-\frac{1}{T2}\right) \quad (3.7)$$

Pada tabel 4.2. dapat dilihat hasil perhitungan energi aktivasi reaksi transesterifikasi yang didapatkan dengan perhitungan menggunakan persamaan 3.7.

Tabel 4.2. Energi Aktivasi Reaksi Transesterifikasi

t reaksi (menit)	T_1(K)	T_2(K)	Ea (kJ/mol)
120	333	338	-15,76 kJ / mol

Pada tabel 4.2 dapat dilihat Nilai Energi Aktivasi (Ea) bernilai negatif, yang menunjukkan bahwa laju reaksi transesterifikasi semakin menurun seiring dengan meningkatnya suhu reaksi.

Adapun pada penelitian lain yang dilakukan Renata (2016) membutuhkan energi aktivasi reaksi sebesar 42,41 kj/mol. Dibandingkan dengan penelitian tersebut, energi aktivasi pada penelitian ini lebih rendah. Menurut Rosyadi (2015), penyebab nilai energi aktivasi reaksi menggunakan *microwave* lebih besar dibandingkan pemanasan secara konvensional *(waterbath)* dikarenakan perbedaan nilai faktor frekuensi tumbukan reaksi (A). Sesuai dengan persamaan Arrhenius pada persamaan (2.1) :

$$k = A\ e^{(-E_a/RT)} \qquad (2.1)$$

Nilai faktor frekuensi tumbukan reaksi (A) berbanding terbalik dengan nilai energi aktivasi (E_a), sehingga dengan semakin meningkatnya nilai faktor frekuensi tumbukan reaksi (A) maka nilai energi aktivasi (E_a) reaksi akan semakin menurun. Faktor frekuensi tumbukan reaksi (A) yang tinggi pada penelitian ini disebabkan adanya penggunaan agitator dengan kecepatan hingga ±3000 rpm, sedangkan penelitian yang dilakukan Renata (2016) tidak menggunakan tambahan agitator.

4.2.1 Penentuan Nilai Konstanta Laju Reaksi dan Orde Reaksi Transesterifikasi

Dengan menggunakan pendekatan kinetika orde satu reaksi transesterifkasi (Freedman.*dkk*, 1984 dan Sofiah, 1999) maka dilakukan perhitungan kinetika dengan menggunakan metode grafik hubungan antara -ln([C_A]t /[C_A]) dengan t dan nilai k diambil dari slope grafik tersebut. Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai konstanta laju reaksi (k) adalah (Sahirman, 2008) :

$$-\frac{dCA}{dt} = -r_A$$

$$t = \int_{CA0}^{CA} \frac{-dCA}{-rA}$$

sedangkan $-r_A = k\,[CA]$

$$kt = -\int_{CA0}^{CA} \frac{dCA}{CA}$$

$$t = -\frac{1}{k} \ln \frac{[CA]o}{[CA]}$$

$$-\ln\frac{CA}{CAo} = kt$$

$$y = ax$$

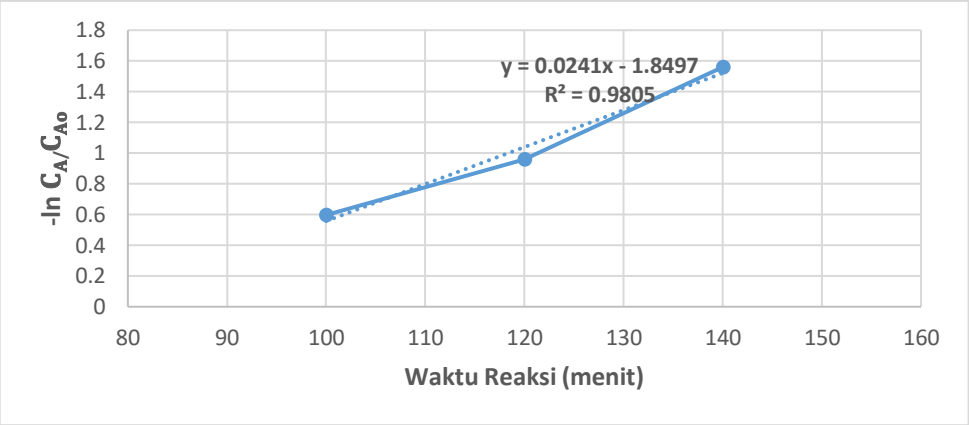
Pada tabel 4.3. dapat dilihat data konsentrasi trigliserida awal (C_{Ao}) dan konsentrasi trigliserida akhir (C_A) pada berbagai variasi waktu reaksi.

Tabel 4.3. Data konsentrasi trigliserida awal (C_{Ao}) dan konsentrasi trigliserida akhir (C_{At}) pada berbagai variasi waktu reaksi.

t reaksi (menit)	C_{Ao}	C_A	$-\ln \frac{CA}{CAo}$
100	0,238	0,131	0,597
110	0,238	0,059	1,394
120	0,238	0,091	0,961
130	0,238	0,090	0,972
140	0,238	0,050	1,560

Gambar 4.3. Grafik hubungan $-\ln \frac{CA}{CAo}$ dengan waktu (t) untuk menentukan nilai k

Hubungan antara nilai $-\ln \frac{CA}{CAo}$ dengan t pada berbagai suhu reaksi menunjukan grafik yang tidak linier, maka nilai k diambil pada kemiringan garis yang mendekati linier sesuai dengan Goud et al.(2006). Seperti yang disajikan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Grafik hubungan $-\ln \frac{CA}{CAo}$ dengan waktu (t) untuk menentukan nilai k

Pada Gambar 4.4. terdapat nilai intersep yaitu sebesar -1,8497. Nilai intersep menunjukkan bahwa reaksi tidak dapat didekati menggunakan orde satu (Levenspiel ,1999). Namun, menurut Levenspiel (1999), apabila terdapat suatu reaksi *irreversible* orde dua:

$$A + B \rightarrow \text{Produk}$$

Jika nilai konsentrasi salah satu reaktan berlebih ($C_{Bo} > C_{Ao}$) sehingga C_{Bo} bernilai konstan terhadap waktu (tidak mengalami perubahan signifikan terhadap waktu) maka perhitungan nilai konstanta laju reaksi (k) dapat didekati dengan menggunakan persamaan reaksi orde satu. Sehingga persamaan reaksi orde dua menjadi reaksi orde satu semu (*pseudo-first order reaction*).

Hubungan antara nilai $-\ln \frac{CA}{CAo}$ dengan t pada waktu reaksi 100, 120 dan 140 menit menunjukkan kelinieran tertinggi dibandingkan dengan waktu lainnya, sehingga grafik pada ketiga waktu ini dipilih untuk menentukan nilai konstanta laju reaksi (k). Hasil menunjukkan nilai konstanta laju reaksi pada suhu 65°C adalah 0,0241 menit^{-1}.

4.3 Karakterisasi Hasil Reaksi Transesterifikasi

4.3.1 Yield Biodiesel

Salah satu uji kuantitas yang dilakukan adalah penghitungan yield biodiesel. Yield biodiesel dihitung melalui perbandingan massa produk yang telah dikurangi massa gliserol dan katalis dengan massa minyak sawit awal. Persamaan umum perhitungan yield produk adalah (Himmeblau, 1989) :

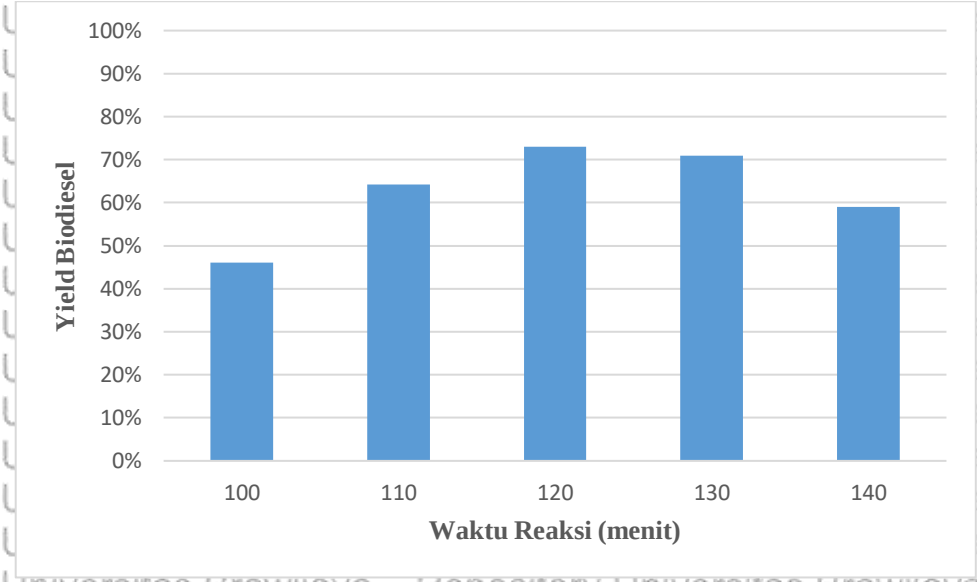
$$Y_{B/A} = \frac{Massa\ atau\ mol\ B}{Massa\ atau\ mol\ A} \times 100\%$$

Pada tabel 4.4. dibawah ini dapat dilihat hasil yield biodiesel berbagai variabel waktu reaksi pada suhu reaksi 65°C.

Tabel 4.4.*Yield* biodiesel *crude* pada berbagai variasi waktu reaksi.

t reaksi (menit)	Massa Biodiesel *Crude* (gram)	Massa Minyak Sawit Awal (gram)	*Yield* Biodiesel
100	92,20	200	46,1%
110	128,40	200	64,2%
120	146,10	200	73,05%
130	146	200	73%
140	118,10	200	59,05%

Dari tabel 4.4 dapat dilihat nilai yield tertinggi didapat pada variabel waktu 120 menit. Hal tersebut menunjukkan bahwa waktu reaksi 120 menit adalah waktu reaksi paling optimum dalam menghasilkan kuantitas yield terbaik pada percobaan ini. Dapat diambil keputusan bahwa reaksi transesterifikasi pada waktu 120 menit digunakan sebagai variabel waktu reaksi transesterifikasi pada suhu pembanding 60°C. Suhu pembanding dibutuhkan pada percobaan ini untuk menghitung nilai energi aktivasi reaksi transesterifikasi.



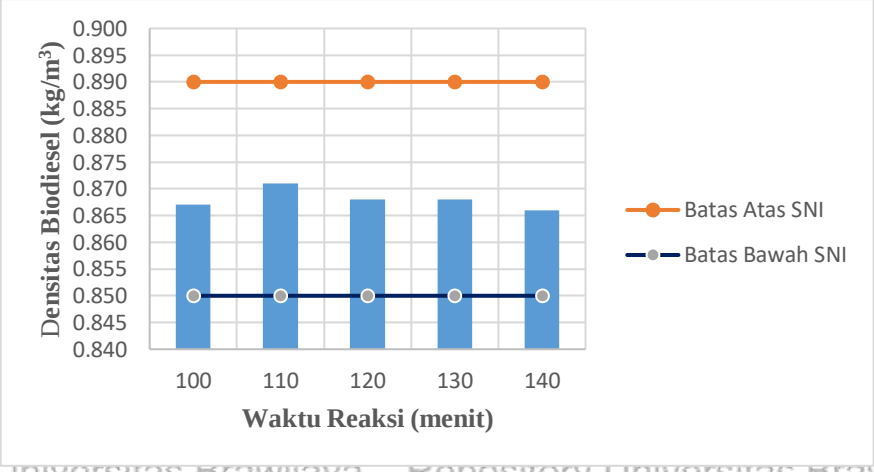
Gambar 4.5. Yield Biodiesel *Crude* pada berbagai variasi waktu reaksi.

4.3.2 Densitas Biodiesel

Pada tabel 4.5. dibawah ini dapat dilihat hasil pengujian densitas biodiesel pada berbagai variabel waktu reaksi pada suhu reaksi 65ºC.

Tabel 4.5. Densitas biodiesel pada berbagai variasi waktu reaksi.

t reaksi (menit)	Densitas Biodiesel (g/cm^3)	*Specific Gravity* Biodiesel
100	0,867 ±0,002	0,869 ±0,002
110	0,861 ±0,002	0,863 ±0,002
120	0,865 ±0,002	0,867 ±0,002
130	0,864 ±0,002	0,866 ±0,002
140	0,860 ±0,002	0,862 ±0,002



Gambar 4.6. Perbandingan Densitas Biodiesel *Crude* hasil penelitian dengan standar SNI

Pengujian densitas pada masing-masing variabel dilakukan sebanyak tiga kali (triplo). Massa biodiesel yang digunakan dalam perhitungan adalah massa biodiesel rata-rata. Pada tabel 4.5. diatas dapat dilihat bahwa nilai densitas biodiesel pada berbagai variabel masih memenuhi Standar Nasional Indonesia Biodiesel.

Pada gambar 4.6. juga dapat dilihat tren bahwa dengan semakin menaiknya kadar FAME biodiesel maka akan semakin menurunkan densitas biodiesel. Pada variabel 100 menit reaksi yang memiliki kadar FAME terendah 20,60% memiliki densitas tertinggi

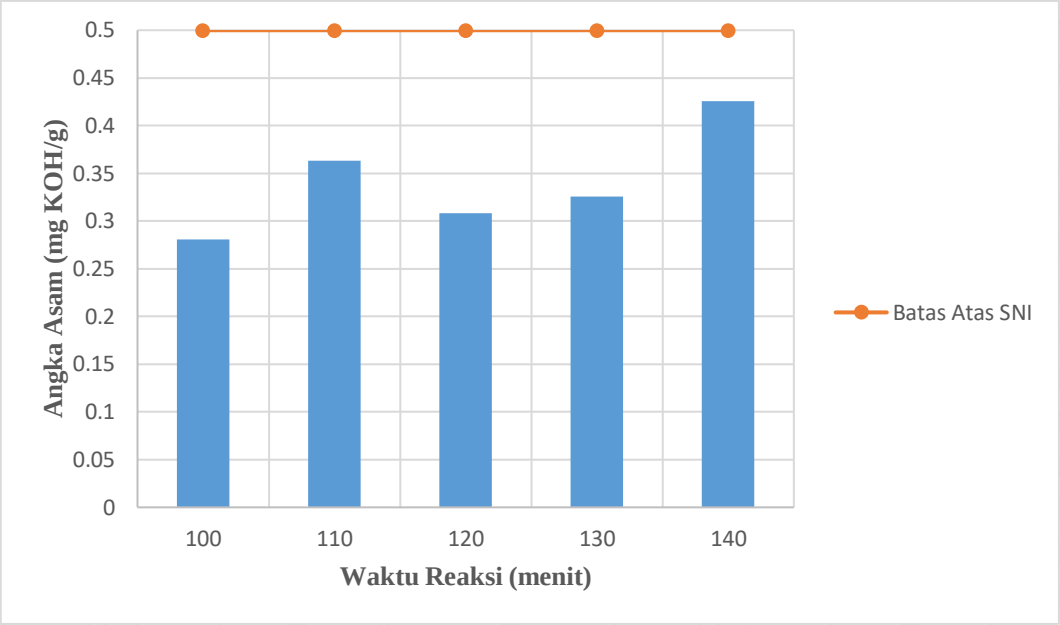
daripada variabel waktu lainnya. Sedangkan pada variabel 140 menit reaksi yang memiliki kadar FAME tertinggi 80,00% memiliki densitas terendah dibandingkan dengan variabel waktu lainnya. Hal tersebut disebabkan karena FAME memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan gliserol. Sehingga dengan semakin meningkatnya kadar FAME akan semakin menurunkan kadar gliserol. Dengan menurunnya kadar gliserol maka nilai densitas biodiesel akan semakin rendah.

4.3.3 Angka Asam Biodiesel

Pengujian angka asam pada penelitian skripsi kali ini dilakukan secara triplo. Hasil penelitian angka asam tertulis pada gambar 4.7. dan tabel 4.6. Data pada tabel 4.6 dan gambar 4.7. menunjukkan bahwa angka asam pada biodiesel dengan semua variabel memiliki nilai dibawah SNI, 0.5 mgKOH/gr. Nilai angka asam pada biodiesel berkisar antara 0.281 – 0.426 mg KOH/gr minyak. Angka asam pada produk biodiesel variabel 140 menit memiliki nilai tertinggi, sedangkan angka asam terendah terdapat pada produk biodiesel variabel 100 menit pada suhu reaksi 65°C. Pada variabel waktu reaksi 120 menit memiliki angka asam 0,308 mg KOH/gr minyak yang mana nilai angka asam tersebut masih dibawah nilai angka asam (mg KOH/gr) SNI Biodiesel.

Tabel 4.6. Angka Asam Biodiesel pada variasi waktu reaksi.

t reaksi (menit)	Angka Asam (mgKOH/gr)	Standar SNI (mgKOH/gr)
100 menit	0,381±0,050	0.5
110 menit	0,363±0,050	
120 menit	0,365±0,050	
130 menit	0,369±0,050	
140 menit	0,360 ±0,050	



Gambar 4.7. Perbandingan angka asam Biodiesel *Crude* hasil penelitian dengan standar SNI

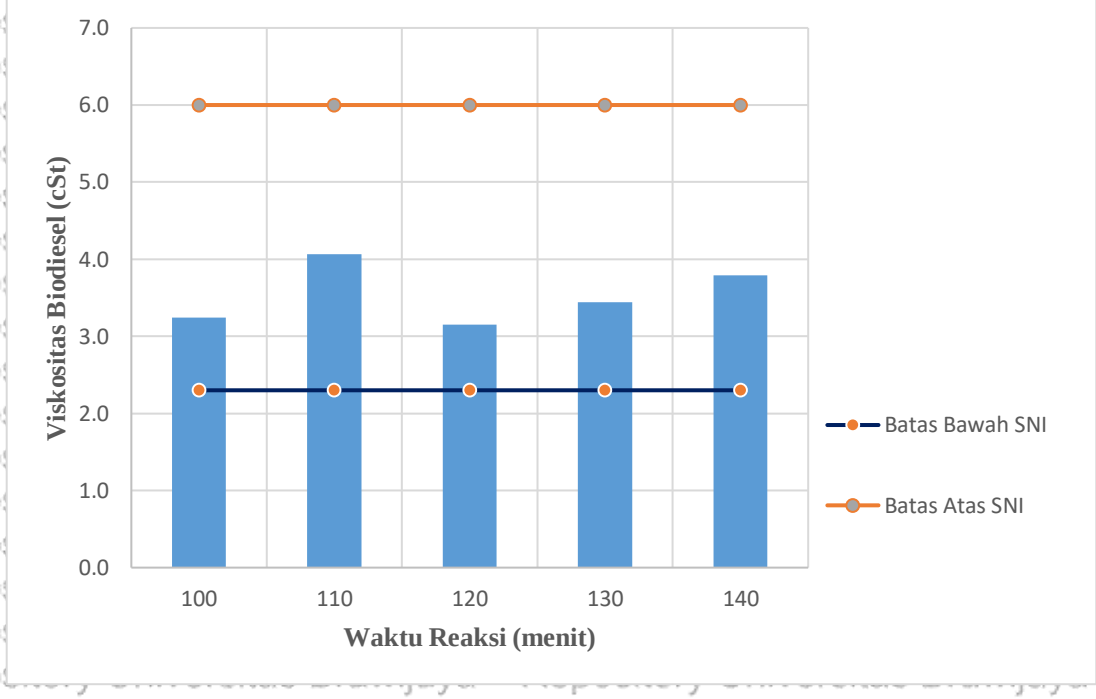
Hasil penelitian menunjukkan bahwa produk biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi standar SNI. Pada gambar 4.7. juga dapat dilihat tren bahwa dengan semakin naiknya kadar FAME biodiesel maka akan semakin menurunkan angka asam biodiesel. Pada variabel 100 menit reaksi yang memiliki kadar FAME terendah 20,60% memiliki angka asam tertinggi (0,381 mg KOH/gr). Sedangkan pada variabel 140 menit reaksi yang memiliki kadar FAME tertinggi 80,00% memiliki angka asam terendah dibandingkan dengan variabel waktu lainnya (0,360 mg KOH/gr). Hal tersebut disebabkan karena semakin tinggi kadar FAME biodiesel maka semakin rendah kadar asam lemak bebas pada biodiesel tersebut. Sehingga dengan semakin meningkatnya kadar FAME, akan semakin menurunkan nilai angka asam biodiesel.

4.1.4 Viskositas Kinematis Biodiesel

Pada tabel 4.7 dibawah ini dapat dilihat hasil perhitungan viskositas kinematis biodiesel pada berbagai variasi waktu reaksi pada suhu reaksi 65°C. Pengujian viskositas dilakukan secara triplo.

Tabel 4.7. Viskositas Kinematis biodiesel pada berbagai variasi waktu reaksi.

t reaksi (menit)	μ dinamis biodiesel (cp)	*Specific Gravity* Biodiesel	μ kinematis biodiesel (cSt)
100	2,817	0,869	3,241 ±0,343
110	3,510	0,863	4,067 ±0,343
120	2,730	0,867	3,149 ±0,343
130	2,980	0,866	3,441 ±0,343
140	3,268	0,862	3,791 ±0,343



Gambar 4.8. Viskositas Kinematis Biodiesel *crude* pada berbagai variasi waktu reaksi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa viskositas biodiesel crude yang dihasilkan pada penelitian ini memenuhi standar SNI.

4.4 Karakterisasi Hasil Reaksi Transesterifikasi Pada Suhu Pembanding

Pada tabel 4.8 dibawah ini dapat dilihat hasil uji kuantitas dan kualitas biodiesel pada suhu reaksi pembanding 60ºC dan waktu reaksi 120 menit.

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Biodiesel pada suhu 60ºC dan 65ºC pada waktu reaksi 120 menit

Suhu reaksi (ºC)	Yield Biodiesel	Kadar FAME (%)	Densitas Biodiesel (g/cm^3)	Angka Asam Biodiesel (mg KOH/ l)	Viskositas Kinematis Biodiesel (cSt)
60	93,5%	59,36	0,862	0,272 ± 0,001	3,004 ±0,075
65	73,05%	62,97	0,865	0,365 ± 0,001	3,149 ±0,075

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pengaruh waktu reaksi transesterifikasi berbeda pada kuantitas dan kualitas biodiesel yang dihasilkan. Kualitas biodiesel *crude* tertinggi didapatkan pada waktu reaksi 140 menit dengan nilai %FAME sebesar 80,00%. Nilai konstanta laju reaksi (k) reaksi transesterifikasi pada suhu 65°C adalah 0,0241 menit^{-1}
2. Nilai Energi Aktivasi (Ea) reaksi transesterifikasi -15,76 kJ / mol.

5.2 Saran

Penelitian ini perlu dikembangkan lebih lanjut, saran untuk kedepannya adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang metode peningkatan kemurnian pada produksi biodiesel menggunakan katalis heterogen Cao-Fe_2O_3.

Repository Universitas Brawijaya
REPOSITORY.UB.AC.ID
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR PUSTAKA

A.Hardjono. 2001. Teknologi Minyak Bumi. UGM Press. Yogyakarta

Bassett, J., R. C. Denney, G.H. Jeffery, J. Mendham. 1994. Buku Ajar Vogel: Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran (EGC).

Chen, Guanyi., Shan, Rui., Li, Shangyao., & Shi, Jiafu. 2016. A Biometric Silicification approach to synthesize CaO-SiO_2 Catalyst for The Transesterification of Palm Oil Into Biodiesel. *Fuel*. 153: 48-55

Diasakou, M., Louloudi, A., & Papayannakos, N., 2001. Kinetics of the Noncatalic Transesterification of Soybean Oil. Fuel, 1297-1302.

Fogler, H. Scott. 2004. Elements Of Chemical Reaction Engineering, Third Edition. The University of Michigan: Ann Arbor

Furuta, S., Hiromi, M., Kazushi, R. (2006), "Green Disel Fuel Production with Solid Amorphous-Zirconia Catalyst in Fixed Bed Reactor", *J Biomass And Bioenergy*, Vol. 30, hal. 870-873.

Handayani, S. P., 2010. Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Ikan Dengan Radiasi Gelombang Mikro. Skripsi. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Hart, H., 1990. Kimia Organik Suatu Bahan Kuliah Singkat, Jakarta: Erlangga. Hal: 276.

Hasahatan, Dennis. Dkk. 2012. Pengaruh Ratio H_2SO_4 Dan Waktu Reaksi Terhadap Kuantitas Dan Kualitas Biodiesel Dari Minyak Jarak Pagar. Universitas Sriwijaya: Jurusan Teknik Kimia

Hill, Charles G Jr. 1977. An Introduction To Chemical Engineering Kinetics And Reactor Design. New York: John Wiley And Sons, Inc.

Himmelblau, David M. Basic Principles And Calculations In Chemical Engineering.

Joshi, Girdhar., Rawat, D.S., Lamba, B.Y., Bisht, K.K., Kumar, Pankaj., Kumar, Nayan., & Kumar, Sanjay. 2015. Transesterification of Jatropha and Karanja Oils by Using Waste Egg Shell Derived Calcium Based Mixed Metal Oxides. *Energy Conversion and Management*. 96: 258-267

Karman, J. 2012. *Teknologi dan Proses Pengolahan Biomasa*. Alfabeta. Bandung. 128 hlm.

Ketaren, S. 1986. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. UI Press. Jakarta.

Ketaren, S. 2005. Minyak dan Lemak Pangan. UI Press. Jakarta.

Ketaren, S. 2008. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. UI Press. Jakarta.

Levenspiel, Octave. 1999. Chemical Raection Engineering 3ed. New York: Oregon State University.

Mescha, D,. dkk. 2007. Intensifikasi Proses Produksi Biodiesel. Jurnal ITB. Bandung.

Missen, et al. 1999. Introduction to Chemical Reaction Engineering and Kinetics. USA: University of Toronto

Mittlebach, M., Remschmidt, Claudia. 2004. *Biodiesel The Comprehensive Handbook*. Vienna: Boersedruck Ges.m.bH.

Rahmani, R. 2008. Penentuan Sifat Fisiko-Kimia dan Komposisi Asam Lemak Penyusun Trigliserida Serta Optimasi Kondisi Reaksi Sintesis Biodiesel (Metil Ester) Minyak Biji Sirsak (Annona mucirata). Skripsi. Universitas Indonesia. Depok.

Ramadhas, A.S., Jayaraj, S., Muraleedharan, C. 2005. *Biodiesel Production from High FFA Rubber Seed Oil*. Fuel 84. 335-340.

Renata, Melauren Oktavina. 2016. Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah Dengan Bantuan Gelombang Mikro. Universitas Lampung: Fakultas Pertanian.

Rosyadi, Ahmad Ridwan. 2015. Studi Energi Aktivasi Transesterifikasi Minyak Jarak Menjadi Biodiesel Menggunakan Microwave. Universitas Brawijaya: Jurusan Teknik Kimia

Sahirman, dkk. 2008. Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) Pada Proses Produksi Biodiesel. Cianjur: Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Pertanian (P4TKP).

Schuchardt, Ulf., Sercheli, Ricardo., & Vargas, R.M., 1998. Transesterification of Vegetable Oils: a Review. *Journal of The Brazilian Chemical Society*. 9(1): 199-210

Standar Nasional Indonesia, 7182:2015 (Biodiesel)

Sudarmadji, S., dkk. 1989. Analisa Bahan Makanan Dan Pertanian. Bandung.

Sudarmadji, S., dkk. 1989. Analisa Bahan Makanan Dan Pertanian. Bandung.

Syamsudin, M. 2010. *Membuat Sendiri Biodisel (Bahan Bakar Alternatif Pengganti Solar)*. Lily Publisher. Yogyakarta. 46 hlm.

Wahyu, H. M. dan Michael J. H. 2007. Sintesis Dan Uji Aktivitas Cu/Zn/Al2O3 Untuk Katalis Reformasi Kukus Metanol Sebagai Penyedia Hidrogen Sel Tunam (*fuel cell*). ITB. Bandung

Wei, Z., Xu, C., & Li, B., 2009. Application of Waste Eggshell as Low-Cost Solid Catalyst for Biodiesel Production. *Bioresource Technology*. 100(11): 2883-2885

Yates, I.C., Satterfield, C.N., 1991. Intrinsic Kinetics of The Fischer-Tropsch Synthesis on a Cobalt Catalyst. *Energy & Fuels*. 5(1): 168-173

Yuniwati, Murni & Karim, Amelia Abdul. 2009. Kinetika Reaksi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas (Jelantah) dan Metanol dengan Katalisator KOH. *Jurnal Jurusan Teknik Kimia*. Yogyakarta: AKPRIND

LAMPIRAN PERHITUNGAN

A.1 Perhitungan Stoikiometri Reaksi

a. Reaksi Transesterifikasi:

$$CO_2COOR\text{-}CHCOOR'\text{-}CH_2\text{-}COOR'' + 3CH_3OH \leftrightarrow 3RCOOH_3 + C_3H_8O_3 \quad (2)$$

Trigliserida Metanol Metil Ester Gliserol

Diketahui: $M_{trigliserida}$ = 200 gram

$BMt_{trigliserida}$ = 840 g/mol

Ditanya: $C_{trigliserida}$?

$$C_{trigliserida} = \frac{Mtrigliserida}{BMtrigliserida} = \frac{200\ g}{840\ g/mol} = 0{,}238 \text{ mol}$$

Ditanya; $M_{katalis}$?

$M_{katalis}$= 5% $M_{trigliserida}$

$$M_{katalis} = \frac{5}{100} \text{ x } 200 \text{ gram} = 10 \text{ gram}$$

Diketahui: Rasio mol trigliserida : mol methanol = 1:8

$C_{metanol}$ = 8 x 0.238 mol = 1,905 mol

$BM_{methanol}$ = 32,04 g/mol

Ditanya: $M_{metanol}$?

$M_{metanol} = C_{metanol} x BM_{methanol}$ = 1,905 mol x 32,04 g/mol = 61,036 gr

Diketahui: $\rho_{metanol}$ = 0,7918 g/cm^3

$M_{metanol}$ = 61,036 gr

Ditanya: $V_{metanol}$?

$$V_{metanol} = \frac{M\ metanol}{\rho\ metanol} = \frac{61{,}036\ gr}{0{,}7918\ g/cm3} = 77{,}085 \text{ ml}$$

A.2. Perhitungan Yield Biodiesel

a. Pada suhu 65ºC

- 100 menit reaksi

Yield = 92,2 gram

$$\%\ Yield = \frac{92{,}2}{200}\ gr = 46{,}1\%$$

- 110 menit reaksi

  Yield = 128,4 gram

  % Yield = $\frac{128,4}{200} gr$ = 64,2%

- 120 menit reaksi

  Yield = 146,1 gram

  % Yield = $\frac{146,1}{200} gr$ = 73,05%

- 130 menit reaksi

  Yield = 146gram

  % Yield = $\frac{141,7}{200} gr$ = 73%

- 140 menit reaksi

  Yield = 118,1 gram

  % Yield = $\frac{118,1}{200} gr$ = 59,05%

b. Pada suhu pembanding 60ºC

- 120 menit reaksi

  Yield = 187 gram

  % Yield = $\frac{187}{200} gr$ = 93,5%

A.3. Perhitungan Densitas Biodiesel

1. t = 100 menit, T = 65° C

   Massa pikno kosong = 15,722 gram

   Massa pikno berisi aquades = 25,702 gram

   Densitas Aquadest = 0.998 g/cm^3

   $$\rho = \frac{m}{v}$$

   $$\rho = \frac{\text{massa pikno berisi biodiesel} - \text{massa pikno kosong}}{volumepiknometer}$$

   a. Data Penelitian

Percobaan ke-	Massa Piknometer Berisi Biodiesel (gr)	Massa Jenis Biodiesel (gr/cm^3)
1	24, 393	0,867
2	24,396	0,867
3	24,395	0,867
Rata-rata		**0,867 ± 0,001**

b. $\rho 1 = \frac{24{,}393\ gr - 15{,}722\ gr}{10\ ml}$ = 0,867 gr/cm^3

$\rho 2 = \frac{24{,}396\ gr - 15{,}722\ gr}{10\ ml}$ = 0,867 gr/cm^3

$\rho 3 = \frac{24{,}395\ gr - 15{,}722\ gr}{10\ ml}$ = 0,867 gr/cm^3

$\rho\ rata - rata = \frac{0{,}867 + 0{,}867 + 0{,}867\ gr/cm3}{10\ ml}$ = 0,867 gr/cm^3 ± 0,001

c. Nilai *Specific Gravity* (Spgr)

$Spgr = \frac{\text{massa pikno berisi biodiesel} - \text{massa pikno kosong}}{volume\ piknometer}$ / Densitas Aquadest

$Spgr$ = Massa Jenis BIodiesel / Densitas Aquadest

$Spgr = \frac{0{,}867\ gr/cm3}{0{,}998\ g/cm3}$ = 0,869 g/cm^3

2. t = 110 menit, T = 65° C

Massa pikno kosong = 15,722 gram

Massa pikno berisi aquades = 25,702 gram

Densitas Aquadest = 0.998 g/cm^3

$\rho = \frac{m}{v}$

$$\rho = \frac{\text{massa pikno berisi biodiesel} - \text{massa pikno kosong}}{volume\ piknometer}$$

a. Data Penelitian

Percobaan ke-	Massa Piknometer Berisi Biodiesel (gr)	Massa Jenis Biodiesel (gr/cm^3)
1	24,332	0,861
2	24,334	0,861
3	24,330	0,861
Rata-rata		**0,861 ± 0,001**

b. $\rho 1 = \frac{24{,}332\ gr - 15{,}722\ gr}{10\ ml}$ = 0,861 gr/cm^3

$\rho 2 = \frac{24{,}334\ gr - 15{,}722\ gr}{10\ ml}$ = 0,861 gr/cm^3

$\rho 3 = \frac{24{,}330\ gr - 15{,}722\ gr}{10\ ml}$ = 0,861 gr/cm^3

$\rho\ rata - rata = \frac{0{,}861 + 0{,}861 + 0{,}861\ gr/cm3}{3}$ = 0,861 gr/cm^3 ± 0,001

c. Nilai *Specific Gravity* (Spgr)

$Spgr = \frac{\text{massa pikno berisi biodiesel} - \text{massa pikno kosong}}{volume\ piknometer}$ / Densitas Aquadest

$Spgr$ = Massa Jenis Biodiesel / Densitas Aquadest

$Spgr = \frac{0{,}861\ gr/cm3}{0{,}998\ g/cm3}$ = 0,863 g/cm^3

3. t = 120 menit, T = 65° C

Massa pikno kosong = 15,715 gram

Massa pikno berisi aquades = 25,702 gram

Repository Universitas Brawijaya
REPOSITORY.UB.AC.ID
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Densitas Aquadest = 0.998 g/cm^3

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{\text{massa pikno berisi biodiesel} - \text{massa pikno kosong}}{volume\ piknometer}$$

a. Data Penelitian

Percobaan ke-	Massa Piknometer Berisi Biodiesel (gr)	Massa Jenis Biodiesel (gr/cm^3)
1	24,365	0,865
2	24,363	0,865
3	24,367	0,865
Rata-rata		**0,865 ± 0,001**

b. $\rho 1 = \frac{24{,}365\ \text{gr} - 15{,}715\ \text{gr}}{10\ ml}$ = 0,865 gr/cm^3

$\rho 2 = \frac{24{,}363\ \text{gr} - 15{,}715\ \text{gr}}{10\ ml}$ = 0,865 gr/cm^3

$\rho 3 = \frac{24{,}367\ \text{gr} - 15{,}715\ \text{gr}}{10\ ml}$ = 0,865 gr/cm^3

$\rho\ rata - rata = \frac{0{,}865 + 0{,}865 + 0{,}865\ \text{gr/cm3}}{3}$ = 0,865 gr/cm^3 ± 0,001

c. Nilai *Specific Gravity* (Spgr)

$Spgr = \frac{\text{massa pikno berisi biodiesel} - \text{massa pikno kosong}}{volume\ piknometer}$ / Densitas Aquadest

$Spgr$ = Massa Jenis Biodiesel / Densitas Aquadest

$Spgr = \frac{0{,}865\ \text{gr/cm3}}{0{,}998\ \text{g/cm3}}$ = 0,867 g/cm^3

4. t = 130 menit, T = 65° C

Massa pikno kosong = 15,719 gram

Massa pikno berisi aquades = 25,702 gram

Densitas Aquadest = 0.998 g/cm^3

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{\text{massa pikno berisi biodiesel} - \text{massa pikno kosong}}{volume\ piknometer}$$

a. Data Penelitian

Percobaan ke-	Massa Piknometer Berisi Biodiesel (gr)	Massa Jenis Biodiesel (gr/cm^3)
1	24,359	0,864
2	24,361	0,864
3	24,357	0,864
Rata-rata		**0,864 ± 0,001**

b. $\rho 1 = \frac{24{,}359 \text{ gr} - 15{,}719 \text{ gr}}{10\ ml}$ = 0,864 gr/cm^3

$\rho 2 = \frac{24{,}361 \text{ gr} - 15{,}719 \text{ gr}}{10\ ml}$ = 0,864 gr/cm^3

$\rho 3 = \frac{24{,}357 \text{ gr} - 15{,}719 \text{ gr}}{10\ ml}$ = 0,864 gr/cm^3

$\rho\ rata - rata = \frac{0{,}864 + 0{,}864 + 0{,}864 \text{ gr/cm3}}{3}$ = 0,864 gr/cm^3 ± 0,001

c. Nilai *Specific Gravity* (Spgr)

$Spgr = \frac{\text{massa pikno berisi biodiesel} - \text{massa pikno kosong}}{volume\ piknometer}$ / Densitas Aquadest

$Spgr$ = Massa Jenis Biodiesel / Densitas Aquadest

$Spgr = \frac{0{,}868 \text{ gr/cm3}}{0{,}998 \text{ g/cm3}}$ = 0,866 g/cm^3

5. t = 140 menit, T = 65° C

Massa pikno kosong = 15,721 gram

Massa pikno berisi aquades = 25,702 gram

Densitas Aquadest = 0.998 g/cm^3

$\rho = \frac{m}{v}$

$\rho = \frac{\text{massa pikno berisi biodiesel} - \text{massa pikno kosong}}{volume\ piknometer}$

a. Data Penelitian

Percobaan ke-	Massa Piknometer Berisi Biodiesel (gr)	Massa Jenis Biodiesel (gr/cm^3)
1	24,321	0,860
2	24,319	0,860
3	24,323	0,860
Rata-rata		**0,860 ± 0,001**

b. $\rho 1 = \frac{24{,}321 \text{ gr} - 15{,}721 \text{ gr}}{10\ ml}$ = 0,860 gr/cm^3

$\rho 2 = \frac{24{,}319 \text{ gr} - 15{,}721 \text{ gr}}{10\ ml}$ = 0,860 gr/cm^3

$\rho 3 = \frac{24{,}323 \text{ gr} - 15{,}721 \text{ gr}}{10\ ml}$ = 0,860 gr/cm^3

$\rho\ rata - rata = \frac{0{,}860 + 0{,}866 + 0{,}868 \text{ gr/cm3}}{3}$ = 0,860 gr/cm^3 ± 0,001

c. Nilai *Specific Gravity* (Spgr)

$$Spgr = \frac{\text{massa pikno berisi biodiesel} - \text{massa pikno kosong}}{volume\ piknometer} \text{ / Densitas Aquadest}$$

$$Spgr = \text{Massa Jenis Biodiesel / Densitas Aquadest}$$

$$Spgr = \frac{0{,}866\ \text{gr/cm3}}{0{,}998\ \text{g/cm3}} = 0{,}862\ \text{g/cm}^3$$

6. t = 120 menit, T = 60° C

Massa pikno kosong = 16,481 gram

Massa pikno berisi aquades = 25,702 gram

Densitas Aquadest = 0.998 g/cm^3

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{\text{massa pikno berisi biodiesel} - \text{massa pikno kosong}}{volume\ piknometer}$$

a. Data Penelitian

Percobaan ke-	Massa Piknometer Berisi Biodiesel (gr)	Massa Jenis Biodiesel (gr/cm^3)
1	25,108	0,863
2	25,092	0,861
3	25,101	0,862
Rata-rata		**0,862 ± 0,001**

b. $$\rho 1 = \frac{25{,}108\ \text{gr} - 16{,}481\ \text{gr}}{10\ ml} = 0{,}863\ \text{gr/cm}^3$$

$$\rho 2 = \frac{25{,}092\ \text{gr} - 16{,}481\ \text{gr}}{10\ ml} = 0{,}861\ \text{gr/cm}^3$$

$$\rho 3 = \frac{25{,}101\ \text{gr} - 16{,}481\ \text{gr}}{10\ ml} = 0{,}862\ \text{gr/cm}^3$$

$$\rho\ rata - rata = \frac{0{,}863 + 0{,}861 + 0{,}862\ \text{gr/cm3}}{3} = 0{,}862\ \text{gr/cm}^3 \pm 0{,}001$$

c. Nilai *Specific Gravity* (Spgr)

$$Spgr = \frac{\text{massa pikno berisi biodiesel} - \text{massa pikno kosong}}{volume\ piknometer} \text{ / Densitas Aquadest}$$

$$Spgr = \text{Massa Jenis Biodiesel / Densitas Aquadest}$$

$$Spgr = \frac{0{,}862\ \text{gr/cm3}}{0{,}998\ \text{g/cm3}} = 0{,}864\ \text{g/cm}^3$$

A.4. Perhitungan Angka Asam Biodiesel

1. Standarisasi Larutan KOH 0,1 N

Normalitas asam oksalat = 0,1 N

Volume asam oksalat = 0,1 N

Pengujian ke-	Volume Asam Oksalat (ml)	Volume KOH (ml)	Normalitas KOH (Nb)
1	10	10,4	0,096

2	10	10	0,100
3	10	10,6	0,094
Rata-rata			**0,097 ± 0,001**

Na x Va = Nb x Vb

Dimana Na = Normalitas asam oksalat

Va = Volume asam oksalat

Nb = Normalitas KOH

Vb = Volume KOH

- Pengujian 1

  0,1 N x 10 ml = Nb x 10,4 ml

  0,096 N = Nb
- Pengujian 2

  0,1 N x 10 ml = Nb x 10 ml

  0,100 N = Nb
- Pengujian 3

  0,1 N x 10 ml = Nb x 10,6 ml

  0,094 N = Nb
- Nilai Nb Rata-rata = $\frac{0,096+0,100+0,094\ N}{3}$ = 0,097 N

2. Pengujian angka asam variable 1

t = 100 menit, T = 65°C

G = 20 gram (massa biodiesel)

Pengujian ke-	Volume Titran (ml)	Bilangan Asam (mg KOH/gr)
1	0,7	0,409
2	1,3	0,354
3	1,1	0,380
Rata-rata		**0,381 ± 0,001**

$$Bilangan\ Asam = \frac{\text{V KOH x N x 56,1}}{\text{G}}$$

$$Bilangan\ Asam\ 1 = \frac{0,7\ \text{ml x 0,097 N x 56,1}}{20\ \text{gram}} = 0,409\ \text{mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ 2 = \frac{1,3\ \text{ml x 0,097 N x 56,1}}{20\ \text{gram}} = 0,354\ \text{mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ 3 = \frac{1,1\ \text{ml x 0,097 N x 56,1}}{20\ \text{gram}} = 0,380\ \text{mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ rata-rata = \frac{0,409+0,354+0,380\ \text{mg KOH/gr}}{3} = 0,381\ \text{mg KOH/gr} \pm 0,001$$

3. Pengujian angka asam variable 2

t = 110 menit, T = 65°C

G = 20 gram (massa biodiesel)

Pengujian ke-	Volume Titran (ml)	Bilangan Asam

		(mg KOH/gr)
1	1,0	0,272
2	1,5	0,408
3	1,5	0,408
Rata-rata		**0,363 ± 0,001**

$$Bilangan\ Asam = \frac{\text{V KOH x N x 56,1}}{\text{G}}$$

$$Bilangan\ Asam\ 1 = \frac{\text{1,0 ml x 0,097 N x 56,1}}{\text{20 gram}} = 0{,}272 \text{ mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ 2 = \frac{\text{1,5 ml x 0,097 N x 56,1}}{\text{20 gram}} = 0{,}408 \text{ mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ 3 = \frac{\text{1,5 ml x 0,097 N x 56,1}}{\text{20 gram}} = 0{,}408 \text{ mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ rata-rata = \frac{0{,}272+0{,}408+0{,}408 \text{ mg KOH/gr}}{3} = 0{,}363 \text{ mg KOH/gr} \pm 0{,}001$$

4. Pengujian angka asam variable 3

t = 120 menit, T = 65°C

G = 20 gram (massa biodiesel)

Pengujian ke-	Volume Titran (ml)	Bilangan Asam (mg KOH/gr)
1	1,6	0,442
2	1,3	0,354
3	1,1	0,306
Rata-rata		**0,365 ± 0,001**

$$Bilangan\ Asam = \frac{\text{V KOH x N x 56,1}}{\text{G}}$$

$$Bilangan\ Asam\ 1 = \frac{\text{1,6 ml x 0,097 N x 56,1}}{\text{20 gram}} = 0{,}442 \text{ mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ 2 = \frac{\text{1,3 ml x 0,097 N x 56,1}}{\text{20 gram}} = 0{,}354 \text{ mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ 3 = \frac{\text{1,1 ml x 0,097 N x 56,1}}{\text{20 gram}} = 0{,}306 \text{ mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ rata-rata = \frac{0{,}442+0{,}354+0{,}306 \text{ mg KOH/gr}}{3} = 0{,}365 \text{ mg KOH/gr} \pm 0{,}001$$

5. Pengujian angka asam variable 4

t = 130 menit, T = 65°C

G = 20 gram (massa biodiesel)

Pengujian ke-	Volume Titran (ml)	Bilangan Asam (mg KOH/gr)
1	1,2	0,326
2	1,3	0,354
3	1,6	0,427
Rata-rata		**0,369 ± 0,001**

$$Bilangan\ Asam = \frac{\text{V KOH x N x 56,1}}{\text{G}}$$

$$Bilangan\ Asam\ 1 = \frac{\text{1,2 ml x 0,097 N x 56,1}}{\text{20 gram}} = \text{0,326 mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ 2 = \frac{\text{1,3 ml x 0,097 N x 56,1}}{\text{20 gram}} = \text{0,354 mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ 3 = \frac{\text{1,6 ml x 0,097 N x 56,1}}{\text{20 gram}} = \text{0,427 mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ rata-rata = \frac{\text{0,326 +0,354+0,427 mg KOH/gr}}{3} = \text{0,369 mg KOH/gr} \pm \text{0,001}$$

6. Pengujian angka asam variable 5

t = 140 menit, T = 65°C

G = 20 gram (massa biodiesel)

Pengujian ke-	Volume Titran (ml)	Bilangan Asam (mg KOH/gr)
1	1,5	0,408
2	1,0	0,264
3	1,5	0,408
Rata-rata		**0,360 ± 0,001**

$$Bilangan\ Asam = \frac{\text{V KOH x N x 56,1}}{\text{G}}$$

$$Bilangan\ Asam\ 1 = \frac{\text{1,5 ml x 0,097 N x 56,1}}{\text{20 gram}} = \text{0,408 mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ 2 = \frac{\text{1,0 ml x 0,097 N x 56,1}}{\text{20 gram}} = \text{0,264 mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ 3 = \frac{\text{1,5 ml x 0,097 N x 56,1}}{\text{20 gram}} = \text{0,408 mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ rata-rata = \frac{\text{0,408 +0,264+0,408 mg KOH/gr}}{3} = \text{0,360 mg KOH/gr} \pm \text{0,001}$$

7. Pengujian angka asam variable 6

t = 120 menit, T = 60°C

G = 20 gram (massa biodiesel)

Pengujian ke-	Volume Titran (ml)	Bilangan Asam (mg KOH/gr)
1	0,3	0,082
2	1,4	0,381
3	1,3	0,354
Rata-rata		**0,272 ± 0,001**

$$Bilangan\ Asam = \frac{\text{V KOH x N x 56,1}}{\text{G}}$$

$$Bilangan\ Asam\ 1 = \frac{\text{0,3 ml x 0,097 N x 56,1}}{\text{20 gram}} = \text{0,082 mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ 2 = \frac{1{,}4\ \text{ml x } 0{,}097\ \text{N x } 56{,}1}{20\ \text{gram}} = 0{,}381\ \text{mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ 3 = \frac{1{,}3\ \text{ml x } 0{,}097\ \text{N x } 56{,}1}{20\ \text{gram}} = 0{,}354\ \text{mg KOH/gr}$$

$$Bilangan\ Asam\ rata-rata = \frac{0{,}082 + 0{,}381 + 0{,}354\ \text{mg KOH/gr}}{3} = 0{,}272\ \text{mg KOH/gr} \pm 0{,}001$$

A.5. Perhitungan Viskositas Biodiesel

Perhitungan viskositas biodiesel menggunakan persamaan:

$$\mu_{biodiesel} = \frac{\rho_{biodiesel}\ x\ t_{biodiesel}}{\rho_{air}\ x\ t_{air}}\ x\ \mu_{air}$$

Diketahui :

ρ air = 0,99225 (pada suhu 40ºC)

t air = 180 sekon

μ air = 0,656 cp (pada suhu 40ºC)

Ditanya :μ biodiesel ?

a. Pada suhu reaksi 65ºC

- 100 menit reaksi

Diketahui :

Pengujian ke-	t biodiesel (sekon)	μ biodiesel kinematis
1	895	3,279
2	875	3,206

ρ biodiesel = 0,867 g/cm3

sp gr biodiesel = 0,869

Ditanya :μ biodiesel?

$$\mu\text{biodiesel kinematis} = \frac{\mu\ \text{biodiesel dinamis}}{sp\ gr}$$

μbiodiesel kinematis :

$$\mu_{biodiesel} = \frac{\rho_{biodiesel}\ x\ t_{biodiesel}}{\rho_{air}\ x\ t_{air}}\ x\ \mu_{air}\ \text{x}\ \frac{1}{sp\ gr}$$

$$\mu_{biodiesel\ 1} = \frac{0{,}867\ x\ 895}{0{,}99225\ x\ 180}\ x\ 0{,}656\ x\ \frac{1}{0{,}869} = 3{,}279\text{cSt}$$

$$\mu_{biodiesel\ 2} = \frac{0{,}867\ x\ 875}{0{,}99225\ x\ 180}\ x\ 0{,}656\ x\ \frac{1}{0{,}869} = 3{,}206\text{cSt}$$

$$\mu_{biodiesel}\ rata-rata = \frac{3{,}279+3{,}206}{2} = 3{,}242\ \text{cSt}$$

- 110 menit reaksi

Diketahui :

Pengujian ke-	t biodiesel (sekon)	μ biodiesel kinematis
1	1150	4,214
2	1070	3,921

ρ biodiesel = 0,871 g/cm3

sp gr biodiesel = 0,873

Ditanya :μ biodiesel?

μbiodiesel kinematis = $\frac{\text{μ biodiesel dinamis}}{sp\ gr}$

μbiodiesel kinematis :

$$\mu_{biodiesel} = \frac{\rho_{biodiesel}\ x\ t_{biodiesel}}{\rho_{air}\ x\ t_{air}}\ x\ \mu_{air}\ \text{x}\ \frac{1}{sp\ gr}$$

$$\mu_{biodiesel\ 1} = \frac{0{,}871\ x\ 1150}{0{,}99225\ x\ 180}\ x\ 0{,}656\ x\ \frac{1}{0{,}873} = 4{,}214\text{cSt}$$

$$\mu_{biodiesel\ 2} = \frac{0{,}871\ x\ 1070}{0{,}99225\ x\ 180}\ x\ 0{,}656\ x\ \frac{1}{0{,}873} = 3{,}921\ \text{cSt}$$

$$\mu_{biodiesel}\ rata-rata = \frac{4{,}214+3{,}921}{2} = 4{,}067\ \text{cSt}$$

- 120 menit reaksi

Diketahui :

Pengujian ke-	t biodiesel (sekon)	μ biodiesel kinematis
1	880	3,228
2	840	3,081

ρ biodiesel = 0,868 g/cm3

sp gr biodiesel = 0,869

Ditanya :μ biodiesel?

μbiodiesel kinematis = $\frac{\text{μ biodiesel dinamis}}{sp\ gr}$

μbiodiesel kinematis :

$$\mu_{biodiesel} = \frac{\rho_{biodiesel}\ x\ t_{biodiesel}}{\rho_{air}\ x\ t_{air}}\ x\ \mu_{air}\ \text{x}\ \frac{1}{sp\ gr}$$

$$\mu_{biodiesel\ 1} = \frac{0{,}868\ x\ 880}{0{,}99225\ x\ 180}\ x\ 0{,}656\ x\ \frac{1}{0{,}869} = 3{,}228\text{cSt}$$

$$\mu_{biodiesel\ 2} = \frac{0{,}868\ x\ 840}{0{,}99225\ x\ 180}\ x\ 0{,}656\ x\ \frac{1}{0{,}869} = 3{,}081\text{cSt}$$

$$\mu_{biodiesel\ rata-rata} = \frac{3{,}228+3{,}081}{2} = 3{,}154\ \text{cSt}$$

- 130 menit reaksi

Diketahui :

Pengujian ke-	t biodiesel (sekon)	μ biodiesel kinematis
1	970	3,481
2	930	3,411

ρ biodiesel = 0,868 g/cm3

sp gr biodiesel = 0,869

Ditanya :μ biodiesel?

$$\mu\text{biodiesel kinematis} = \frac{\mu\ \text{biodiesel dinamis}}{sp\ gr}$$

μbiodiesel kinematis :

$$\mu_{biodiesel} = \frac{\rho_{biodiesel}\ x\ t_{biodiesel}}{\rho_{air}\ x\ t_{air}}\ x\ \mu_{air}\ \text{x}\ \frac{1}{sp\ gr}$$

$$\mu_{biodiesel\ 1} = \frac{0{,}868\ x\ 970}{0{,}99225\ x\ 180}\ x\ 0{,}656\ x\ \frac{1}{0{,}869} = 3{,}481\text{cSt}$$

$$\mu_{biodiesel\ 2} = \frac{0{,}868\ x\ 930}{0{,}99225\ x\ 180}\ x\ 0{,}656\ x\ \frac{1}{0{,}869} = 3{,}411\ \text{cSt}$$

$$\mu_{biodiesel\ rata-rata} = \frac{3{,}481+3{,}411}{2} = 3{,}446\ \text{cSt}$$

- 140 menit reaksi

Diketahui :

Pengujian ke-	t biodiesel (sekon)	μ biodiesel kinematis
1	1050	3,847
2	1020	3,737

ρ biodiesel = 0,866 g/cm3

sp gr biodiesel = 0,868

Ditanya :μ biodiesel?

μbiodiesel kinematis = $\frac{\mu \text{ biodiesel dinamis}}{sp\ gr}$

μbiodiesel kinematis :

$$\mu_{biodiesel} = \frac{\rho_{biodiesel}\ x\ t_{biodiesel}}{\rho_{air}\ x\ t_{air}}\ x\ \mu_{air}\ \text{x}\ \frac{1}{sp\ gr}$$

$$\mu_{biodiesel\ 1} = \frac{0{,}866\ x\ 1050}{0{,}99225\ x\ 180}\ x\ 0{,}656\ x\ \frac{1}{0{,}868} = 3{,}847\text{cSt}$$

$$\mu_{biodiesel\ 2} = \frac{0{,}866\ x\ 1020}{0{,}99225\ x\ 180}\ x\ 0{,}656\ x\ \frac{1}{0{,}868} = 3{,}737\text{cSt}$$

$$\mu_{biodiesel}\ rata-rata = \frac{3{,}847+3{,}737}{2} = \mathbf{3{,}792\ cSt}$$

b. Pada suhu pembanding 60ºC

- 120 menit reaksi

Diketahui :

Pengujian ke-	t biodiesel (sekon)	μ biodiesel kinematis
1	835	3,059
2	805	2,949

ρ biodiesel = 0,862 g/cm3

sp gr biodiesel = 0,864

Ditanya :μ biodiesel?

μbiodiesel kinematis = $\frac{\mu \text{ biodiesel dinamis}}{sp\ gr}$

μbiodiesel kinematis :

$$\mu_{biodiesel} = \frac{\rho_{biodiesel}\ x\ t_{biodiesel}}{\rho_{air}\ x\ t_{air}}\ x\ \mu_{air}\ \mathrm{x}\ \frac{1}{sp\ gr}$$

$$\mu_{biodiesel\ 1} = \frac{0{,}862\ x\ 835}{0{,}99225\ x\ 180}\ x\ 0{,}656\ x\ \frac{1}{0{,}864} = 3{,}059\ \text{cSt}$$

$$\mu_{biodiesel\ 2} = \frac{0{,}862\ x\ 805}{0{,}99225\ x\ 180}\ x\ 0{,}656\ x\ \frac{1}{0{,}864} = 2{,}949\text{cSt}$$

$$\mu_{biodiesel}\ rata - rata = \frac{3{,}059 + 2{,}949}{2} = \mathbf{3{,}004\ cSt}$$

A.6. Perhitungan Energi Aktivasi Reaksi Transesterifikasi

- Pada suhu 60°C dan waktu reaksi 120 menit

Diketahui:

Mol Trigliserida Awal (CAo) = $\frac{Massa}{BM\ Trigliserida} = \frac{200\ gr}{840\frac{g}{mol}} = 0{,}238\ mol$

Mol Metanol awal = 8 x mol trigliserida

= 1,904 mol

%FAME = 59,36

%Yield Biodiesel *Crude* = 93,5

Mol FAME = $\frac{Massa\ FAME}{BM\ FAME} = \frac{200\ gr\ x\ 0{,}5936}{285{,}2} = 0{,}416\ mol$

	$CO_2COOR\text{-}CHCOOR'\text{-}CH_2\text{-}COOR''$	+ $3CH_3OH$	↔ $3RCOOH_3$	+ $C_3H_8O_3$
M	0,238	1,904	-	-
R	0,139	0,416	0,416	0,139
S	0,0099	1,488	0,416	0,139

Keterangan reaksi:

$X_A = \frac{0{,}139}{0{,}238} = 0{,}584$

- Pada suhu 65°C dan waktu reaksi 120 menit

Diketahui:

Mol Trigliserida Awal (CAo) = $\frac{Massa}{BM\ Trigliserida} = \frac{200\ gr}{840\frac{g}{mol}} = 0{,}238\ mol$

Mol Metanol awal = 8 x mol trigliserida

= 1,904 mol

%FAME = 62,97

%Yield Biodiesel *Crude* = 73,05

$$\text{Mol FAME} = \frac{Massa\ FAME}{BM\ FAME} = \frac{200\ gr\ x\ 0{,}6297}{285{,}2} = 0{,}441\ mol$$

	$CO_2COOR\text{-}CHCOOR'\text{-}CH_2\text{-}COOR''$ +	$3CH_3OH$ ↔	$3RCOOH_3$ +	$C_3H_8O_3$
M	0,238	1,904	-	-
R	0,147	0,441	0,441	0,147
S	0,091	1,463	0,441	0,147

Keterangan reaksi:

$$X_A = \frac{0{,}147}{0{,}238} = 0{,}617$$

- Perhitungan Ea

$$ln\frac{-\left(\frac{dCAo(1-XA)}{dt}\right)1}{-\left(\frac{dCAo(1-XA)}{dt}\right)2} = -\frac{\boldsymbol{Ea}}{R}\left(\frac{1}{T1} - \frac{1}{T2}\right)$$

$$\ln\frac{-\{0{,}238\ (1-0{,}584)\}}{-\{0{,}238\ (1-0{,}617)\}} = -\frac{\boldsymbol{Ea}}{8{,}314}\left(\frac{1}{333} - \frac{1}{338}\right)$$

$$0{,}0842 = -\frac{\boldsymbol{Ea}}{8{,}314 J/mol.K}\left(\frac{1}{333} - \frac{1}{338}\right)$$

0,0842 x 8,314 J/mol.K =-Ea (4,442 x 10^{-5})

$$Ea = -\frac{0{,}0842\ x\ 8{,}314\ J/mol.K}{0{,}00004442} = -15759{,}54\ J\ /\ mol = -15{,}76\ kJ\ /\ mol$$

A.7. Perhitungan Nilai Konstanta Laju Reaksi (k)

- Pada Waktu Reaksi 100 Menit

	$CO_2COOR\text{-}CHCOOR'\text{-}CH_2\text{-}COOR''$ +	$3CH_3OH$ ↔	$3RCOOH_3$ +	$C_3H_8O_3$
M	0,238	1,904	-	-
R	0,107	0,321	0,321	0,107
S	0,131	1,583	0,321	0,107

$$\mathbf{-ln\ \frac{CAt}{CAo} = -ln\ \frac{0{,}131}{0{,}238} = 0{,}597}$$

- Pada Waktu Reaksi 120 Menit

	$CO_2COOR\text{-}CHCOOR'\text{-}CH_2\text{-}COOR''$ +	$3CH_3OH$ ↔	$3RCOOH_3$ +	$C_3H_8O_3$
M	0,238	1,904	-	-
R	0,147	0,441	0,441	0,147

S	0,091	1,463	0,441	0,147

$$-\ln \frac{CAt}{CAo} = -\ln \frac{0,091}{0,238} = 0,961$$

- Pada Waktu Reaksi 140 Menit

$$CO_2COOR\text{-}CHCOOR'\text{-}CH_2\text{-}COOR'' + 3CH_3OH \leftrightarrow 3RCOOH_3 + C_3H_8O_3$$

M	0,238	1,904	-	-
R	0,188	0,561	0,561	0,188
S	0,050	1,343	0,561	0,188

$$-\ln \frac{CAt}{CAo} = -\ln \frac{0,050}{0,238} = 1,560$$

Repository Universitas Brawijaya
REPOSITORY.UB.AC.ID
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

B.1 Hasil Uji Konten FAME dengan *Gas Chromatography*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA REPOSITORY.UB.AC.ID

LABORATORIUM KIMIA ANALISIS INSTRUMENTASI

JURUSAN TEKNIK KIMIA POLITEKNIK NEGERI MALANG

REKAPITULASI PERHITUNGAN FAME

NO File (pdf)	Kode	BERAT (gr)		AREA								RATIO	BERAT		
		SAMPEL	AM ALCOHOL	AM ALCOHOL	NO	NO	NO	NO	NO	TOTAL	FAME	AREA	TERUKUR	TERHITUNG (gr)	PERSEN
1	100 mnt 65°C	0.2562	0.2479	3,997,024.47						9,739,455.98	5,742,431.51	1.437	1.88	0.4671	45.58
2	120 mnt 60°C	0.2629	0.2349	3,952,913.04						11,889,331.21	7,936,418.17	2.008	2.66	0.6242	59.36
3	120 mnt 65°C	0.2639	0.2367	4,373,175.58						13,640,787.58	9,267,612.00	2.119	2.81	0.6647	62.97
4	130 mnt 65°C	0.2735	0.2384	4,845,372.94						15,435,413.48	10,590,040.54	2.186	2.90	0.6909	63.16
5	110 mnt 65°C	0.2544	0.2382	4,994,411.13						17,221,952.90	12,227,541.77	2.448	3.25	0.7751	76.17
6	140 mnt 65°C	0.2627	0.2374	4,789,958.08						17,532,574.12	12,742,616.04	2.660	3.54	0.8406	80.00

Malang, 10 April 2017

Pelaksana

Kaliawan

PROSEDUR

A STANDARD VALIDASI

1 DITIMBANG STANDARD FAME DENGAN BERBAGAI KONSENTRASI
2 DITIMBANG AMYL ALCOHOL SEBAGAI PEMBANDING
3 DIANALISIS DENGAN GC
4 DIANALISIS HASIL GC UNTUK MENENTUKAN VALIDASI FAME
5 DIDAPATKAN PERSAMAAN DAN KOEFISIEN KORELASINYA

B PENENTUAN SAMPEL FAME

1 DITIMBANG SAMPEL FAME (Gr)
2 DITIMBANG AMYL ALCOHOL SEBAGAI PEMBANDING (Gr)
3 DIANALISIS DENGAN GC
4 DIANALISIS HASIL GC UNTUK MENENTUKAN KADAR (%) FAME

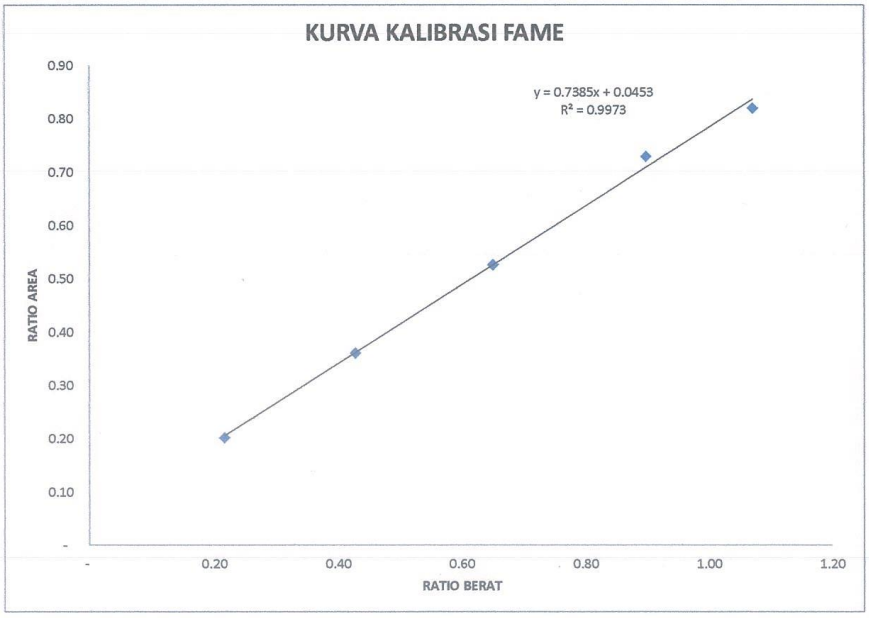
C KONDISI OPERASI

1 NAMA ALAT = HP 5890
2 KOLOM = HP 632
3 GAS PEMBAWA = NITROGEN
4 KECEPATAN = 1.5 ML/MENIT
5 INITIAL TEMP = 150
6 INITIAL TIME = 3 MENIT
7 RATE = 10 DEG/MENIT
8 FINAL TEMP = 250
9 DETEKTOR = FID

STANDARISASI INTERNAL ANALISIS FAME
LABORATORIUM KIMIA ANALISIS INSTRUMENTASI
JURUSAN TEKNIK KIMIA POLITEKNIK NEGERI MALANG

REKAPITULASI STANDARISASI FAME

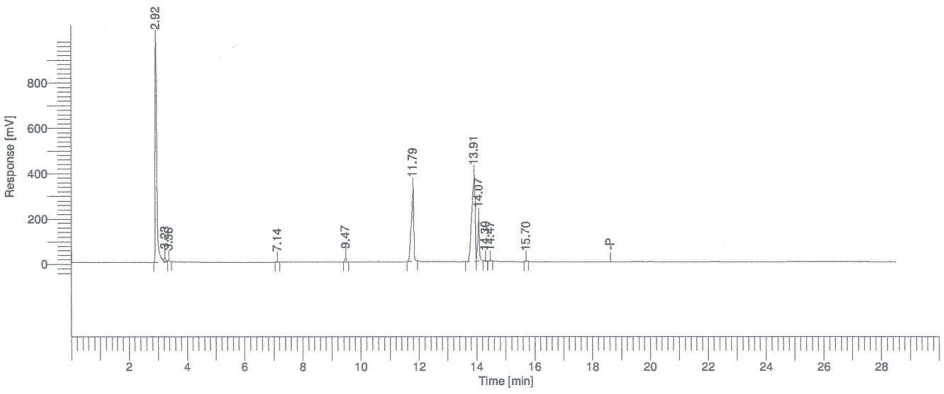
NO	BERAT (gr)		AREA							RATIO FAME	
	FAME	AM ALKOHOL	AM ALKOHOL	UNKNOWN 1	UNKNOWN 2				TOTAL	FAME	BERAT	AREA
1	0.0861	0.3972	8,508,114.4900						10,223,340.85	1,715,226.36	0.22	0.20
2	0.1620	0.3780	7,030,858.1600						9,567,575.16	2,536,717.00	0.43	0.36
3	0.2451	0.3765	7,259,857.8500						11,082,375.35	3,822,517.50	0.65	0.53
4	0.3398	0.3782	5,363,485.3000	2,447.78					9,278,078.22	3,912,145.14	0.90	0.73
5	0.4076	0.3804	4,699,894.9800						8,553,920.36	3,854,025.38	1.07	0.82



Software Version : 6.2.1.0.104:0104
Sample Name : Spl 1
Instrument Name : HP 5890
Rack/Vial : 0/0
Sample Amount : 1.000000
Cycle : 1

Date : 17/06/2017 11:57:21 AM
Data Acquisition Time : 17/06/2017 11:24:04 AM
Channel : A
Operator : JurTeknikKimia
Dilution Factor : 1.000000

Result File :
Sequence File : C:\PenExe\TcWS\Ver6.2.1\Examples\FAME 2016.seq



DEFAULT REPORT

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	2.920	3997024.47	1.08e+06	41.04
2	3.227	90002.78	12351.38	0.92
3	3.364	22101.59	5896.41	0.23
4	7.135	14169.99	4079.50	0.15
5	9.467	56398.28	15730.42	0.58
6	11.791	1823508.43	326008.55	18.72
7	13.908	2904576.63	404005.77	29.82
8	14.065	787791.52	192405.46	8.09
9	14.296	16474.23	4330.16	0.17
10	14.465	14660.72	3013.37	0.15
11	15.704	12747.35	3350.44	0.13
		9739455.98	2.06e+06	100.00

Missing Component Report

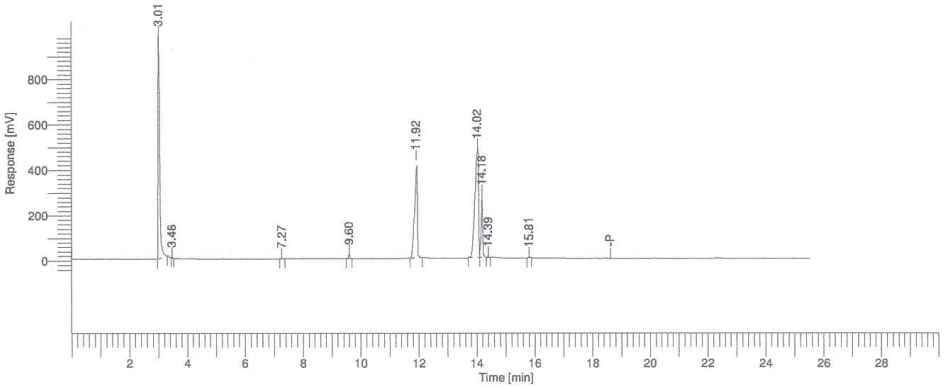
Component	Expected Retention (Calibration File)

All components were found

Repository Universitas Brawijaya

Software Version	: 6.2.1.0.104:0104	Date	: 17/06/2017 12:23:19 PM
Sample Name	: Spl 2	Data Acquisition Time	: 17/06/2017 11:56:54 AM
Instrument Name	: HP 5890	Channel	: A
Rack/Vial	: 0/0	Operator	: JurTeknikKimia
Sample Amount	: 1.000000	Dilution Factor	: 1.000000
Cycle	: 1		

Result File :
Sequence File : C:\PenExe\TcWS\Ver6.2.1\Examples\FAME 2016.seq



DEFAULT REPORT

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	3.010	3952913.04	989187.54	33.25
2	3.463	7823.94	3060.58	0.07
3	7.272	15636.77	4238.72	0.13
4	9.597	67049.69	17686.77	0.56
5	11.918	2566407.24	396587.52	21.59
6	14.023	4165740.64	516141.45	35.04
7	14.177	1074055.55	259857.89	9.03
8	14.395	21160.80	5953.01	0.18
9	15.806	18543.54	4651.53	0.16
		11889331.21	2.20e+06	100.00

Missing Component Report

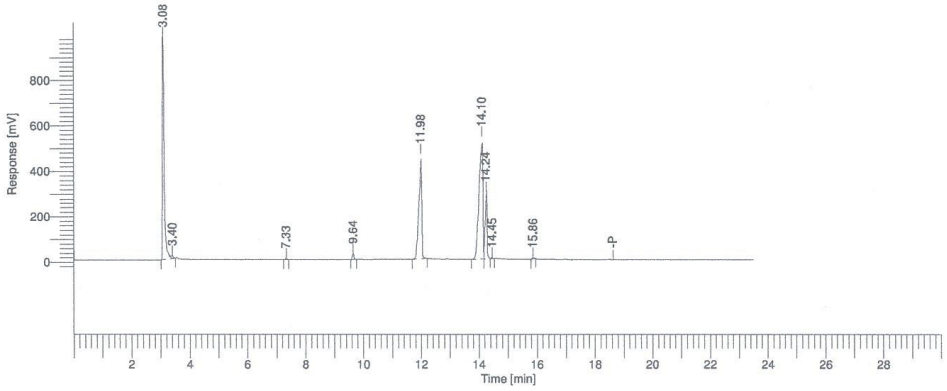
Component	Expected Retention (Calibration File)

All components were found

Repository Universitas Brawijaya

Software Version	: 6.2.1.0.104:0104	Date	: 17/06/2017 1:23:34 PM
Sample Name	: Spl 3	Data Acquisition Time	: 17/06/2017 12:59:44 PM
Instrument Name	: HP 5890	Channel	: A
Rack/Vial	: 0/0	Operator	: JurTeknikKimia
Sample Amount	: 1.000000	Dilution Factor	: 1.000000
Cycle	: 1		

Result File :
Sequence File : C:\PenExe\TcWS\Ver6.2.1\Examples\FAME 2016.seq



DEFAULT REPORT

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	3.083	4373175.58	1.05e+06	32.06
2	3.396	70853.83	11349.78	0.52
3	7.329	22545.10	6336.09	0.17
4	9.644	92905.91	25126.99	0.68
5	11.985	3048531.30	434462.31	22.35
6	14.099	4770268.08	521026.74	34.97
7	14.244	1212879.99	285015.94	8.89
8	14.452	26573.81	7218.09	0.19
9	15.862	23053.98	5498.83	0.17
		13640787.58	2.35e+06	100.00

Missing Component Report

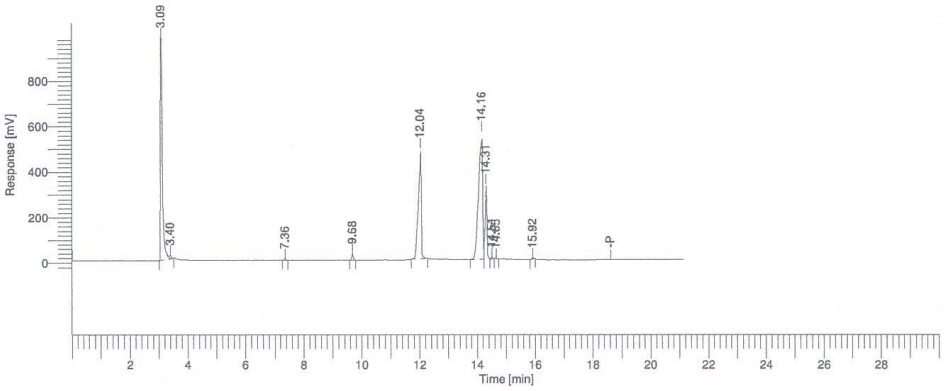
Component	Expected Retention (Calibration File)

All components were found

Repository Universitas Brawijaya

Software Version	: 6.2.1.0.104:0104	Date	: 17/06/2017 2:17:48 PM
Sample Name	: Spl 4	Data Acquisition Time	: 17/06/2017 1:56:19 PM
Instrument Name	: HP 5890	Channel	: A
Rack/Vial	: 0/0	Operator	: JurTeknikKimia
Sample Amount	: 1.000000	Dilution Factor	: 1.000000
Cycle	: 1		

Result File :
Sequence File : C:\PenExe\TcWS\Ver6.2.1\Examples\FAME 2016.seq



DEFAULT REPORT

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	3.085	4845372.94	1.06e+06	31.39
2	3.398	84856.81	13597.81	0.55
3	7.362	24171.83	6671.17	0.16
4	9.681	100862.24	27389.28	0.65
5	12.037	3445367.84	472925.59	22.32
6	14.163	5508282.66	541553.85	35.69
7	14.306	1354606.30	301023.89	8.78
8	14.506	34998.97	8460.38	0.23
9	14.650	14031.18	3042.63	0.09
10	15.919	22862.70	5857.10	0.15
		15435413.48	2.44e+06	100.00

Missing Component Report

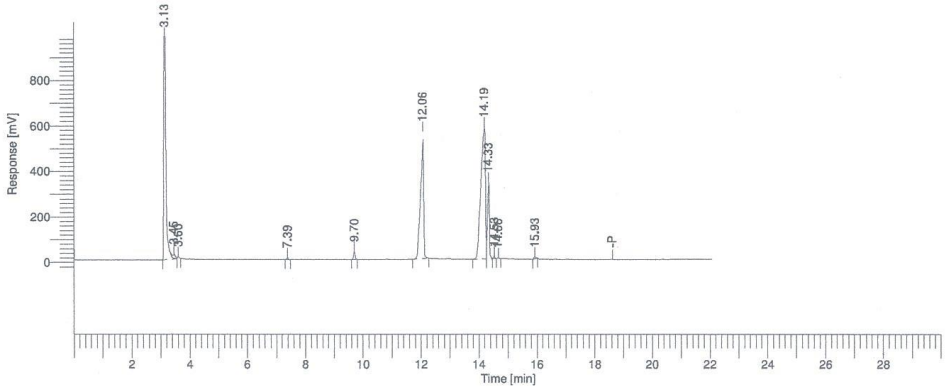
Component	Expected Retention (Calibration File)

All components were found

Software Version : 6.2.1.0.104:0104
Sample Name : Spl 5
Instrument Name : HP 5890
Rack/Vial : 0/0
Sample Amount : 1.000000
Cycle : 1

Date : 17/06/2017 2:41:23 PM
Data Acquisition Time : 17/06/2017 2:19:01 PM
Channel : A
Operator : JurTeknikKimia
Dilution Factor : 1.000000

Result File :
Sequence File : C:\PenExe\TcWS\Ver6.2.1\Examples\FAME 2016.seq



DEFAULT REPORT

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	3.132	4994411.13	1.03e+06	29.00
2	3.449	145172.19	18448.77	0.84
3	3.596	33762.80	8847.50	0.20
4	7.388	29318.81	8363.50	0.17
5	9.699	121293.55	33867.50	0.70
6	12.065	4004640.46	508534.94	23.25
7	14.189	6320796.40	622539.28	36.70
8	14.329	1491698.81	343325.58	8.66
9	14.529	38280.86	9711.14	0.22
10	14.663	14583.80	3295.21	0.08
11	15.932	27994.10	7231.14	0.16
		17221952.90	2.59e+06	100.00

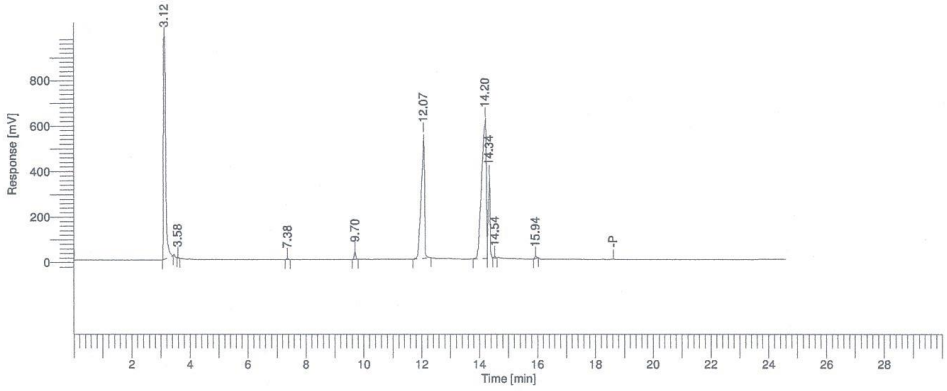
Missing Component Report

Component	Expected Retention (Calibration File)

All components were found

Software Version	: 6.2.1.0.104:0104	Date	: 17/06/2017 3:31:28 PM
Sample Name	: fame_170617_inj13	Data Acquisition Time	: 17/06/2017 3:06:36 PM
Instrument Name	: HP 5890	Channel	: A
Rack/Vial	: 0/0	Operator	: JurTeknikKimia
Sample Amount	: 1.000000	Dilution Factor	: 1.000000
Cycle	: 1		

Result File :
Sequence File : C:\PenExe\TcWS\Ver6.2.1\Examples\FAME 2016.seq



DEFAULT REPORT

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	3.118	4789958.08	1.03e+06	27.32
2	3.581	12911.44	5032.26	0.07
3	7.379	26644.17	7508.05	0.15
4	9.696	118686.30	32712.17	0.68
5	12.071	4211163.24	543760.95	24.02
6	14.204	6758082.05	652746.86	38.55
7	14.343	1546539.60	354379.97	8.82
8	14.536	35816.05	9698.13	0.20
9	15.939	32773.20	7957.48	0.19
		17532574.12	2.65e+06	100.00

Missing Component Report

Component	Expected Retention (Calibration File)

All components were found